УДК 625.7/.8 **DOI: 10.33744/0365-8171-2021-109-011-025**

ОБГРУНТУВАННЯ РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОМУ УТРИМАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

SUBMISSION OF LEVELS OF SERVICE AT GENERAL ROAD ROUTINE MAINTENANCE

***Канін Олександр Петрович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра транспортного будівництва та управління майном, професор, тел. +380442807909, e-mail:kaninap@ukr.net,*

https://orcid.org/0000-0001-6849-2505

***Харченко Анна Миколаївна**, кандидат кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра транспортного будівництва та управління майном, доцент, тел. +380442807909, e-mail: anna-x3@ukr.net,*

http://orcid.org/0000-0001-8166-6389

***Соколова Наталія Михайлівна,** кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, nata_ns@ukr.net, тел. +380442807909, e-mail: nata_ns@ukr.net,*
https://orcid.org/0000-0003-0678-8882

Анотація. В статті розглянуті проблеми обгрунтування рівнів обслуговування в довгострокових контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування. Встановлено, що вимоги до експлуатаційного стану елементів автомобільних доріг в існуючих нормативних документах є досить повними, але вони несистематизовані, що ускладнює процес їх обробки з метою укладання довгострокового контракту на експлуатаційне утримання доріг. Визначено, що згідно світового досвіду проблему обґрунтування рівнів обслуговування потрібно розглядати з деталізацією на рівні окремого дефекту.

Об`єкт дослідження – довгостроковий контракт на основі кінцевих експлуатаційних показників (рівнів обслуговування) автомобільних доріг загального користування.

Предмет дослідження – рівні обслуговування – вимоги до експлуатаційного стану автомобільних доріг загального користування.

Мета дослідження – обгрунтування рівнів обслуговування в довгострокових контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування.

Методи дослідження - аналіз та теоретичне узагальнення світового досвіду обгрунтування рівнів обслуговування при впровадженні довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг.

Проведені дослідження показали, що для вирішення проблеми обґрунтування рівнів обслуговування слід використовувати імітаційне моделювання, зокрема, метод Монте-Карло. При цьому показники рівня обслуговування елементів доріг слід встановлювати кращими від гранично допустимих за умов забезпечення безпеки, швидкості та комфортності руху і з вимог збереження елементів доріг.

Ключові слова: довгостроковий контракт, рівень обслуговування, вимога, експлутаційний стан.

Постановка проблеми

Одним із завдань Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 8) є запровадження контрактів тривалого строку дії (до семи років) про експлуатаційне утримання автомобільних доріг [1].

Такі контракти в англомовних джерелах називаються: Performance-based Contract (PBC); Output and Performance-based Contract for Roads (OPRC); Performance-based Maintenance Contract (PBMC); Performance-based Contract for Management and Maintenance of Roads (PMMR).

Англійське слово performance уданому випадку перекладається як здатність дороги задовольняти вимоги дорожнього руху та навколишнього середовища протягом проектного строку служби, тобто, експлуатаційні якості. Найбільш загальними індикаторами погіршення такої здатності є дефекти, наприклад, дефекти покриття дорожнього одягу: втомні тріщини, колійність, нерівності, ковзання тощо. Погіршення цих індикаторів у часі є процес зносу або деградації.

Довгострокові контракти впроваджуються для збільшення суспільної ефективності доріг і ефективного їх виконання підрядними організаціями. Вони гарантують адекватність фізичного стану доріг потребам користувачів протягом всього періоду дії контракту [2-4].

В традиційних договорах (контрактах) на експлуатаційне утримання доріг підрядник несе відповідальність за виконання робіт, об'єми яких визначаються дорожньою адміністрацією (замовником), а робота підрядника оплачується по факту виконання на основі одиничних розцінок за виконані роботи та надані послуги [2, 4].

Відмінність OPRC, PBC, PBMC, PBMMC (далі будемо вживати ДККП – довгостроковий контракт на основі кінцевих експлуатаційних показників) від традиційного метод-базованого контракту полягає в тому, що більша частина оплати підряднику базується на досягнутому і виміряному «виході», який відображує прийнятий у контракті цільовий стан доріг через специфікації - «рівні обслуговування», визначені при укладанні контракту. Оплата здійснюється замовником щомісячно рівними платежами за вирахуванням штрафних сум при наявності спостережених порушень рівнів обслуговування.

Цей підхід діє в якості системи мотивації для забезпечення підрядником оптимізації витрат ресурсів, зайнятих в обслуговуванні і експлуатації доріг. Дорожні агентства, які впровадили контракти OPRC, досягли економії витрат від 10% до 40% порівняно з традиційними контрактами, що визначає зацікавленість у вповадженні даного виду контрактів в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Довгострокові контракти з експлуатаційного утримання автомобільних доріг на основі забезпечення кінцевих експлуатаційних показників [5] є новим явищем в дорожньому господарстві України. В Україні перші роботи, присвячені довгостроковим контрактам, були виконані у 2015 р. в Національному транспортному університеті [6-7]. Були розроблені Методичні рекомендації з їх застосування [5], а також створена Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на

основі рівнів обслуговування доріг (ІАСУ-ДККП) з відповідним програмним забезпечення [8] та примірна база даних рівнів обслуговування [9].

Постановка завдання

Здійснення довгострокових контрактів базується на фундаменті специфікацій або стандартів – вимог щодо усунення дефектів в процесі експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Як логічний результат раніше виконаних досліджень, назріла необхідність розроблення двох нормативних документів: проектів національних стандартів: ДСТУ «Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг» та ДСТУ «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування при експлуатаційному утриманні». Для чого необхідно обгрунтувати вимоги щодо усунення дефектів в процесі експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу

Призначення експлуатаційного утримання доріг (в англомовних джерелах – routine maintenance) полягає в постійному профілактичному підтриманні експлуатаційного стану на рівні, не гіршому від такого, що може бути забезпечений цими видами діяльності відповідно до ДСТУ 3587-97 та П Г.1-218-113:2009 [2, 3].

Недостатній рівень фінансування експлуатаційного утримання доріг і з теоретичних міркувань і з практичного досвіду, призводить до скорочення фактичних міжремонтних строків періодичних поточних середніх і капітальних ремонтів доріг, а значить до зростання вартості життєвого циклу доріг і зменшення зовнішніх соціально-економічних вигід (рис. 1). При зростанні зусиль підрядника ε затримується погіршення стану S елементу дороги. Критичне значення стану Smin досягається пізніше, що збільшує позитивне значення функції суспільного добробуту W, однак при одночасному зменшенні значення функції корисності U для підрядника.

ДККП - це контракт, в якому оплата робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг безпосередньо пов'язана з виконанням (при забезпеченні рівня стану мінімально допустимої якості) або перевиконанням підрядником чітко поставлених у контракті вимог щодо кінцевих показників експлуатаційного стану доріг, які можуть бути досягнуті шляхом виконання робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг [5].

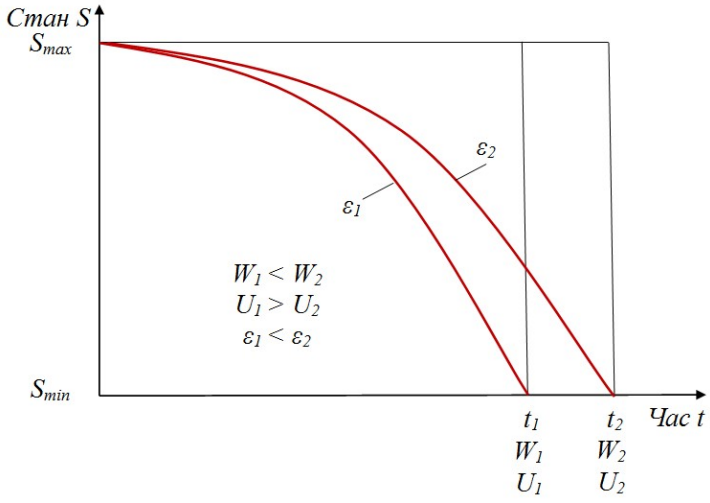

Рисунок 1 – Гіпотетичний вплив різних зусиль підрядника на стан елементу дороги

Figure 1 - Hypothetical influence of different contractor efforts on the road element condition

Ціна контракту включає:

- для послуг з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання - фіксовану суму, яка виплачується рівними щомісячними частками;

- для аварійних робіт - резервну суму, передбачену для таких цілей. Резервна сума, включена в ціну контракту, являє собою оцінену кошторисними розрахунками суму, яка використовується, у випадку її затвердження замовником, для оплати аварійних робіт і непередбачених витрат. Розмір резервної суми, залежно від умов експлуатації, повинен знаходитись у межах, які встановлені національними законодавчими актами.

Модель обґрунтування суми щомісячного платежу підряднику базується на певних концептуальних передумовах, для розуміння яких потрібно навести деякі терміни і визначення понять [5]:

- дефект (пошкодження) – це відхилення якості, форми або фактичних розмірів елементу складової дороги від вимог нормативної чи проектної документації, спричинене руйнуванням (втратою суцільності), деформацією (фактичних розмірів, форми) або погіршення властивостей елементу дороги, яке виникає при проектуванні, виготовленні, в результаті природного зносу, впливу техногенних або антропогенних чинників. [10]:
- вимога з усунення дефекту - сукупність встановлених для дефекту елементу дороги критеріїв: максимально допустимого періоду між оглядами елементу дороги; рівня втручання; терміну ліквідації - часу, протягом якого дефект повинен бути усунений і який дорівнює різниці між моментом усунення та моментом реєстрації дефекту;
- рівень втручання – характеризується граничними значеннями кількісних характеристик (розмірів, форми, якості тощо) дефекту елементу дороги, при яких порушується відповідність елемента його призначенню, що визначена нормативною чи проектною документацією, і які зумовлюють необхідність обов'язкового усунення дефекту для відновлення цієї відповідності;
- рівень обслуговування елементу дороги – вимога до стану елементу щодо забезпечення його відповідності призначенню – довговічності елементу та задоволення користувачів дороги доступом, швидкістю поїздки, безпекою і комфортом руху. Зниження рівня обслуговування характеризується наявністю неліквідованих за обумовлений у вимозі усунення дефекту час на його ліквідацію;
- кінцеві показники – показники якості експлуатаційного стану елементів дороги, які характеризуються відсутністю притаманних елементам дороги дефектів з усталеними граничними характеристиками і визначають рівень обслуговування кожного елементу автомобільної дороги і автомобільної дороги в цілому.

Стан елементів автомобільних доріг, від якого залежить значення функції суспільних вигод (1), формується під впливом двох процесів:

- процесу деградації – виникнення і розвитку в часі дефектів елементів дороги, які є результатом дії зовнішніх і внутрішніх деструктивних факторів (наприклад, транспортних навантажень, атмосферних опадів, температури, старіння матеріалів, техногенних (аварії) і антропогенних (навмисне пошкодження) чинників тощо). Процес деградації може бути кумулятивним (наприклад, погіршення рівності дорожнього покриття) або раптовим (наприклад, збиття дорожнього знаку) і дискретно-неперервним (наприклад, погіршення стану огороджень), як показано на рис. 2;
- процесу відновлення – ліквідації підрядником дефектів елементів дороги шляхом виконання робіт з ремонту та утримання елементів доріг. Кожна робота триває певний час, величина якого залежить від призначеної для її виконання кількості трудових і матеріально-технічних ресурсів (зусиль підрядника).

Рисунок 2 - Дискретно-неперервний характер процесу деградації (q_1, q_2, q_{min} – можливі кінцеві цільові рівні стану елементу, від яких залежить величина суспільної вигоди)

Figure 2 - Discrete-continuous nature of the degradation process (q_1, q_2, q_{min} - possible final target element state levels, on which the public benefit value depends)

Зауважимо, що моделі процесу деградації елементів складових доріг в Україні більш-менш детально розроблені лише для дорожнього одягу та його покриття і для елементів автодорожніх мостів. Ці дві моделі базуються на різних принципах. Рівень деградації дорожнього одягу характеризується коефіцієнтом запасу міцності, рівністю і коефіцієнтом зчеплення покриття. Рівень деградації елементів мостів характеризується рейтингом за 100-бальною шкалою, п'ятьма експлуатаційними станами, параметром надійності або характеристикою безпеки, рівнем зносу.

Задача оптимізації формулюється наступним чином [11]:

$$Max(U_r, e_i, \beta_i)\{S_0 + \sum_{i=1}^{n}(a_i \cdot e_i) - (1+\lambda)\cdot[C_0 + \sum_{i=1}^{n}\psi_i(e_i) + r\sum_{i=1}^{n}(\beta_i^2 \cdot \sigma_i^2] - \lambda \cdot U_r\}. \quad (1)$$

де U_r – корисність для підрядника; r – параметр, який представляє відношення підрядника до ризику. Інакше кажучи, U_r є вигодою, очікуваною підрядником; C_0 - складова, що включає фіксовану вартість необхідних початкових інвестицій для надання послуг; $\psi_i(e_i)$ – функція витрат підрядника в залежності від зусиль у грошових одиницях [12], причому перша і друга похідні від цієї функції: $\psi_i'(e_i) > 0$ *і* $\psi_i''(e_i) > 0$; λ – параметр, який характеризує податкову систему країни, $\lambda > 0$; α_i і β_i – фіксовані параметри, встановлені в контракті. S_0 – мінімальна суспільна вигода , отримана від якісного стану дороги, коли рівні якості за контрактом дорівнюють нулю, яка відображує той факт, що вимагається виконання певних мінімальних умов для користування дорогою.

Аргументами цільової функції (1) є зусилля підрядника e_i, $i = 1,...,n$ і функція витрат у грошових одиницях $\psi_i(e_i)$, які залежать, в тому числі, від часу відгуку – допустимого часу на ліквідацію дефекту, заданому в рівні обслуговування. Приймаючи до уваги цілочисельність деяких ресурсів (кількість робочих, машин і механізмів), можна стверджувати, що функція витрат $\psi_i(e_i)$ має кусочно-неперервний характер.

У моделі прийнято, що кожна робота з усунення дефекту знаходиться під впливом множини притаманних їй внутрішніх і зовнішніх ризикових подій. Вплив на тривалість і вартість *i*-ї роботи оцінюється через випадкові коефіцієнти затримки $\xi_{m,i}$ і здорожчення $\xi_{в,i}$ роботи, які знаходяться в інтервалі від мінімального $\xi_{m,імін}$, $\xi_{в,імін}$ до максимального $\xi_{m,імакс}$, $\xi_{в,імакс}$ значень і характеризуються гістограмами тривалості та вартості $G_{m,i}$ і $G_{в,i}$ - оцінками функцій розподілу коефіцієнтів як випадкових величин, що приймають значення в інтервалі від мінімального до максимального значення. В імітаційній моделі конкретні значення цих змінних визначаються методом Монте-Карло за допомогою гістограмам $G_{m,i}$ і $G_{в,i}$. Отже, функція витрат $\psi_i(e_i)$ в пропонованій моделі прийнята випадковою величиною:

$$\psi_i(e_i) = C_i(\tau_i) \cdot \frac{k_{c,i}^{\max} - k_{c,i}^{\min}}{m} \cdot (n-1+\frac{\xi - \sum_{i=1}^{n-1} p_i}{p_n}), \tag{2}$$

де $C_i(\tau_i)$ – проектна вартість роботи по усуненню дефекту за час відгуку τ_i.

Оцінка вартості роботи $C_i(\tau_i)$ здійснюється на основі технологічної карти, яка проектується з урахуванням часу відгуку τ_i. В технологічній карті потрібна кількість нескладованих ресурсів (робочих, машин) визначається округленням до більшого цілого числа, тому ефективність використання ресурсів залежить від графіку трудового процесу, де мають місце очікування одними ресурсами виконання технологічно зв'язаних попередніх операцій іншими ресурсами. Час на усунення дефекту τ_i^y складається з часу на обробку інформації відносно дефекту і його ліквідації τ_i^p, часу доставки ресурсів до місця розташування дефекту τ_i^∂, часу виконання роботи тів. Повинне виконуватись обмеження:

$$\tau_i^y = (\tau_i^p + \tau_i^\partial + \tau_i^в) \le \tau_i. \tag{3}$$

В моделі тіу є випадковою величиною, яка характеризується гістограмою Gіт імовірнісного розподілення тривалості усунення дефекту

$$\tau_i^y = \tau_i \cdot \frac{k_{t,i}^{\max} - k_{t,i}^{\min}}{m} \cdot (n-1+\frac{\xi - \sum_{i=1}^{n-1} p_i}{p_n}). \tag{4}$$

Коли тіу перевищує регламентований у контракті час відгуку ті, підряднику нараховується штраф [5]. Усі суми зниження оплати віднімаються з сум, належних підряднику, в кінці кожного місяця. У випадку порушення критерію рівня обслуговування фіксується дата та час реєстрації t_1 і дата та час усунення t_2. Різниця між ними $t_2 - t_1$ називається фактичним часом реагування (усунення дефекту) τ_y. Для розрахунку використовуються наступні одиниці згідно табл. 1, відповідно до зарубіжної практики:

r – регламентований час відгуку на усунення дефекту з точністю до хвилини;

n - дробове число штрафних балів за одиницю часу перевищення (наприклад, 1 бал на тиждень дорівнює 0,142857 в день);

τ_y - фактичне дробове число днів на усунення дефекту з точністю до хвилини;

c_p - вартість 1 штрафного балу.

Таблиця 1 - Розмір штрафних балів залежно від часу реагування

Table 1 – The size of penalty points depending on the response time

Показники	Затримка виконання і штрафні бали				
Інтервали часу відгуку	$0<\tau_y\leq$ r	r<$\tau_y\leq$2r	2r<$\tau_y\leq$3r	3r<$\tau_y\leq$4r	> 4r
Зазначені штрафні бали за затримку виконання	0	n	2n	5n	Можливе розірвання контракту

При розрахунку фактичного часу відгуку необхідно враховувати час несприятливих погодних умов для виконання робіт, який віднімається від фактичного часу відгуку.

Коефіцієнт перевищення фактичного часу відгуку над регламентованим (k_d) визначається за формулою (5) і округлюється до наступної цілого числа:

$$k_d = \left\lceil \frac{\tau_y - r}{r} \right\rceil, \tau_y > r; k_d = 0, \tau_y \leq r. \tag{5}$$

Округлення означає те, що, якщо термін реагування перевищує максимально допустимий строк, наприклад, на 1 хвилину, нараховується повний штрафний бал за дане порушення.

Штрафні бали за недотримання регламентованого часу відгуку (B_p) розраховуються за формулою:

$$B_p = k_d \cdot n \cdot e, \tag{6}$$

де n – кількість балів за одиницю часу (день); e – коефіцієнт кількісного застосування штрафних балів з областю значень (0, 1, 2, 5) з табл. 1.

Таким чином, функція витрат $\psi_i(e_i)$ (1) коригується шляхом урахування штрафу:

$$C_i = \psi_i(e_i) + B_i^p \cdot c_p, \tag{7}$$

де B_i^p – кількість штрафних балів за несвоєчасне усунення і-го дефекту; c_p – вартість одного штрафного балу.

Функція суспільного добробуту – це зовнішній критерій для ДККП, значення якого потрібно максимізувати. Найбільш складним питанням є кількісне визначення впливу на суспільні вигоди параметрів рівнів обслуговування, встановлених у межах поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг. Вплив деяких дефектів на значення функції суспільного добробуту достатньо досліджений і може бути кількісно оцінений. Перш за все, це стосується дефектів, що усуваються в процесі зимового утримання дороги – сніжно-льодовий накат і ожеледь, які знижують коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям і, тим самим, знижують безпеку і швидкість руху. Для інших дефектів вплив на функцію суспільного добробуту не такий очевидний. Наприклад, існує зв'язок рівнів обслуговування дефектів, специфікованих в ДККП, з показником рівності дорожнього покриття. Показник рівності залежить від параметрів рівнів обслуговування не тільки самого покриття, але й інших елементів дороги, які здійснюють на покриття не безпосередній, а опосередкований вплив (наприклад, система дренажу). А вже через значення показника рівності можна визначити значення суспільної вигоди від впливу рівності покриття (рис. 3).

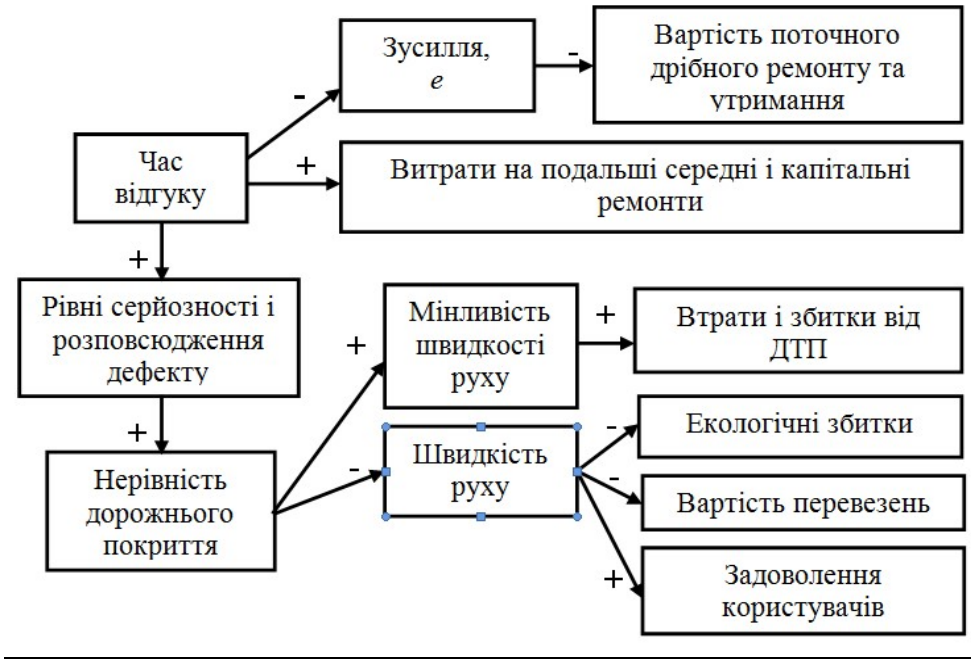

Рисунок 3 - Гіпотетичний вплив часу відгуку рівня обслуговування дефекту на суспільну вигоду: "+" означає прямий вплив, тобто збільшення (або зменшення) однієї величини (причини) визиває збільшення (або зменшення) залежної величини (наслідку); "-" - обернений вплив: збільшення (або зменшення) однієї величини (причини) визиває зменшення (або збільшення) залежної величини (наслідку)
Джерело: авторська розробка.

Figure 3 - Hypothetical effect of defect service response time on public benefit: "+" means direct impact, ie increase (or decrease) of one quantity (cause) causes increase (or decrease) of the dependent quantity (consequence); "-" - inverse effect: increase (or decrease) of one quantity (cause) causes decrease (or increase) of the dependent quantity (consequence)
Source: author's development.

Наявність дефектів елементів дороги, тривалість їх існування впливають на безпеку, швидкість та комфортність дорожнього руху і на збереження елементів дороги. В пропонованій імітаційній моделі дефекти впорядковуються в залежності від цих критеріїв і розглядаються в порядку впливу на 1) безпеку руху, 2) швидкість руху, 3) комфортність руху, 4) збереження елементу.

Слід зауважити, що на можливість негативної дії дефекту впливають фактори ризику та їх сполучення. Так, дефекти дренажу можуть значно вплинути на формування дефектів покриття дороги в період інтенсивної зливи в результаті інфільтрації вологи в конструкцію дорожнього одягу. Отже, в процесі моделювання слід відстежувати одночасний сумісний вплив факторів ризику. В імітаційній моделі запропонована така схема врахування ризиків:

- формування списку ризиків, які визивають негативний вплив дефекту;
- встановлення імовірності впливу ризиків на тривалість і вартість роботи з ліквідації дефекту методом Монте-Карло за допомогою гістограмам;
- оцінка імовірності спричиненого ризику в результаті здійснення причинної ризикової події.

Головним фактором при встановлення ціни контракту є об'єм попиту на послуги підрядника і розподілення об'єму попиту в період дії контракту. Об'єм попиту на послуги підрядника – це об'єми і

кількість дефектів елементів доріг, виникнення яких має випадковий характер. В імітаційній моделі передбачений наступний механізм моделювання об'єму попиту на послуги підрядника.

В деякі моменти часу *1, ..., t_k, …* підрядник здійснює контроль стану елементів дороги (мережі доріг) і фіксує наявність дефектів елементів дороги. Окрім того, контроль стану може здійснюватись замовником. На практиці, фіксація наявності дефектів елементів дороги виконується з отриманням цифрового фото дефекту і формуванням необхідної символьної інформації за допомогою персонального комп'ютера (планшета) та передачі фото та інформації через мережу інтернет в базу даних ІАСУ-ДККП.

Результатом контролю є кількість дефектів певного рівня обслуговування, специфікованими в умовах контракту. В залежності від часу відгуку, в моделі проектується графік виконання робіт з усунення дефектів. При цьому враховуються щоденні обмеження на нескладовані ресурси, тобто потрібна кількість робочих і машин не повинна перевищувати їх наявності у підрядника. Потім моделюється виконання робіт, причому тривалість і вартість робіт визначається методом Монте-Карло:

$$C = \sum_{r=1}^{R}\sum_{s=1}^{S_r}\sum_{e=1}^{E_{rs}}\sum_{d=1}^{D_e}\sum_{l=1}^{L_{ed}}\sum_{t=1}^{T}\psi_{rsedlt} + C_{tc}, \tag{8}$$

при $V \times T$ обмеженнях на нескладовані ресурси

$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{s=1}^{S_r}\sum_{e=1}^{E_{rs}}\sum_{d=1}^{D_e}\sum_{l=1}^{L_{ed}} n_{rsedlij} \le N_{ij}, i = 1,2,...,V, j = 1,2,...,T, \tag{9}$$

де R – кількість ділянок доріг, які обслуговуються підрядником; S_r – кількість складових доріг; E_{rs} – кількість елементів у складовій s ділянки дороги r; D_e - кількість дефектів, притаманних елементу; L_{ed} – кількість рівнів обслуговування, притаманних дефекту; T – кількість днів у періоді, який моделюється; ψ_{rsedlt} – витрати на виконання робіт з усунення дефекту за день t; C_{tc} – трансакційні витрати; *nrsedli* – потрібна кількість нескладованого ресурсу; V – кількість видів нескладованих ресурсів. Трансакційні витрати включають, зокрема, витрати пошуку інформації, витрати вимірювання (моніторингу стану доріг) тощо.

Питомі витрати C/T в деякі періоди року можуть перевищувати суму питомого фіксованого платежу. В такому разі, місячна різниця між потребою коштів і фіксованим платежем покривається за рахунок власних коштів підрядника або кредиту. Коли місячна різниця між потребою коштів і фіксованим платежем є від'ємною, підрядник може ліквідувати заборгованість.

За період між точками контролю t_k - t_k+1 з певною вірогідністю можуть виникнути нові дефекти, що не передбачені в оперативному плані робіт, тому інтервал контролю t_k - t_k+1 встановлюється таким, при якому імовірність виникнення дефекту буде достатньо малою (< 0.05).

Замовник здійснює вибірковий моніторинг процесу ліквідації дефектів елементів доріг і нараховує штрафи у випадку порушення підрядником часу відгуку.

В момент ліквідації дефекту розраховуються можливі впливи дефекту на значення складових функції добробуту. Оцінку впливу можна розглянути на такому прикладі відновлення відстані видимості. Використаємо дані досліджень впливу відстані видимості на ризик дорожньо-транспортних подій, наведені в роботі [13].

За період Δt від виникнення дефекту до його усунення через ділянку довжиною *L* проїде *N*·Δ*t* автомобілів. Зовнішній ефект від зниження ризику ДТП Δ*Rдтп* в результаті усунення дефекту відстані видимості буде (рис.4):

$$\Delta R_{дтп} = R^{д}_{дтп} - R^{н}_{дтп}, \tag{10}$$

де $R^{д}_{дтп}$ – ризик при наявності дефекту; $R^{н}_{дтп}$ – ризик після усунення дефекту.
Зниження збитку від ДТП при усередненій вартості втрат від 1 ДТП c_{los}:

$$\Delta C_{дтп} = c_{los} \cdot L \cdot N \cdot \Delta t \cdot \Delta R_{дтп}. \tag{11}$$

У фазі обґрунтування ціни контракту ex ante, як замовником, так і підрядником, за допомогою імітаційної моделі потрібно прогнозувати встановленої в результаті контролю стану кількість дефектів, параметри яких диференційовані за рівнями обслуговування. Ця кількість моделюється на основі історичних даних, накопичених в ІАСУ-ДККП [9], а при їх відсутності – на основі ймовірнісних розподілень, отриманих на основі експертних оцінок.

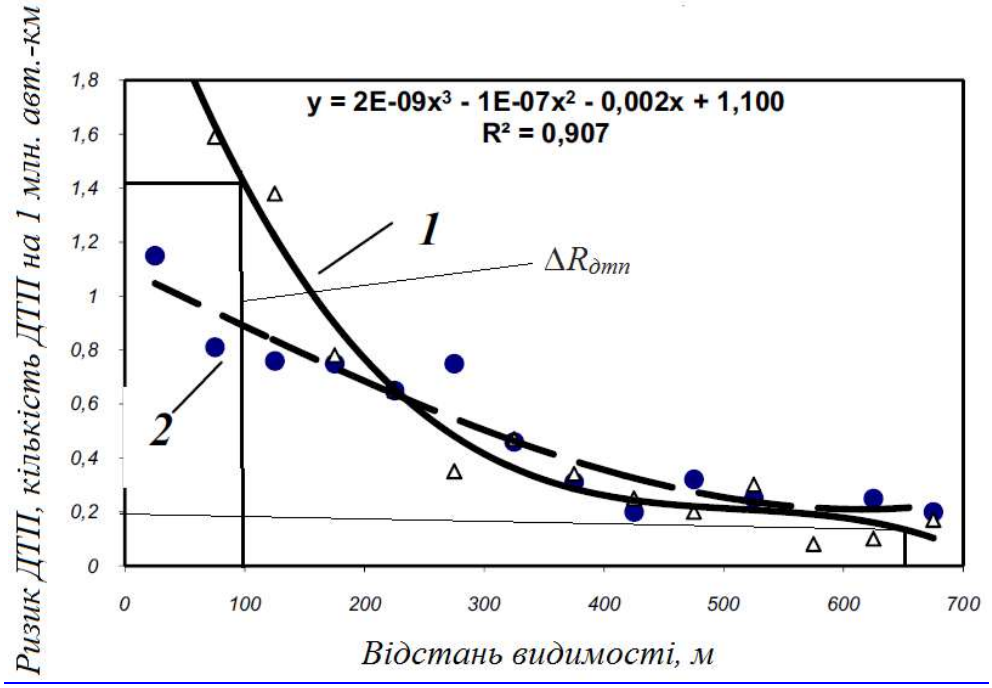

Рисунок 4 - Залежність показника ризику ДТП від відстані видимості у плані на багато смугових дорогах: 1 – з розподільчою смугою; 2 – без розподільчої смуги
Джерело: Чванов В.В. [14]. Адаптовано авторами.

Figure 4 - Dependence of the accident risk indicator on the distance of visibility in the plan on multi-lane road: 1 - with a distribution lane; 2 - without distribution lane
Source: Chvanov VV [14]. Adapted by the authors.

Випадкова кількість дефектів даного виду і даного рівня обслуговування визначається методом Монте-Карло. Інтервал коефіцієнту відхилення від k_{min} до k_{max} ділиться на 5 рівних відрізків (табл. 2).

Таблиця 2 - Вихідні дані для оцінки кількості дефектів

Table 2 – Initial data for estimating the number of defects

Середня кількість дефектів	Коефіцієнт відхилення		Гістограма оцінки ймовірностей попадання в один з 5 рівних відрізків інтервалу $k_{min} \div k_{max}$				
	мінімум	максимум					
D_{cp}	k_{min}	k_{max}	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5

Розігрується значення випадкової величини ξ, яка рівномірно розподілена в інтервалі від 0 до 1, за ним визначається номер n інтервалу з гістограми, куди попадає ξ, і кількість дефектів D обчислюється за формулою:

$$D = D_{cp} \cdot \frac{1}{5}(k_{\max} - k_{\min}) \cdot [(n-1) + (\xi - \sum_{i=1}^{(n-1)} p_i) / p_n]. \quad (12)$$

Циклічні роботи, такі як очищення покриття та укріплених узбіч від пилу і бруду або щорічні роботи з озеленення тощо плануються на регулярній основі, а деякі (наприклад, закладення тріщин в покритті) повинні бути виконані до певної дати року, проте точна кількість їх невідома.

З метою управління процесом моделювання шляхом послідовного розгляду подій системи створюється регістр системного часу – вісь часу, на якій відмічаються моменти контролю стану елементів, моменти початку і закінчення робіт з усунення дефектів та формується деяка структура даних, асоційована з цими моментами, яка ідентифікує тип моменту та його зміст. Структура даних дає можливість виконати обчислення і накопичення витрат, прирощення функції суспільного добробуту тощо і занести у регістр новий момент часу зміни стану системи.

Регістр системного часу формується за принципом, наведеним на рис. 5.

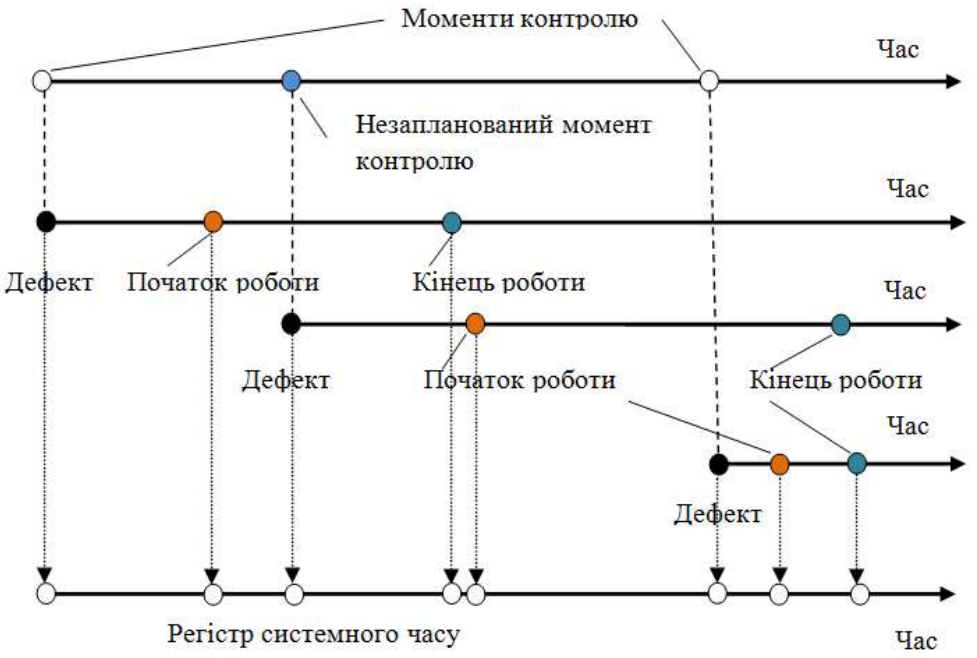

Рисунок 5 – Схема формування регістру системного часу

Джерело: авторська розробка.

Figure 5 – Scheme of the system time register forming

Source: author's development.

В деякі заплановані моменти контролю наявності дефектів фіксуються дані про спостережені дефекти, виконується планування моментів початку робіт з їх усунення, методом Монте-Карло визначаються випадкові тривалість і вартість робіт. Ці моменти заносяться в регістр системного часу у послідовності їх виникнення в часі, тобто впорядковуються. З системного регістру послідовно вибирається черговий момент здійснення події, за відповідними алгоритмами інтерпретується сутність і виконується обробка цієї події згідно з класифікацією подій.

Моменти контролю наявності дефектів можуть бути випадковими (скарги користувачів, контроль стану елементів доріг замовником). Вони також поміщуються у регістр системного часу, в результаті чого регістр коригується, і раніш заплановані моменти відбуття подій зміщуються (при необхідності).

Висновки

1. Вимоги до експлуатаційного стану елементів автомобільних доріг в існуючих нормативних документах є досить повними, але вони потребують систематизації у певній табличній формі.

2. Значення параметрів експлуатаційних рівнів обслуговування, присутні у існуючих нормативних документах приймаються нами як гранично допустимі, вони повинні бути враховані в моделях обґрунтування експлуатаційних рівнів обслуговування як обмеження.

3. Параметри рівнів втручання в експлуатаційних рівнів обслуговування встановлюються з технічних вимог забезпечення безпеки руху, проектної функціональності елементів складових доріг (наприклад, видимість знаків у нічний час, допустима пропускна спроможність труби тощо), впливу на довкілля, вимог із збереження елементів тощо.

4. Визначення ціни довгострокового контракту на утримання автомобільних доріг та інших його параметрів являє собою складну наукову проблему, яка розглядається методами аналізу сучасних економічних теорій: теорії агентства, теорії неповних контрактів і економіки трансакційних витрат.

5. Аналіз світового досвіду з розробки моделей обґрунтування експлуатаційних рівнів обслуговування показав, що проблему обґрунтування потрібно розглядати з деталізацією на рівні окремого дефекту.

6. Для вирішення проблеми обґрунтування запропонований підхід на основі імітаційного моделювання з використанням методу Монте-Карло. Ціна контракту залежить від специфікованих в умовах контракту рівнів обслуговування дефектів елементів доріг, параметри яких потрібно оптимізувати.

7. Показники рівня обслуговування елементів доріг повинні встановлюватись кращими від гранично допустимих з умов забезпечення безпеки, швидкості та комфортності руху і з вимог збереження елементів доріг.

8. Задачею технічної теорії експлуатації автомобільних доріг повинна бути розробка моделей впливу рівнів обслуговування на величину суспільного добробуту.

Перелік посилань

1. Про затвердження плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування: Розпорядження // Кабінет Міністрів України, Київ. – 4 лютого 2009 р. – № 125-р.

2. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance [Електронний ресурс] // 2011. - Режим доступу: http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx.

3. Performance-Based Contracts for Management and Maintenance of Roads (PMMR). Introduction and Overview of PMMR. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/TrainingMaterials/Module010Introduction0and0overview.pdf.

4. Станкевич Н. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ [Електронний ресурс] / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. –Сентябрь, 2009. – Режим доступу: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf.

5. МР В.3.2-02070915-844:2014 «Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування» / Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М., Шпиг А.Ю., Маковська Ю.А., Шкарівська Н.Ю. // Укравтодор. К.: 2014.

6. Розробити методику та інформаційно-аналітичну систему управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування / Звіт про науково-дослідну роботу № 35-13 від 18 квітня 2013р. № державної реєстрації 0113U001972. -2014.

7. Виконати аналіз та розробити вимоги до усунення дефектів елементів доріг при реалізації довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування / Звіт про науково-дослідну роботу № 49-15 від 19 червня 2015 р. № державної реєстрації 0115U001654. – 2015.

8. Канін О.П. Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг / О.П. Канін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 94. – С. 112-123.

9. Канін О.П. База даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг / О.П. Канін, А.М. Харченко, Н.М. Соколова, А.Ю. Шпиг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 94. – С. 124-134.

10. Богданофф Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богданофф, Ф. Козин ; [пер. с англ.] – М.: Мир, 1989. – 344 с.

11. Soliño A. S. Optimizing performance-based mechanisms in road management: an agency theory approach [Електронний ресурс] / Antonio Sánchez Soliño // EJTIR 15(4), 2015, - pp. 465-481. – Режим доступу: http://www.tbm.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/TBM/Onderzoek/EJTIR/Back_issues/15.4/2015_04_04.pdf.

12. Laffont J.-J. A Theory of Incentives in Procurement and Regulation [Електронний ресурс] / Jean-Jacques Laffont and Jean Tirole // MIT, Cambridge, London, Lecture Notes Text 14, 1993. – 22 p. – Режим доступу: https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/iad/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaften/bwl/ee2/lehrstuhlseiten/ordner_lehre/ordner_ss_06/ordner_energiewirtschaft_4_ss_06/Lecture_Notes_Laffont_Tirole.pdf.

13. Transportation Research Board. Highway deicing. Comparing salt and calcium magnesium acetate. Special Report 235, National Research Council,Washington, DC, 1991.

14. Чванов В.В. Исследование влияния расстояния видимости на дорожную аварийность [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.rosdornii.ru/UserFiles/File/dim/21-1/14.pdf.

SUBMISSION OF LEVELS OF SERVICE AT GENERAL ROAD ROUTINE MAINTENANCE

Kanin Alexander P., PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: kaninap@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka, 1, k.206. https://orcid.org/0000-0001-6849-2505.

Kharchenko Anna N., PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka, 1, k.206. https://orcid.org/0000-0001-8166-6389.

Sokolova Natalia M., PhD (Candidate of Economic Sciences), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: nata_ns@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka, 1, k.206. https://orcid.org/0000-0003-0678-8882.

Abstract. The article deals with the problems of substantiation of service levels in long-term maintenance contracts of public roads. It has been established that the requirements for the operating condition of road elements in existing regulatory documents are rather complete, but they are unsystematized, which complicates the process of their processing in order to conclude a long-term contract for maintenance of roads. It has been determined that according to the world experience, the problem of substantiation of service levels should be considered with detail at the level of the individual defect.

The research object is a long-term contract based on end-of-life performance (service levels) of public roads.

The subject of research - levels of service - requirements for the operational state of general roads.

The purpose of the study is to substantiate the levels of service in long-term contracts for the maintenance of public roads.

Research methods - analysis and theoretical generalization of the world experience in substantiating service levels when implementing long-term maintenance contracts of roads.

The conducted studies have shown that simulation modeling, in particular, the Monte Carlo method, should be used to solve the problem of substantiation of service levels. In this case, the indicators of the level of maintenance of the elements of roads should be set better than the maximum permissible in terms of ensuring safety, speed and comfort of motion and the requirements for the preservation of elements of roads.

Keywords: long-term contract, service level, requirement, performance

References

1. Pro zatverdzhennia planu zakhodiv shchodo realizatsii Kontseptsii reformuvannia systemy derzhavnoho upravlinnia avtomobilnymy dorohamy zahalnoho korystuvannia: Rozporiadzhennia (2009). Kabinet Ministriv Ukrainy, Kyiv, 125-p.

2. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance (2011) URL: http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx.

3. Performance-Based Contracts for Management and Maintenance of Roads (PMMR). Introduction and Overview of PMMR. URL: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/TrainingMaterials/Module010Introduction0and0overview.pdf.

4. Stankevych N. (2009). Soderzhanye y uluchshenye dorozhnoi ynfrastrukturu s pomoshchiu kontraktov, osnovannukh na pokazateliakh kachestva rabot. Transportnui biulleten TN-27. Vashynhton

(SShA): Vsemyrnui bank. URL: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf.

5. MP B.3.2-02070915-844:2014 «Metodychni rekomendatsii z upravlinnia stanom avtomobilnykh dorih na osnovi dovhostrokovykh kontraktiv z potochnoho dribnoho remontu ta utrymannia dorih za pokaznykom rivnia yikh obsluhovuvannia»(2014). Kanin O.P., Sokolova N.M., Kharchenko A.M., Shpyh A.Iu., Makovska Yu.A., Shkarivska N.Iu. Ukravtodor. K.

6. Rozrobyty metodyku ta informatsiino-analitychnu systemu upravlinnia stanom avtomobilnykh dorih na osnovi dovhostrokovykh kontraktiv z potochnoho dribnoho remontu ta utrymannia dorih za pokaznykom rivnia yikh obsluhovuvannia (2014). Zvit pro naukovo-doslidnu robotu № 35-13 vid 18 kvitnia 2013. № derzhavnoi reiestratsii 0113U001972.

7. Vykonaty analiz ta rozrobyty vymohy do usunennia defektiv elementiv dorih pry realizatsii dovhostrokovykh kontraktiv z potochnoho dribnoho remontu ta ekspluatatsiinoho utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia (2015). Zvit pro naukovo-doslidnu robotu № 49-15 vid 19 chervnia 2015. № derzhavnoi reiestratsii 0115U001654.

8. Kanin O.P. (2015). Informatsiino-analitychna systema upravlinnia dovhostrokovymy kontraktamy na osnovi rivniv obsluhovuvannia dorih. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. K.: HTU, Vyp. 94., S. 112-123.

9. Kanin O.P. (2015). Baza danykh rivniv obsluhovuvannia v upravlinni dovhostrokovymy kontraktamy na osnovi kintsevykh pokaznykiv yakosti dorih. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. K.: NTU, Vyp. 94. S. 124-134.

10. Bohdanoff Dzh., Kozyn F. (1989). Veroiatnostnye modely nakoplenyia povrezhdenyi / Dzh. Bohdanoff, F. Kozyn ; M.: Myr, 344 s.

11. Soliño A. S. (2015). Optimizing performance-based mechanisms in road management: an agency theory approach. EJTIR 15(4), pp. 465-481. URL:http://www.tbm.tudelft.nl/filead-min/Faculteit/TBM/Onderzoek/EJTIR/Back_issues/15.4/2015_04_04.pdf.

12. Laffont J.-J. A Theory of Incentives in Procurement and Regulation (1993). MIT, Cambridge, London, Lecture Notes Text 14, 22 p. URL: https://tu-dresden.de/die_tu_dres-den/fakultaeten/vkw/iad/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaf-ten/bwl/ee2/lehrstuhlseiten/ordner_lehre/ordner_ss_06/ordner_energiewirtschaft_4_ss_06/Lec-ture_Notes_Laffont_Tirole.pdf.

13. Transportation Research Board. Highway deicing. Comparing salt and calcium magnesium acetate (1991). Special Report 235, National Research Council,Washington, DC.

14. Chvanov V.V. Yssledovanye vlyianyia rasstoianyia vydymosty na dorozhnuiu avaryinost. URL: http://www.rosdornii.ru/UserFiles/File/dim/21-1/14.pdf.