

УДК 338.4:625.76

Соколова Н.М., канд. екон. наук, Маковська Ю.А.

МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІНИ КОНТРАКТУ З УТРИМАННЯ ДОРІГ ТРИВАЛОГО СТРОКУ ДІЇ

Анотація. В останні роки в Україні виконуються наукові дослідження з впровадження контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг тривалого строку дії, що засновані не на оплаті за виконані об'єми робіт, а на досягненні і підтримці якісних показників стану доріг. Одними з головних проблем укладання таких контрактів є обґрунтування нормативних рівнів обслуговування елементів доріг та визначення ціни контракту.

В роботі розглянута імітаційна модель та її комп'ютерна реалізація в середовищі Excel 2007, що призначена для вирішення цих проблем. Модель враховує випадковий характер кількості дефектів, часу і вартості їх усунення, які моделюються на основі експертних оцінок ймовірнісних розподілень параметрів випадкових величин.

Ключові слова: контракт тривалого строку дії, експлуатаційне утримання доріг, рівні обслуговування, імітаційна модель, ціна контракту.

УДК 338.4:625.76

Соколова Н.М., канд. екон. наук, Маковская Ю.А.

МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ЦЕНЫ КОНТРАКТА ПО СОДЕРЖАНИЮ ДОРОГ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. В последние годы в Украине выполняются научные исследования по внедрению контрактов по эксплуатационному содержанию автомобильных дорог длительного срока действия, основаны не на оплате за выполненные объемы работ, а на достижении и поддержании качественных показателей состояния дорог. Одними из главных проблем заключения таких контрактов является обоснование нормативных уровней обслуживания элементов дорог и определения цены контракта.

В работе рассмотрена имитационная модель и ее компьютерная реализация в среде Excel 2007, предназначенная для решения этих проблем. Модель учитывает случайный характер количества дефектов, времени и стоимости их устранения, которые моделируются на основе экспертных оценок вероятностных распределений параметров случайных величин.

Ключевые слова: контракт длительного срока действия, эксплуатационное содержание дорог, уровни обслуживания, имитационная модель, цена контракта.

UDC 338.4:625.76

Sokolova N. M., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Makovska Yu. A.

THE MODEL FOR THE CONTRACT PRICE FOR MAINTENANCE OF ROADS IS A LONG TERM

Annotation. In recent years, in Ukraine has been carrying out scientific research into the implementation of Output and Performance-based Contract for Roads, based not on paying for the work done, but on achieving and maintaining high-quality road performance indicators. One of the main problems of concluding such contracts is the justification of the regulatory levels of servicing the road elements and determining the price of the contract.

The simulation model and its computer implementation in the Excel 2007 environment designed to solve these problems are considered. The model takes into account the random nature of the number of defects, time and cost of their elimination, which are modeled on the basis of expert estimates of probabilistic distributions of parameters of random variables.

Keywords: long-term contract, maintenance of roads, service levels, simulation model, contract price.

Постановка проблеми

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках (ДККП) – це тривалий (більше одного року) договір з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг (далі - утримання) за показником рівня їх обслуговування [1].

Підрядники в ДККП отримують щомісячну фіксовану оплату не за виконані об'єми робіт і послуг, а за досягнення встановлених рівнів обслуговування елементів доріг, за винятком непередбачених аварійних робіт, які оплачуються окремо. Невиконання кінцевих показників утримання або несвоєчасне усунення виявлених дефектів оцінюється штрафними балами і зменшує щомісячну оплату за ДККП, в залежності від кількості балів.

З метою реалізації ДККП була створена Інформаційної аналітична система управління контрактом (ІАСУ-ДККП), яка забезпечує [2]: аналіз даних та підготовку звітів про різні інспекції, що вимагаються контрактом; розрахунок щомісячної суми оплати підряднику на основі фіксованої суми оплати за умовами контракту та сум утримань за штрафні бали.

ДККП є новим явищем в дорожньому господарстві України. Їх економічне обґрунтування є складним науковим завданням, яке вимагає розв'язання теоретико-методологічних задач: розробки моделей і методик обґрунтування ціни контракту; системи стимулювання підрядника; розподілення ризиків між замовником і підрядником; організації їх здійснення і контролю дотримання встановлених у контракті рівнів обслуговування.

Для функціонування ІАСУ-ДККП був створений перший варіант бази даних рівнів обслуговування елементів доріг [3]. Проте, ІАСУ-ДККП не містить в собі інструменту обґрунтування фіксованої суми оплати за умовами контракту. Крім того, необхідний інструмент для обґрунтування самих нормативних рівнів обслуговування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Запровадження контрактів тривалого строку дії на утримання автомобільних доріг, їх оцінка системою кількісних показників-індикаторів, що відображують досягнуті рівні споживчих якостей – рівні обслуговування, є одним з 9 пунктів Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 8) [4].

Такі контракти (в англійських джерелах - Output and Performance-based Contract for Roads (OPRC), або Performance-based Maintenance Contract (PBMC) проектується для збільшення суспільної ефективності доріг і ефективного їх виконання підрядними організаціями. Вони гарантують адекватність фізичного стану доріг потребам користувачів доріг протягом всього періоду дії контракту [5, 6].

В традиційних метод-базованих контрактах на утримання доріг підрядник несе відповідальність за виконання робіт, які визначаються дорожньою адміністрацією (замовником), і робота підрядника оплачується на основі одиничних розцінок. Фактично підрядник має негативний стимул, який сприяє здійсненню максимальної кількості робіт, з метою максимізації обороту і прибутку підрядника.

Відмінність OPRC (або РВМС) від традиційного метод-базованого контракту полягає в тому, що більша частина оплати підряднику базується на досягнутому і вимірному «виході», який відображує прийнятий у контракті цільовий стан доріг через так звані «рівні обслуговування», визначені при укладанні контракту. Цей підхід діє в якості системи мотивації для забезпечення підрядником оптимізації ресурсів, зайнятих в обслуговуванні і експлуатації доріг. Дорожні агентства, які впровадили контракти OPRC, досягли економії витрат від 10% до 40% порівняно з традиційними контрактами [6].

Однією з головних проблем впровадження ДККП є визначення ціни ДККП і суми щомісячного платежу підряднику за досягнуті експлуатаційні показники. Складність її вирішення обумовлена природнім випадковим процесом виникнення і накопичення об'ємів дефектів елементів доріг, відсутністю, у багатьох випадках, кількісних закономірностей прогнозування об'ємів дефектів, впливом ризику і невизначеності на технічні і економічні параметри процесу відновлення експлуатаційного стану елементів доріг, відсутністю історичних баз даних. Означена проблема розглядається економічною наукою в рамках теорії агентства, теорії контрактів і теорії трансакційних витрат, а також теорії експлуатації доріг [7, с. 257; 8, 9].

Для вирішення проблеми стосовно покриття дороги автори роботи [8] спираються на поняття дискретного стану покриття $i \in \{0, 1, \dots, s\}$. Зусилля підрядника в періоді $t \in \{0, 1, \dots, n\}$ для переведення стану покриття від початкового i до цільового j моделюється функцією вартості $c_t(i, j)$, де $j \geq i$; $c_t(i, i) = 0$. Замовник проектує платежі (I - стимул) і штрафи (D - антистимул) потенційному підряднику для кожного i -го стану покриття і періоду t . I/D позначається $h_t(i)$. Цільова функція $\Pi_t(i)$ - це очікуваний підрядником прибуток від періоду t і далі, якщо початковий стан був i -й [8, с. 30]:

$$\Pi_t(i) = h_t(i) + \max(-c_t(i, j) + \alpha \sum_{0 \leq k \leq j} P_{jk} \Pi_{t+1}(k)), j \geq i, \quad (1)$$

де α – фактор дисконтування; $t \in \{1, \dots, n-1\}$; P_{jk} – імовірність переходу зі стану i в стан k .

Інший підхід з позицій теорії агентства зроблений в роботі [9]. Згідно з нею, суспільні вигоди, одержувані від експлуатації дороги, можуть бути вимірні за допомогою ряду показників. Досягнутий рівень експлуатаційного показника q_i зв'язаний з зусиллями e_i підрядника, які мають випадкову складову ε_i : $q_i = e_i + \varepsilon_i$, тобто підрядник діє в умовах ризику. Підрядник є не нейтральним до ризику і виконує свої функції з витратами $C = C_0 + \sum_{i=1}^n \psi_i(e_i)$, де C – вартість послуг підрядника; C_0 - фіксована вартість необхідних початкових інвестицій для надання послуг; $\psi_i(e_i)$ – функція витрат підрядника залежна від зусиль.

Підрядник отримує кожного місяця однакову суму від замовника, яка залежить від рівня якості q_i . Очікуване значення функції корисності підрядника $U_r = \alpha + \sum_{i=1}^n (\beta_i \cdot e_i) - C - r \cdot \sigma_i^2$, де σ_i^2 - дисперсія доходу, отриманого підрядником; α , і β_i – фіксовані параметри, встановлені в контракті; C – вартість послуг підрядника; r – параметр відношення підрядника до ризику.

Функція суспільного добробуту W_s , яка максимізується [9, с. 471]:

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

де λ – параметр, який характеризує податкову систему країни, $\lambda > 0$.

Мета статті – запропонувати імітаційну модель обґрунтування рівнів обслуговування елементів доріг і фіксованої щомісячної суми оплати в ДККП.

Виклад основного матеріалу

В прийнятому в ДККП підході ціна контракту включає: для робіт і послуг з 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 для оплати аварійних

робіт і непередбачених витрат та знаходиться у межах, які встановлені національними законодавчими актами.

Модель обґрунтування суми щомісячного платежу підряднику базується на понятті рівня обслуговування дефекту - сукупності встановлених критеріїв: максимально допустимого періоду між оглядами елементу дороги; рівня втручання (серйозності і розповсюдження дефекту); строку ліквідації - часу, протягом якого дефект повинен бути усунений і який дорівнює різниці між моментом усунення та моментом реєстрації дефекту. Одному виду дефекту, в залежності від його параметрів, може відповідати декілька вимог з усунення [1, с. 7-8].

Стану елементів можна надати деяку метрику – рівень стану, який може бути абсолютним (наприклад, рівність дорожнього покриття) або відносним (за шкалою рейтингу з певною кількістю балів, додатково розділеної на дискретні категорії). Стан елементів автомобільних доріг, від якого залежить значення функції суспільних вигод, формується під впливом двох процесів: процесу деградації – виникнення і розвитку в просторі і часі дефектів елементів дороги; процесу відновлення – ліквідації підрядником дефектів елементів дороги шляхом виконання робіт з утримання елементів доріг.

Кожна робота або послуга триває певний час, величина якого залежить від призначеної для її виконання кількості трудових і матеріально-технічних ресурсів (зусиль підрядника).

Зауважимо, що моделі процесу деградації елементів складових доріг в Україні більш-менш детально розроблені лише для дорожнього одягу та його покриття і для елементів 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 п'ятьма експлуатаційними станами, параметром надійності або характеристикою безпеки, рівнем зносу.

У пропонованій моделі прийнято, що кожна робота з усунення дефекту знаходиться під впливом множини притаманних їй внутрішніх і зовнішніх випадкових факторів, тому тривалість і вартість роботи оцінюється через добуток нормативних значень і випадкових коефіцієнтів затримки (випередження) і здороження (здешевлення) роботи, які знаходяться в інтервалі від мінімального a_i до максимального b_i значення з найбільш імовірним значенням c_i .

Конкретні модельні значення цих випадкових коефіцієнтів визначаються методом Монте-Карло за допомогою відповідних трикутних законів розподілу. Отже, наприклад, функція витрат $\psi_i(e_i)$ (2) в пропонованій моделі прийнята випадковою величиною:

$$\psi_i(e_i) = C_i(\tau_i) \cdot \xi, \quad (3)$$

де $C_i(\tau_i)$ – проектна вартість роботи з усунення дефекту за час відгуку τ_i ;

ξ – реалізація випадкової величини за трикутним законом розподілу з параметрами a_i, b_i, c_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, отже 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^o , часу виконання роботи τ_i^e . Повинне виконуватись обмеження:

$$\tau_i^y = (\tau_i^p + \tau_i^o + \tau_i^e) \leq \tau_i. \quad (4)$$

Коли τ_i^y перевищує регламентований у контракті час відгуку τ_i , підряднику нараховуються штрафні бали, кількість яких може бути прогресивною в залежності від інтервалу часу затримки усунення дефекту [1, с. 23-24]. Усі суми зниження оплати, рівні добутку кількості штрафних балів і вартості одного балу, 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 .

Час на усунення дефекту τ_i^y моделюється також за трикутними законом розподілу, подібно вартості (3). Вибір трикутного закону розподілу мотивований відсутністю достатньої кількості спостережених фактичних даних, необхідної для обґрунтування закону розподілу необхідних для моделювання випадкових

величин. В такому випадку, для їх оцінки найчастіше застосовують експертні методи з використанням трикутного або, навіть, рівномірного закону розподілу [11, с. 444–445].

Першим важливим параметром, що приймається до уваги при оцінюванні вартості контракту, є кількість випадків дефектів, відповідних кожному рівню обслуговування. Ця кількість випадків залежить від багатьох чинників: виду і типу елементу автомобільної дороги, його матеріалу і віку, кількості на ділянці дороги або на мережі доріг під контрактом; природно-кліматичних, ґрунтово-геологічних і гідрологічних умов; рельєфу місцевості; інтенсивності і складу дорожнього руху; кількості опадів, ожеледиць тощо.

Річну кількість випадків дефектів також пропонується визначати експертним методом за трикутним законом розподілу, як випадкову величину. Експерт, прийнявши до уваги надані йому дані про наявність і об'єми елементів на конкретній ділянці дороги або на конкретних ділянках мережі доріг, здатний оцінити можливу кількість випадків дефектів. Такий підхід дозволяє виключити з комп'ютерної програми, яка реалізує пропоновану модель, складний етап прямого визначення кількості випадків дефектів через структуру і кількість елементів доріг і фактори впливу та їх взаємодію з-за відсутності необхідних статистичних моделей, а, спираючись на досвід експерта. Річна кількість випадків дефектів розподіляється по місяцях року з урахуванням сезону року, коли такі дефекти виникають і усуваються.

На кожний випадок рівня обслуговування дефекту визначається випадковий об'єм роботи з усунення дефекту за відповідним трикутним розподілом ймовірностей, на основі якого визначаються нормативні вартість і тривалість усунення, які помножуються на випадкові величини коефіцієнтів здороження і затримки.

Результати моделювання накопичуються належним чином, а потім здійснюється їх статистична обробка. Укрупнена схема алгоритму імітаційного моделювання наведена на рис. 1. Комп'ютерна програма реалізована на Visual Basic for Application Excel 2007.

Вихідні дані в попередньо витягуються на лист книги Excel шляхом використання режимів завантаження даних з бази даних ІАСУ-ДККП, що створена в 2015 році кафедрою управління виробництвом і майном Національного транспортного університету. Вихідні дані можуть бути задані вручну без підключення бази даних ІАСУ-ДККП. При необхідності задаються

або коригуються параметри трикутних розподілень ймовірностей річної кількості випадків дефектів, об'ємів робіт на один випадок, тривалості і вартості робіт, а також розподілення річної кількості випадків по місяцях року. Вводяться параметри контракту: вартість одного балу штрафу за перевищення часу відгуку, кількість місяців тривалості контракту і номер місяця початку здійснення контракту.

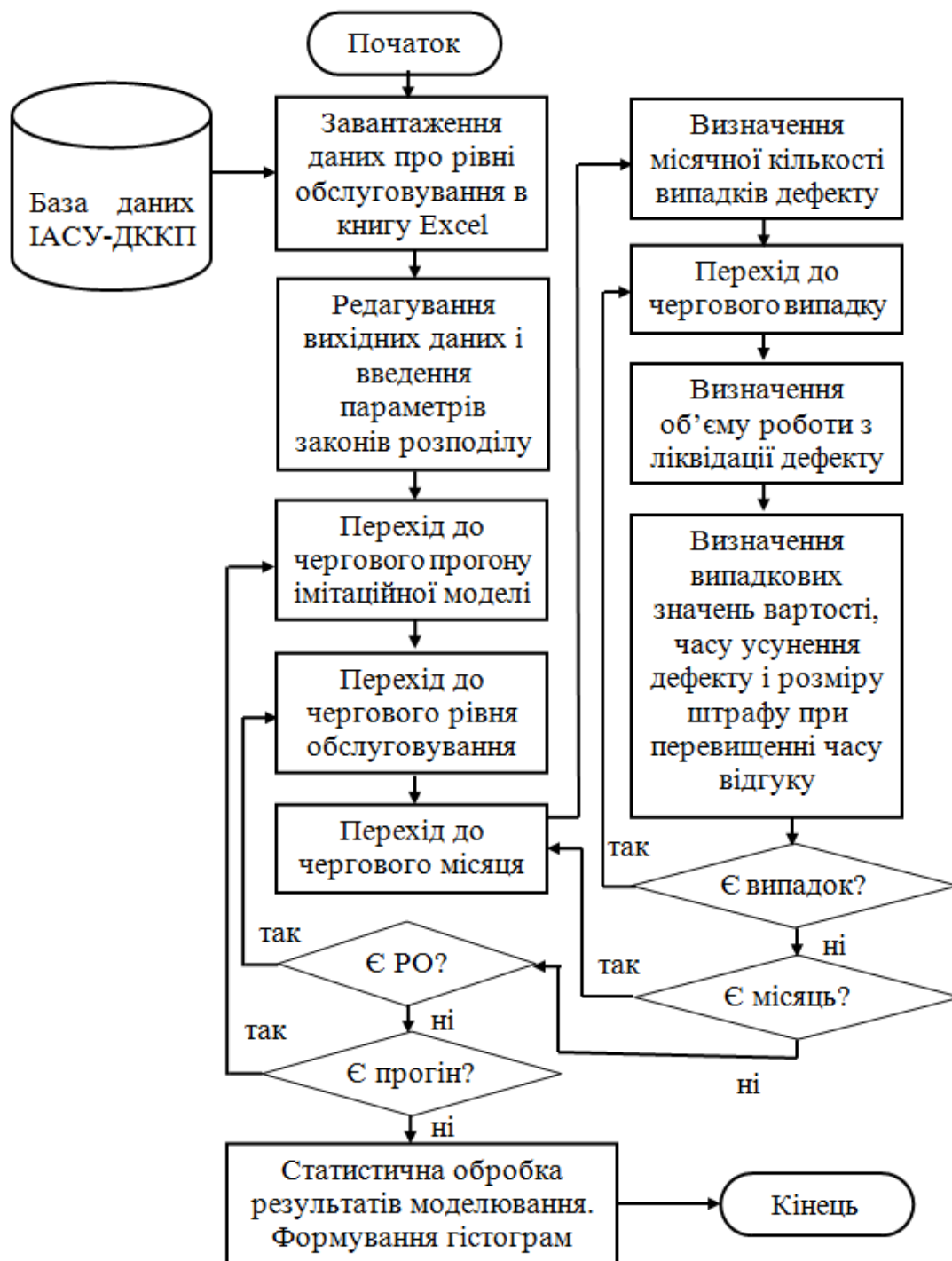


Рисунок 1 – Укрупнена схема імітаційного моделювання

В моделі можна задати різну кількість прогонів, яка, однак, не повинна перевищувати 10000 прогонів. Це достатньо для задачі, яка розв'язується.

Книга Excel складається з трьох листів: Вихідні дані; Результати моделювання; Статистика.

Вони дають змогу оцінити вплив розміру щомісячного платежу підряднику, вартості штрафного балу і параметрів рівнів обслуговування на доход підрядника за весь період терміну контракту, а шляхом зміни вихідних даних дослідити ефективність застосування тих чи інших технологічних методів усунення дефектів.

Результати, які отримані в кожному прогоні імітаційної моделі виводяться на лист книги Excel «Статистика», де визначаються середні значення, середньоквадратичні відхилення і коефіцієнти варіації. Отримана вибірка результатів може бути далі використана для визначення інших показників.

Результати моделювання включають ряд таблиць та декілька гістограм, наприклад, оцінки розподілів сум штрафів, вартості робіт, що наведені на рис. 2 і рис. 3.

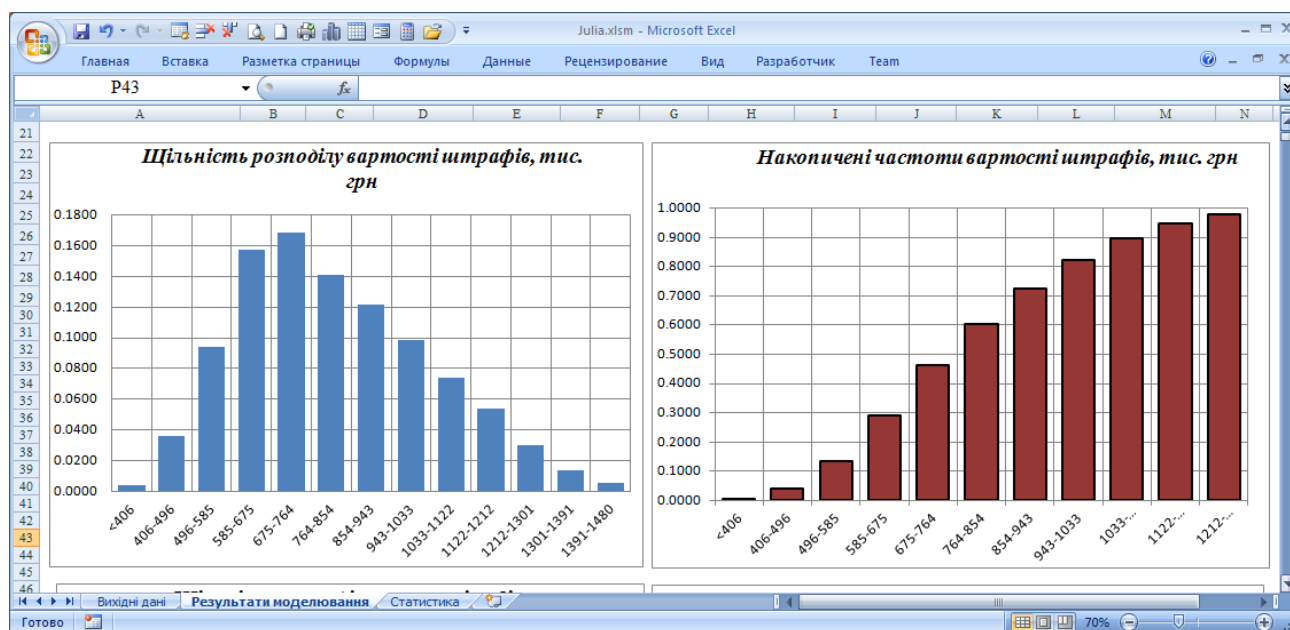


Рисунок 2 – Гістограми розподілу ймовірностей вартості штрафів

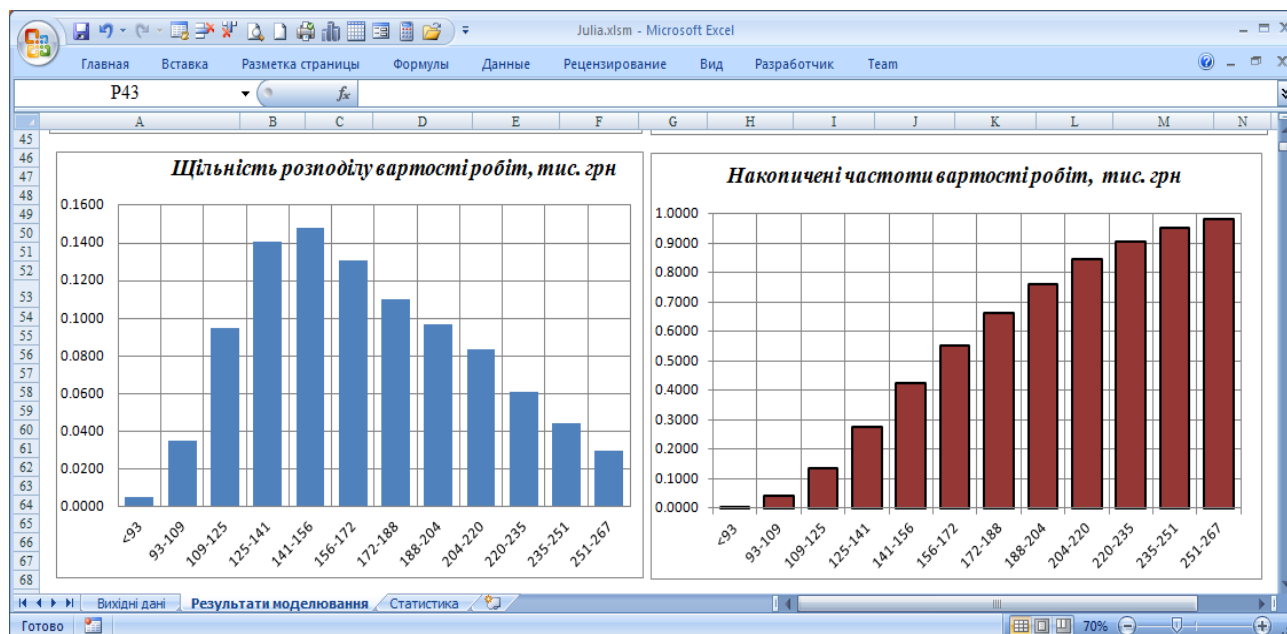


Рисунок 3 – Гістограми розподілу ймовірностей вартості робіт

Висновки

Запропонована і реалізована в Excel 2007 імітаційна модель є корисним інструментом для обґрунтування фіксованої щомісячної ціни ДККП та інструментом обґрунтування рівнів обслуговування в процесі розробки відповідного нормативного документу.

В подальших дослідженнях передбачається розглянути питання оптимізації рівнів обслуговування і включення запропонованої програми у склад ІАСУ-ДККП.

Література

1. 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.
2. 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.
3. 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.

4. Деякі питання реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 березня 2015 р. № 432-р. - Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-2015-%D1%80>.

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

6. Станкевич Наталья 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, 2005. – Режим доступу: http://www-esd.worldbank.org/psc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf

7. Bliemer M.C.J. Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World [Електронний ресурс] / Michiel C.J. Bliemer? Corinne Mulley? Claudine J. Moutou // Edward Elgar, 2016. – 544 р. - Режим доступу: http://www.amazon.com/Handbook-Transport-Urban-Planning-Developed/dp/1783471387#reader_1783471387.

8. Gupta D. Optimal Contract Mechanism Design for Performance-Based Contracts [Електронний ресурс] / D. Gupta, A. Vedantam, J. Azadivar // University of Minnesota, Report No. MN/RC 2011-18. - Режим доступу: <https://www.lrrb.org/PDF/201118.pdf>.

9. Soliño A. S. Optimizing performance-based mechanisms in road anagement: an agency theory approach. EJTIR 15(4), 2015, - pp. 465-481. Avaliable at: http://www.tbm.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/TBM/Onderzoek/EJTIR/Back_issues/15.4/2015_04_04.pdf.

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

11. Кельтон, В. Имитационное моделирование : пер. с англ. / В. Дэвид Кельтон, Аверилл М. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Киев : BHV, 2004. – 847 с.

Рецензенти:

Угненко Є.Б., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Безуглий А.О., канд. екон. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:

Uhlenko Ye.B., Dr. Tech. Sci., Kharkov National Automobile and Highway University.

Bezuhlyi A.O., Cand. Econ. Sci., "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **05.02.2017 р.**