

АНАЛІТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ВПЛИВУ ЙМОВІРНОСТІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ НА БЕЗВІДМОВНІСТЬ САМОХІДНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

Любченко Ірина Сергіївна

аспірантка

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: 0000-0001-5259-1760

e-mail: lub4enko.ira@gmail.com

Роговський Іван Леонідович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: 0000-0002-6957-1616

e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

В статті обговорюються питання застосування чисельних методів оптимізації другого порядку в задачах стохастичного програмування, що включають функцію ймовірності впливу на показники безвідмовності самохідних обприскувачів систем параметрів вбудованого технічного контролю, таких як повнота і глибина технічного контролю.

Розроблено аналітичні моделі деяких типових структур безвідмовності самохідних обприскувачів, в яких враховуються характеристики технічного контролю за працездатністю елементів.

Представлена графічна інтерпретація залежності показників безвідмовності самохідних обприскувачів від повноти технічного контролю. Підтверджено існування впливу повноти технічного контролю на показники безвідмовності структур.

Розглянутий підхід із подібним аналізом дозволяє обґрунтовано висувати вимоги до характеристик систем технічного контролю самохідних обприскувачів.

Ключові слова: безвідмовність, обприскувач, ймовірність, контроль, параметр, елемент, працездатність.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.16>

Постановка проблеми.

Застосування чисельних методів оптимізації другого порядку в задачах встановлення впливу ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів, як стохастичного програмування, є включення функцій ймовірності. Остання може виступати в розглянутих задачах як критерій оптимізації або як функція обмеження. Відомо, що функція ймовірності не є опуклою або увігнутою по всій області визначення [1]. Як правило, функція ймовірності досліджується на квазівипуклість і використовуються властивості, що випливають з її квазівипуклості; дані властивості висвітлені [2]. Твердження про властивості квазівипуклості функції ймовірності спираються на поняття квазівигнутих та логарифмічно увігнутих ймовірнісних заходів, що розглядаються у [3]. Також, в інших роботах розглядаються властивості множин рівня функції ймовірності, наприклад, в наведених вище роботах прямо не розглядаються питання, суміжне з аналізом опуклості функцій або їх оцінкою – а саме обчислення чи оцінка значення похідних функцій ймовірності [4]. Основна складність у обчисленні похідних функції ймовірності полягає у функції Хевісайда, що входить в інтегральне уявлення функції ймовірності [5]. Таким чином, при прямому диференціюванні функції ймовірності з'являється дельта-функція Дірака, а похідна у випадку набуває вигляду поверхневого інтеграла [6]. Раніше були отримані формули для прямого обчислення похідної функції ймовірності у формі поверхневого інтеграла Рімана [7], у формі інтеграла Лебега по поверхні [8], а також у вигляді виразів, що використовують метод трансформації інтеграла Лебега [9]. Також було показано, що при деяких обмеженнях похідна представлена у вигляді суми поверхневого та об'ємного інтегралів [10]. Дані методи обчис-

лення точної похідної функції ймовірності досить складні через інтегрування по поверхні, яка може бути задана неявно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Складнощі при прямому обчисленні точних значень функції ймовірності та її похідної зумовлюють розвиток альтернативних методів розв'язання задач стохастичного програмування, наприклад, методів часткової лінеаризації моделі [11] або методів переходу до еквівалентних детермінованих задач. Автором запропонована гладка апроксимація функції ймовірності [12], що дозволяє застосовувати інші методи розв'язання задач стохастичного програмування з імовірнісним критерієм або імовірнісними обмеженнями. Функція Хевісайда у вираженні функції ймовірності замінюється на її гладку апроксимацію – сигмоїди. Показано, що апроксимоване значення функції ймовірності сходять до точного при прагненні параметра сигмоїди до нескінченності [13]. Більш того, приватні похідні гладкої апроксимації за рівнем втрат і компонентами вектора управління сходяться до відповідних похідних вихідної функції ймовірності і мають вигляд об'ємного інтеграла, який обчислюється відносно легко. У [14] було отримано узагальнення такого підходу на випадок довільної розмірності вектора випадкових параметрів, а також запропонований спосіб застосування гладкої апроксимації функції ймовірності в задачі побудови альфа-ядра ймовірнісної міри, а також в оптимізації задачі з поліедральною функцією втрат і ймовірнісним критерієм.

В [15] показана можливість застосування гладкої апроксимації функції ймовірності до прикладних задач стохастичного програмування, раніше описаних у [16]: задачі проектування системи водопостачання в пустельній місцевості, задачі визначення площі злітно-посадкової смуги, а також за-

дачі визначення безлічі допустимих швидкостей вітру для забезпечення безпечної посадки із заданою ймовірністю. У всіх випадках були отримані рішення, близькі до оптимальних, і переважають за значенням функції ймовірності рішення, отримані за допомогою довірчого методу. Таким чином, заміна функції ймовірності на її гладку апроксимацію дозволяє отримати хорошу апроксимацію вихідного завдання як за значенням критерію, і по оптимальному управлінню. Для вирішення завдань [17] використовувався метод проєкції градієнта – чисельний метод оптимізації першого порядку. Знання других похідних гладкої апроксимації функції ймовірності дозволить використовувати чисельні методи другого порядку, що може підвищити ефективність та точність рішення.

В роботі [18] отримані вирази для других похідних гладкої апроксимації функції ймовірності. Численні експерименти показують, що одержувані другі похідні гладкої апроксимації сходяться до других похідних вихідної функції ймовірності при прагненні параметра показника експоненти в сигмоїді до нескінченності [18]. Другі похідні точної функції ймовірності оцінювалися за допомогою кінцевих різниць [19]. Для порівняння близькості апроксимованого та точного значень похідної розглянуто три приклади: з білінійною функцією втрат [20], квадратичною функцією втрат [21], а також із логарифмічною функцією втрат [22]. Доказ збіжності апроксимації других похідних до точним значенням виходять за рамки представленої роботи. Як приклад застосування алгоритму розв'язання задачі з розглянутими апроксимаціями наведено розв'язання задачі портфельної оптимізації з логарифмічною функцією втрат та ймовірним критерієм.

Метою досліджень є дослідження огляд сучасних методів логіко-ймовірнісного аналізу самохідних обприскувачів та застосування марковське моделювання зі встановлення впливу технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів.

Результати досліджень.

Розглянемо випадковий вектор $X \in R^n$ ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів з абсолютно безперервним розподілом і щільністю розподілу $f: R^n \rightarrow R^1$. Також розглянемо строго кусочно-монотонну функцію $\Phi(u, x): R^m \times R^n \rightarrow R^1$, залежить від реалізації x випадкового вектора X та вектор управління $u \in U \subset R^m$. Функція $\Phi(u, x)$ ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів називається функцією втрат і відображає втрати при вибраному векторі управління u та реалізації x випадкових параметрів вектор.

Оскільки реалізація вектора випадкових параметрів невідома на етапі вибору вектора управління u , а $\Phi(u, x)$ де-факто є випадковою функцією, вибір оптимального управління неможливий виходячи з прямого порівняння значень функції втрат при різних векторах управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів. Тому як критерій оптимізації використовується ймовірнісний критерій, чисельно рівний ймовірності того, що втрати не перевищать заздалегідь заданий рівень φ . Таким чином, функція ймовірності визначається як:

$$P_\varphi(u) = P\{X: \Phi(u, X) \leq \varphi\} \quad (1)$$

З фізичного сенсу функції втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних

обприскувачів впливає, що оптимальне управління має доставляти максимум функції ймовірності, з чого впливає оптимізаційне завдання:

$$P_\varphi(u) \rightarrow \max_{u \in U} \quad (2)$$

У деяких випадках немає однозначного правила визначення допустимого рівня втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів φ . У цій ситуації може застосовуватися підхід із фіксацією допустимої ймовірності та мінімізацією величини, яку втрати не перевершать із цією фіксованою ймовірністю. Це призводить до розгляду задачі квантильної оптимізації, тобто завдання стохастичного програмування з функцією квантилі як критерій.

Функція квантилі визначається як:

$$\varphi_\alpha(u) = \min\{\varphi: P_\varphi(u) \geq \alpha\} \quad (3)$$

а задача квантильної оптимізації формулюється як:

$$\varphi_\alpha(u) \rightarrow \min_{u \in U} \quad (4)$$

У рамках цієї статті розглядається лише функція ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів. Питання апроксимації функції квантилі та її похідних розглянуто в [23], а вирази для других похідних можуть бути отримані аналогічним чином.

Для початку наведемо основні співвідношення та визначення. Функція ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів може бути представлена таким чином:

$$\begin{aligned} P_\varphi(u) &= M\{I\{\Phi(u, X) \leq \varphi\}\} = \\ &= \int_G I\{\Phi(u, X) \leq \varphi\} f(x) dx = \\ &= \int_G \theta(\varphi - \Phi(u, X)) f(x) dx, \end{aligned} \quad (5)$$

де $G = \text{supp}(X) \subseteq R^n$ – носій розподілу вектора X ,

$I\{\Phi(u, X) \leq \varphi\}$ і $\theta(\varphi - \Phi(u, X))$ – індикаторна функція і функція Хевісайда відповідно:

$$\begin{aligned} I\{\Phi(u, X) \leq \varphi\} &= \begin{cases} 1, & \Phi(u, X) \leq \varphi \\ 0, & \Phi(u, X) > \varphi \end{cases} \\ \theta(\varphi - \Phi(u, X)) &= \begin{cases} 1, & \varphi - \Phi(u, X) \geq 0 \\ 0, & \varphi - \Phi(u, X) < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

Основна ідея апроксимації зводиться до заміни функції Хевісайда в поданні функції ймовірності її гладку апроксимацію – сигмоїди:

$$S_\theta(y) = \frac{1}{1+e^{-\theta y}} \quad (7)$$

де параметр θ визначає крутість кривої на околиці нуля і є великим позитивним числом. Таким чином, апроксимація функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів набуває вигляду:

$$P_\varphi^\theta(u) = \int_G S_\theta(\varphi - \Phi(u, X)) f(x) dx \quad (8)$$

Для компактного запису похідних такої апроксимації введемо позначення для функції – похідної сигмоїди:

$$S'_\theta(x) = \theta S_\theta(x)(1 - S_\theta(x)) \quad (9)$$

Тоді приватні похідні компонентів вектора управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвід-

мовність самохідних обприскувачів u_i при $i = \overline{1, m}$ і приватна похідна за рівнем втрат φ мають вигляд:

$$\frac{\partial P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial u_i} = - \int_G S'_{\theta}(\varphi - \Phi(u, x)) \cdot \Phi'_{u_i}(u, x) \cdot f(x) dx \quad (10)$$

$$\frac{\partial P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial \varphi} = \int_G S'_{\theta}(\varphi - \Phi(u, x)) f(x) dx \quad (11)$$

Співвідношення (11) фактично визначає щільність розподілу втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів при заданому управлінні u . Показано, що для будь-кого $i = \overline{1, m}$ при $\theta \rightarrow \infty$ вірні такі твердження:

$$S_{\theta}(x) \xrightarrow{n.l.} \Theta(y), P_{\varphi}^{\theta}(u) \rightarrow P_{\varphi}(u), \frac{\partial P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial u_i} \rightarrow \frac{\partial P_{\varphi}(u)}{\partial u_i}, \frac{\partial P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial \varphi} \rightarrow \frac{\partial P_{\varphi}(u)}{\partial \varphi} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial u_i \partial u_j} &= \int_G S''_{\theta}(\varphi - \Phi(u, x)) \cdot \Phi'_{u_i}(u, x) \cdot \Phi'_{u_j}(u, x) \cdot f(x) dx - \\ &- \int_G S'_{\theta}(\varphi - \Phi(u, x)) \cdot \Phi''_{u_i u_j}(u, x) \cdot f(x) dx \end{aligned} \quad (14)$$

Важливим окремим випадком є випадок лінійної або білінійної функції втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів.

Для компактного запису других похідних функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів введемо позначення для другої похідної сигмоїди:

$$S''_{\theta}(x) = \theta^2 S(x)(1 - S(x))(1 - 2S(x)) \quad (13)$$

Тоді друга змішана приватна похідна функції ймовірності компонентів управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів u_i і u_j $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$ набуде вигляду:

При цьому другі похідні функції втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів будуть рівні нулю, і друга змішана приватна похідна набуде більш простого вигляду:

$$\frac{\partial^2 P_{\varphi}^{\theta}(u)}{\partial u_i \partial u_j} = \int_G S''_{\theta}(\varphi - \Phi(u, x)) \cdot \Phi'_{u_i}(u, x) \cdot \Phi'_{u_j}(u, x) \cdot f(x) dx \quad (15)$$

Наведені результати розрахунків функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів, її гладкої апроксимації, а також їх перших та других похідних. Похідні точної функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів оцінювалися за допомогою кінцевих різниць, а її вихідні значення – за допомогою чисельного інтегрування засобами бібліотеки SciPy мови Python. Значення апроксимацій функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів та її похідних, що являють собою інтеграли відповідно до формул (10), (14), (15), обчислювалися з допомогою методу Монте-Карло на 8000 реалізацій.

Розглянемо приклад із однією випадковою величиною, одномірним управлінням та білінійною функцією втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів:

$$\Phi(u, X) = 1 + u + X + uX \quad (16)$$

Нехай значення цільового рівня втрат ймовірності

зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів φ рівне 2, а випадкова величина X має нормальний розподіл: $X \sim N(1, 1)$. У прикладі проводиться порівняння точних і апроксимованих значень функції ймовірності, її першої другої похідних, обчислених відповідними способами, за різних значень параметра сигмоїди θ . Результати порівняння представлені рис. 1-3.

Як видно з рисунків 1-3, апроксимація функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів та її похідні досить швидко сходяться до точних значень. При цьому при фіксованому значенні параметра θ відносні похибки похідних зростають зі збільшенням порядку диференціювання форма кривої апроксимованої функції починає сильніше залежати від вибірки, через яку відбувається розрахунок інтегралів шляхом Монте-Карло, тобто, у міру збільшення розміру вибірки очікується загасання коливань значень апроксимованої функції другої похідної. Доказ цієї збіжності не предмет дослідження цієї статті.

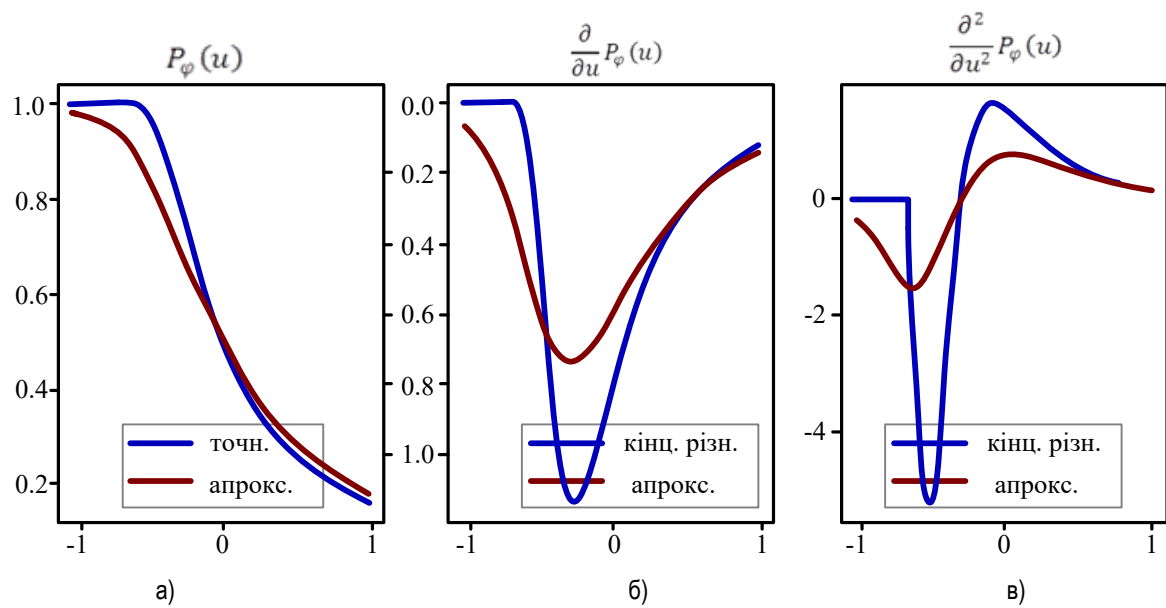


Рис. 1. Порівняння точних та апроксимованих значень функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів при параметрі сигмоїди 2 та білінійної функції втрат: а) функції ймовірності; б) першою похідною; в) другою похідною

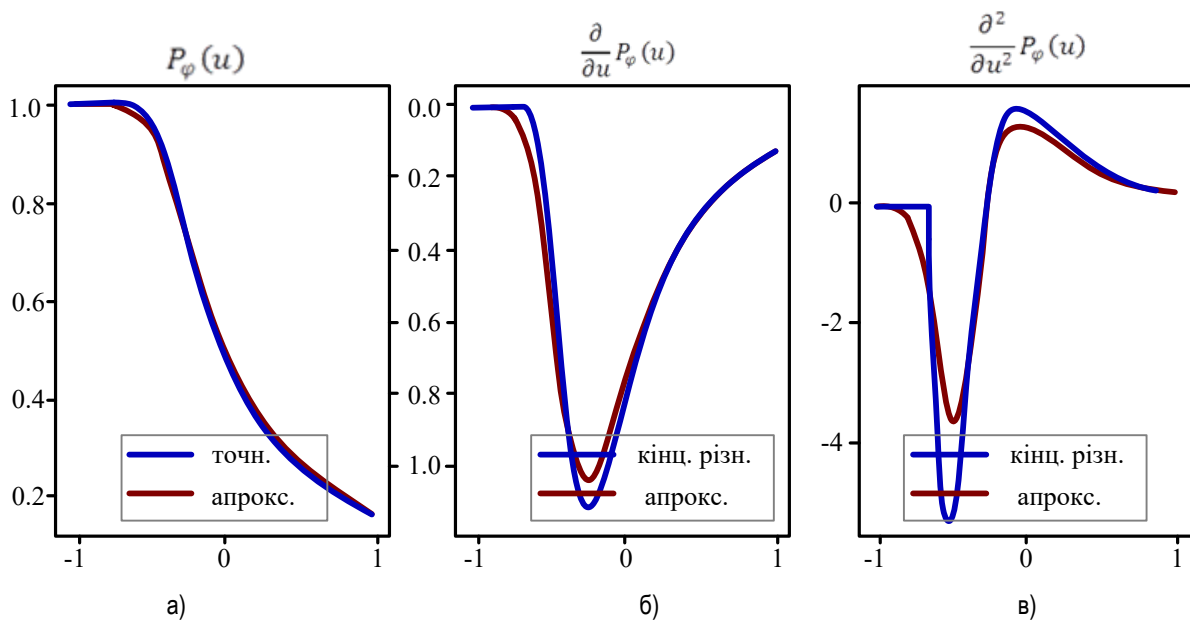


Рис. 2. Порівняння точних та апроксимованих значень функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів при параметрі сигмоїди 5 та білінійної функції втрат: а) функції ймовірності; б) першою похідною; в) другою похідною

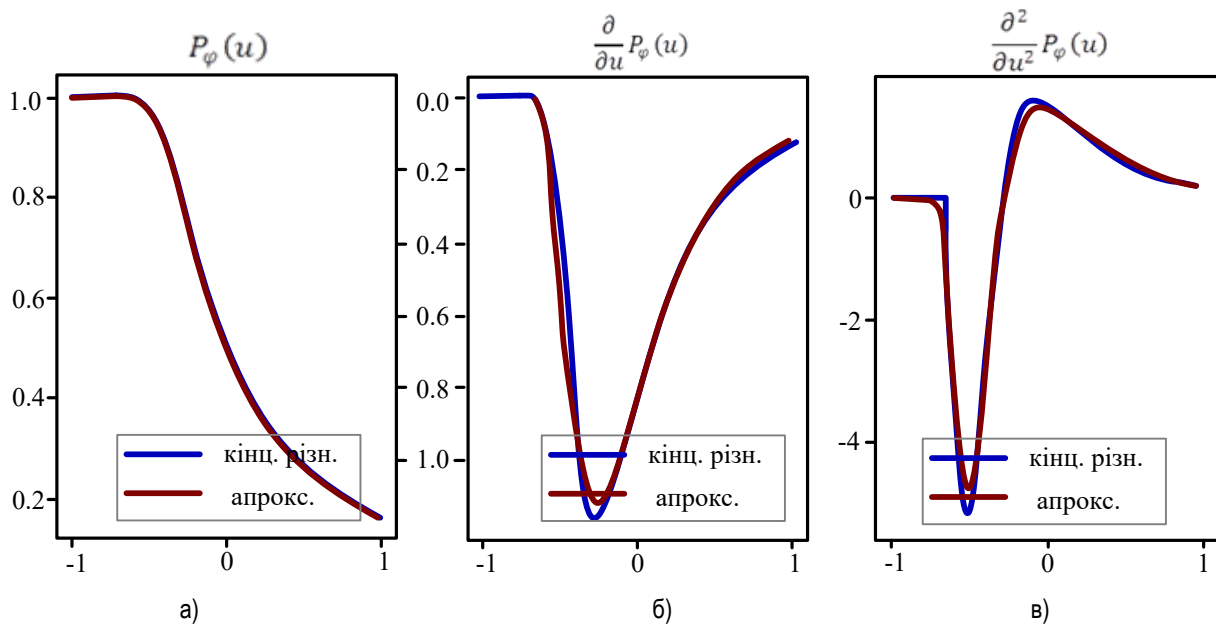


Рис. 3. Порівняння точних та апроксимованих значень функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів при параметрі сигмоїди 10 та білінійної функції втрат: а) функції ймовірності; б) першою похідною; в) другою похідною

Розглянемо приклад із квадратичною функцією втрат. Нехай

$$\Phi(u, X) = 1 + u + X + (X - u)^2 \quad (17)$$

Значення цільового рівня втрат та розподіл випадкової величини ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів X беремо аналогічно попередньому прикладу: $\varphi = 2$ $X \sim N(1, 1)$. Як і в першому випадку, порівнюємо точні та апроксимовані значення функції ймовірності, її першої другої похідних при значенні параметра сигмоїди $\theta = 10$.

Завдання формування ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів з логарифмічною функцією втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів, критерієм у формі математичного очікування та рівномірним розподілом ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів. Як функцію втрат ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів розглянемо логарифм:

$$\Phi(u, X) = \ln(C_0(1 + (1 - u_1 - u_2)b_0 + u_1X_1 + u_2X_2)) \quad (18)$$

Ймовірнісний критерій набуде вигляду:

$$P_\varphi(u) = P\{X: \Phi(u, X) \leq \varphi\} \quad (19)$$

Ризиковість розподілена рівномірно:

$$X_1 \sim U(-1, 1 + 2m_1), X_2 \sim U(-1, 1 + 2m_2) \quad (20)$$

Параметр C_0 для простоти приймемо рівним 1. Значення інших параметрів поставимо наступним чином:

$$\varphi = 0.5, b_0 = 0.05, m_1 = 0.1, m_2 = 0.2 \quad (21)$$

Результати побудови поверхонь точної та апроксимованої ймовірнісних функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів при $\theta = 50$ представлені на рисунку 4. При розрахунках передбачалося, що розрахунки обмежені областю, де $u_1 + u_2 \leq 1$. Також були побудовані поверхні другої змішаної частної похідної управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів для точної і апроксимованої функцій ймовірності (фрагменти поверхонь представлені на рисунку 5).

Для прискорення розрахунків вихідна поверхня для точної функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів будувалася по грубій сітці з поділом відрізка $[0, 1]$ з кожної змінної на 15 частин. Це призводить до нестійкості оцінок змішаної похідної приватної за допомогою кінцевих різниць. Тим не менш, друга змішана частина похідна гладкої апроксимації адекватно відображає форму поверхні, а глибина зростає зі збільшенням параметра сигмоїди. Порівняння поверхонь для значень параметра сигмоїди 25 та 50 представлено на рисунку 6.

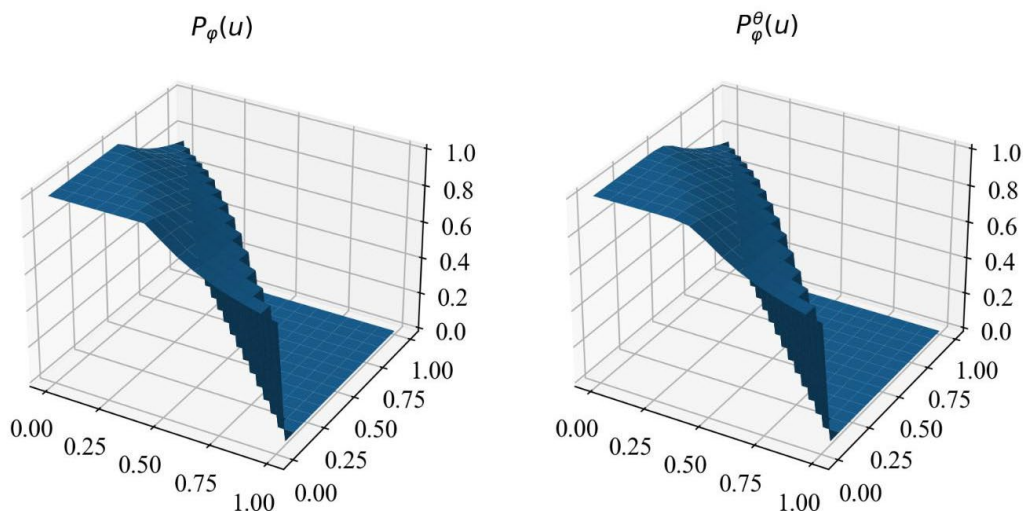


Рис. 4. Порівняння поверхонь точної (ліворуч) та апроксимованої (праворуч) імовірнісних функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів

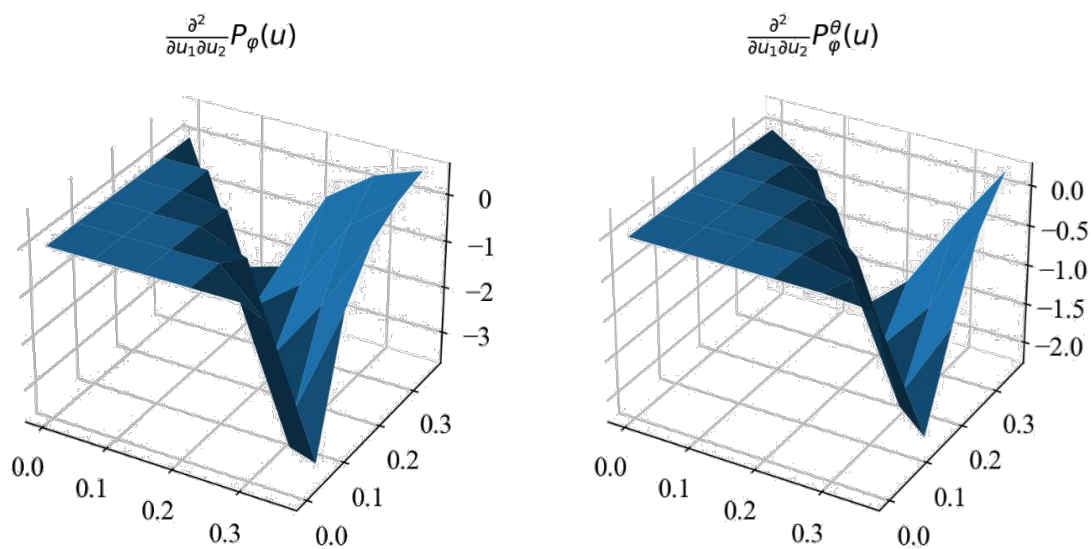


Рис. 5. Порівняння фрагментів поверхонь других змішаних приватних похідних точної (ліворуч) та апроксимованої (праворуч) імовірнісних функцій ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів

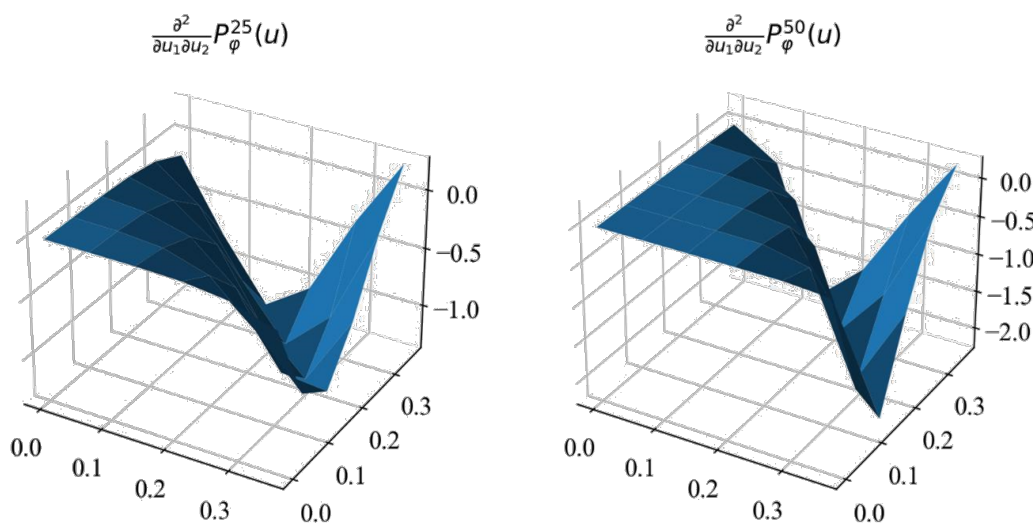


Рис. 6. Порівняння фрагментів поверхонь ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів других змішаних частних похідних гладкої апроксимації для параметрів сигмоїди 25 (ліворуч) та 50 (праворуч)

Розв'язання задачі ймовірним критерієм, логарифмічною функцією та рівномірним розподілом ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів:

$$\Phi(u, X) = \ln(C_0(1 + (1 - u_1 - u_2)b_0 + u_1X_2 + u_2X_2)) \quad (22)$$

$$X_1 \sim U(-1, 1 + 2m_1), X_2 \sim U(-1, 1 + 2m_2) \quad (23)$$

$$C_0 = 1, \varphi = 0.1, b_0 = 0.05, m_1 = 0.1, m_2 = 0.25 \quad (24)$$

Завдання максимізації функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів формулюється як:

$$P_\varphi(u) = P\{X: \Phi(u, X) \leq \varphi\} \rightarrow \max_{u \in U} u \quad (25)$$

Пропонується вирішити наближену до (25) задачу, в якій точна функція ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів замінена на гладку апроксимацію. Зазначимо, що поверхня цієї функції ймовірності буде дзеркальним відображенням поверхні, зображеної на рисунку 5, оскільки функції ймовірності знак нерівності змінений на протилежний. Задамо значення параметра сигмоїди $\theta = 50$ та кількість реалізацій для методу Монте-Карло дорівнює 15000.

Для вирішення задачі використовується модифікація методу Ньютона. В якості початкового наближення візьмемо точку $u^{[0]} = (0.25, 0.25)$. Згідно класичного методу Ньютона, чергове наближення точки оптимуму визначається через наближене перебування нуля градієнта цільової функції, тобто, напрям зростання чи зменшення цільової функції не враховується. У модифікації нове наближення оптимуму кожному кроці вибирається як найкраще за значенням критерію з трьох наближень: отриманого методом Ньютона, отриманого під час руху з кроком, протилежним методу Ньютона, і навіть отриманого методом градієнтного спуску. Нове наближення оптимуму методом Ньютона обчислюється як:

$$u^{[i+1]} = u^{[i]} - H^{-1}(u^{[i]}) \cdot \nabla P_\varphi^\theta(u^{[i]}) \quad (26)$$

де $H^{-1}(u^{[i]})$ – матриця, зворотна Гесіану функції $P_\varphi^\theta(\cdot)$, обчислена у поточній точці $u^{[i]}$.

При вирішенні враховуємо обмеження на невід'ємність змінних та обмеження на суму компонентів вектора управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів $u_1 + u_2 \leq 1$. При наближенні поточного рішення до межі області допустимих рішень обмежується крок алгоритму до досягнення відповідного кордону. При 19 досягненні межі області допустимих рішень крок алгоритму замінюється на проекцію отриманого кроку алгоритму межу досягнутого обмеження. Результати роботи алгоритму рішення представлені на рисунку 7.

Результати роботи алгоритму рішення представлені на рисунку 7.

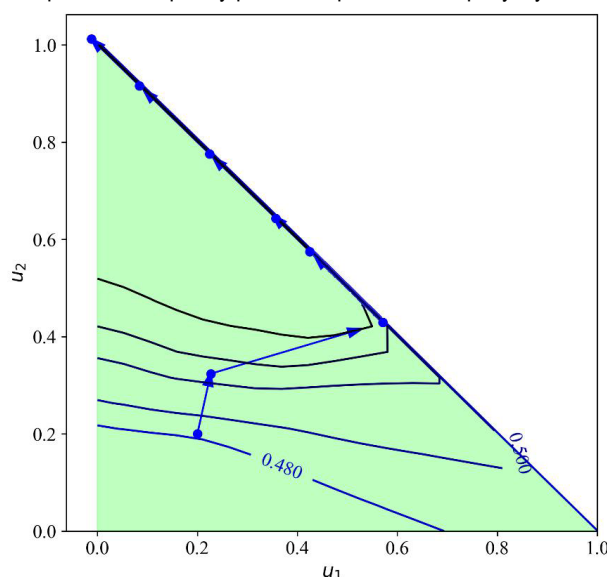


Рис. 7. Ілюстрація покрокової роботи алгоритму досягнення оптимального управління ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів

На рисунку 7 чорними та синіми лініями показані рівні функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів, стрілками – переходи від керування на поточному кроці до керування на наступному кроці. З рисунку видно, що алгоритм сходиться у разі за вісім кроків, а оптимальним управлінням є точка $[0, 1]$.

Висновки

В наведеній статті отримані аналітичні положення для других похідних гладкої апроксимації функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів компонентів вектора управління.

Наведені приклади демонструють, що ці похідні добре апроксимують відповідні похідні точної функції ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів, аналітичне обчислення яких дуже утруднене. Знання других похідних дозволяє застосовувати чисельні методи другого порядку до розв'язання задач стохастичного програмування з ймовірнісним критерієм чи обмеженням у вигляді функції ймовірності. У цьому випадку вихідна функція ймовірності зміни параметрів технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів замінюється на свою гладку апроксимацію.

Список використаної літератури.

1. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., Hormozi, M. 2015. Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal* March 17(1): 158–165
2. Gurcanli, E., Bilir, S., Sevim, M. 2015. Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science* 80: 1–12.
3. Khamidullina, E.A., Timofeeva, S.S., Smirnov, G.I. 2017. Accidents in coal mining from perspective of risk theory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 262: 012210.
4. Aven, T. 2016. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. [European Journal of Operational Research](#) 253(1): 1–13.
5. Tyutrin, S. 2019. Improving reliability of parts of mounted mower according to monitoring results by fatigue gauges from tin foil. *Engineering for rural development* 18: 22–27.

6. Зубко В.М. Технологічна і техніко-економічна оцінка машинних агрегатів при проведенні догляду за посівами при вирощуванні сільськогосподарських культур / В. М. Зубко, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 1. – С. 352-363.
7. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., Pokutnii, O. 2019. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for rural development* 18: 563–569.
8. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A., Rebenko, V. 2019. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
9. Shih-Heng, T., Ming-Hsiang, S., Wen-Pei, S. 2018. Development of digital image correlation method to analyse crack variations of masonry wall. *Sadhana* 6: 767–779.
10. Gyansah, L., Ansah, A. 2020. Fatigue crack initiation analysis in 1060 steel. *Research journal of applied sciences engineering and technology* 4(2): 319–325.
11. Nykyforchyn, H., Lunarska, E., Tsyrlunyk, O. 2019. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline. *Engineering Failure Analysis* 17: 624-632.
12. Corinne, B., José, R. 2017. Estimating the Hurst parameter. *Statistical Inference for Stochastic Processes*. Springer Verlag, 10(1): 49–73.
13. Kypris, O., Nlebedim, I., Jiles, D. 2016. Measuring stress variation with depth using Barkhausen signal. [Journal of Magnetism and Magnetic Materials – Science Direct](#) 407: 377–395.
14. Erokhin, M., Pastukhov, A., Kazantsev, S. 2019. Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for rural development* 18: 28–33.
15. Xi, L., Songlin, Z. 2019. Changes in mechanical properties of vehicle components after strengthening under low-amplitude loads below the fatigue limit. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 32(10): 847–855.
16. Rejovitzky, E., Altus, E. 2013. On single damage variable models for fatigue. *International Journal of Damage Mechanics* 22(2) 2: 268–284.
17. Pisarenko, G., Voinalovych, O., Rogovskii, I., Motrich, M. 2019. Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
18. Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Páez, F. 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground. *Pest Management Science* 67(8): 942–947.
19. Kalinichenko, D., Rogovskii, I. 2017. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *ТЕКА* 17(3): 93–102.
20. Zou, F., Kang, J., Xiao, M., Ji, G. 2017. Hydrostatic driving system for self-propelled sprayer. *Engineering Journal* 26(3): 12–18.
21. Rogovskii, I. 2020. Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research* 11(1): 155–162.
22. Chen, Y., Mao, E., Li, W., Chen, J. 2020. Design and experiment of a high-clearance self-propelled sprayer chassis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13(2): 71–80.
23. Любченко І. С. Аналітичні положення впливу повноти технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів / І. С. Любченко, І. Л. Роговський // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2021. – Вип. 1(43). – С. 14-21. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.3>.

Lyubchenko I. S., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)

Rogovskii I. L., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)

Analytical provisions of influence of probability of changing the parameters of technical control on failurelessness of self-propelled sprayers

The article discusses the application of numerical methods of second-order optimization in stochastic programming problems, which include the probability function of the impact on the failure rates of self-propelled sprayers systems built-in technical control, such as completeness and depth of technical control.

Analytical models of some typical failure-free structures of self-propelled sprayers have been developed, which take into account the characteristics of technical control over the efficiency of the elements.

A graphical interpretation of the dependence of the reliability of self-propelled sprayers on the completeness of technical control is presented. The existence of the influence of completeness of technical control on the indicators of failure of structures is confirmed.

The considered approach with a similar analysis allows to reasonably make requirements to the characteristics of technical control systems of self-propelled sprayers.

Key words: faultlessness, sprayer, probability, control, parameter, element, efficiency.

Дата надходження до редакції: 31.05.2021