

УДК 514.18

**ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ ШТУЧНИХ ВОДОЙМИЩ ДЛЯ
ЗРОШУВАННЯ УГІДЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

**OPTIMISATION OF THE LOCATION OF ARTIFICIAL RESERVOIRS FOR
IRRIGATION OF AGRICULTURAL LAND**

**О. О. Дереза, канд. техн. наук, О. Є. Мацулевич, канд. техн. наук,
І. Р. Тетервак, М. В. Супрун**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

***Анотація.** Удосконалення схеми розміщення штучних басейнів — це процедура пошуку найбільш раціональних локацій для їхнього облаштування з огляду на комплекс чинників (гідрологічних, фінансових, природоохоронних). Цей процес зазвичай базується на використанні математичного апарату та ГІС-інструментарію для досягнення багатоцільового використання (зрошення, водозабезпечення, відпочинок), гарантування стабільності роботи та зменшення екологічних ризиків шляхом інтеграції об'єктів у локальну гідрографічну систему. У дослідженні представлено формулювання проблеми та побудовано алгоритм для обчислення раціональної кількості та позицій розташування універсальних водойм. Описано метод формалізації ключових обмежень досліджуваної задачі.*

***Ключові слова:** меліорація аграрних площ, гідрологічні чинники, раціональна чисельність водойм, штучна водойма.*

Вступ

Нині для нарощування темпів виробництва аграрної продукції вагоме значення мають стратегії та інструменти, що гарантують вчасне зволоження культур у період їхньої вегетації. Це набуває особливої актуальності для зон ризикованого виробництва, де результативність безпосередньо зумовлена метеорологічними особливостями території.

Степова місцевість характеризується інтенсивними процесами випаровування вологи. З огляду на це, впровадження систем штучного поливу стає виробничою необхідністю. Слід зазначити, що у степах спостерігається брак природних водних джерел, придатних для аграрної меліорації.

На наше переконання, організація мережі штучних накопичувачів для поливу угідь може нівелювати дефіцит природних ресурсів. Водночас спорудження таких об'єктів потребує відведення продуктивних земельних ділянок. Додатковим чинником є висока пожежна небезпека в степових регіонах, тому наявність резервних джерел води поблизу полів є доцільною.

Аналіз останніх досліджень

Загально визнано, що степова зона стикається зі значним дефіцитом природних джерел води, придатних для зрошення сільськогосподарських культур. На нашу думку, створення штучних водосховищ, призначених для зрошення сільськогосподарських культур, може ефективно вирішити проблему дефіциту природних водойм. Тим не менш, будівництво таких штучних водосховищ вимагає виділення продуктивних сільськогосподарських угідь. Крім того, враховуючи часті випадки пожеж у цих степових регіонах, стратегічна близькість пожежобезпечних водосховищ була б дуже вигідною.

Після попереднього аналізу існує очевидна необхідність у створенні моделі для оптимізації розташування багатофункціональних штучних водосховищ. Ці споруди повинні одночасно задовольняти потреби сільськогосподарського зрошення та гарантувати стабільне водопостачання для пожежогасіння.

Орієнтуючись на результати попереднього вивчення питання [1–7], виникає потреба у створенні моделі для оптимізації локацій багатоцільових штучних водойм. Такі об'єкти мають одночасно відповідати критеріям ефективного зрошення полів та гарантувати постійну наявність водного запасу для протипожежних заходів.

Основний матеріал дослідження

Формулювання даної задачі виглядає наступним чином: визначено територію S_0 , є розташовані цільові елементи (сільськогосподарські площі під зрошення та об'єкти з підвищеним рівнем небезпеки) S_d , $d = 1, \dots, D$. Простір S_0 описується як багатокутник у межах власної координатної сітки. Досліджувані вузли представлені у вигляді точок, чия локація зафіксована відносно координат базової області S_0 . На цій території також існують зони обмеження L_ζ , $\zeta = 1, \dots, L$, де встановлення штучних водойм суворо заборонено [3]. Метою є охоплення простору S_0 найменшою кількістю зон обслуговування водойм P_i , $i = 1, \dots, N$ (ці зони мають форму багатокутників із варіативними метричними параметрами) за умови дотримання таких вимог:

– забезпечення мінімального перекриття (перетину) між окремими районами дії водойм;

– повне розміщення зон обслуговування виключно в межах території S_0 ;

– мінімізація або повне виключення накладання районів дії водойм на заборонені ділянки L_ζ , $\zeta = 1, \dots, L$;

– гарантоване охоплення всіх меліорованих угідь S_d , $d = 1, \dots, D$, зонами перетину M_d тих районів функціонування, що відповідають за вчасний полив;

лімітування часу доступу: тривалість початку поливальних робіт на ділянках, що знаходяться на максимальній відстані від джерела P_i , $i = 1, \dots, N$, не повинна бути більшою за встановлену критичну величину T^* .

Представлена задача розглядається як проблема раціонального покриття території S_0 геометричними фігурами з варіативними метричними показниками P_i , $i = 1, \dots, N$, з урахуванням специфічних координат «центрів тяжіння» S_d , $d = 1, \dots, D$.

Математична модель для вибору оптимальних місць розташування штучних резервуарів, що гарантує стабільність меліоративних процесів, формулюється із застосуванням модифікованої ω -функції покриття:

$$u^* = \arg \min_{u \in W} N(u); \quad u = \{m_i; v_i\}; \quad i = 1, \dots, N; \quad (1)$$

де W :

$$\omega \left(\begin{matrix} m_N, m_0, v_N, v_0 \\ \bigcup_{i=1}^N P_i, \bigcup_{i=1}^N P_i \end{matrix} \right) = S^0; \quad (2)$$

$$\omega(m_i, m_j, v_i, v_j) \rightarrow \min; \quad i = 1, \dots, N; \quad j = i + 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, v_i, v_{cS_0}) \rightarrow \min; \quad i = 1, \dots, N; \quad S_0 \cup cS_0 = R^2; \quad (4)$$

$$\omega(m_i, m_\xi, v_i, v_\xi) \rightarrow \min; \quad i = 1, \dots, N; \quad \xi = 1, \dots, L; \quad (5)$$

$$S_d \in \bigcap_{k=1}^{M_d} P_k'; \quad d=1, \dots, D; \quad P_k' \in \{P_i\}, \quad i=1, \dots, N; \quad (6)$$

$$T(P_i) \leq T^*; \quad i=1, \dots, N. \quad (7)$$

У математичній структурі (1)–(7) рівняння (1) визначає цільову функцію дослідження. У цьому контексті m_i – позначає метричні параметри об'єктів P_i , $i = 1, \dots, N$ (наприклад, просторові координати кутів багатокутників у їхній локальній сітці), а v_i – параметри розташування об'єктів P_i (координатна позиція локальної системи i -го об'єкта відносно глобальної системи координат) [1, 4]. Геометричні показники та параметри локалізації зони S_0 , S^0 – загальна площа даного об'єкта; рівняння (3) – критерій мінімізації взаємного накладання об'єктів P_i та P_j ; вираз (4) рівняння (4) – вимога щодо найменшого перетину об'єктів P_i із зовнішнім доповненням зони S_0 у межах евклідового простору R^2 ; рівняння (5) – критерій мінімізації площі перетину об'єктів P_i із закритими для розміщення зонами L_ζ , $\zeta = 1, \dots, L$ рівняння (6) – вимога щодо обов'язкового входження вузлів S_d , $d = 1, \dots, D$, до зони перетину об'єктів P' , що є частиною сукупності P_i ; рівняння (7) – гранична умова стосовно дозволеного часового інтервалу для старту поливальних робіт на територіях, що мають максимальне дистанціювання від джерела води.

Комплексний аналіз території S_0 разом із цільовими об'єктами S_d , $d = 1, \dots, D$, дає змогу деталізувати систему рівнянь (1)–(8). Подальше вивчення властивостей цієї математичної конструкції дозволить окреслити межі припустимих розв'язків для оптимізації розміщення багатофункціональних водойм та сформулювати науково обґрунтований алгоритм розв'язання задачі.

Що стосується аналітичного подання обмежень (2)–(5), то воно може бути здійснено за допомогою наступної функції [2, 5]:

$$\omega_\Omega = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[x_{2,1} \cdot (y_{2,n} - y_{2,2}) + \sum_{i=2}^{n-1} x_{2,i} \cdot (y_{2,i-1} - y_{2,i+1}) + \right. \\ \left. + x_{2,n} \cdot (y_{2,n-1} - y_{2,1}) \right], \quad \text{при } S_1 \cap S_2 = S_2; \\ \frac{1}{2} \left[x_{A_1} \cdot (y_{n_{A_p}}^{A_p} - y_1^{A_1}) + \dots + x_{n_{A_1}}^{A_1} \cdot (y_{n_{A_1}-1}^{A_1} - y_{A_2}) + \right. \\ \left. + x_{A_2} \cdot (y_{n_{A_1}}^{A_1} - y_1^{A_2}) + \dots \right. \\ \left. + x_{n_{A_p}}^{A_p} \cdot (y_{n_{A_p}-1}^{A_p} - y_{A_1}) \right], \quad \text{при } S_1 \cap S_2 \neq \emptyset; \\ 0, \quad \text{при } S_1 \cap S_2 = \emptyset. \end{cases} \quad (8)$$

Геометрична інтерпретація виразу (8) наведена на рис. 1.

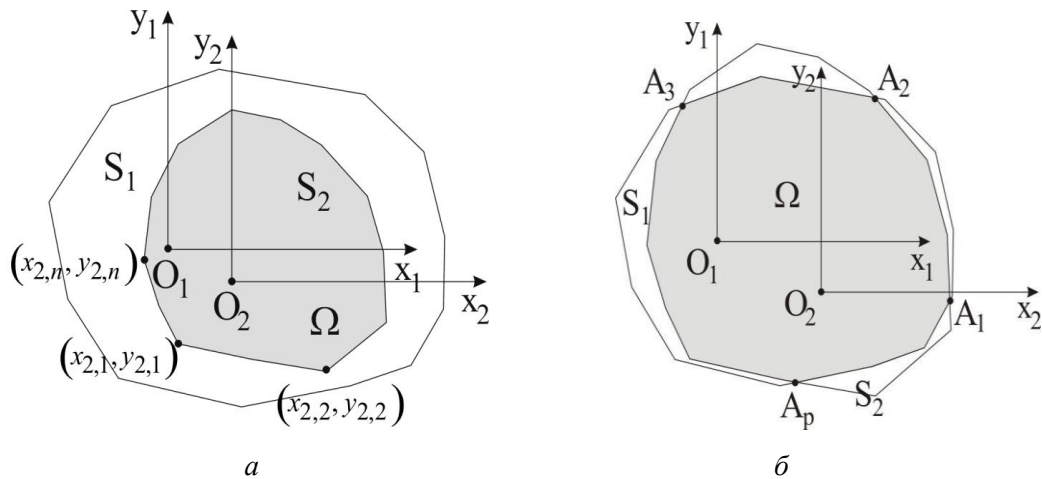


Рисунок 1 – Геометричне відображення ω -функції покриття: а – координатне розміщення кутів багатокутників у межах локальної системи; б – орієнтація локальної системи координат i -го елемента відносно загальної (глобальної) системи координат

Висновки

У представленому дослідженні сформульовано задачу та розроблено математичний апарат для оптимізації локалізації універсальних водойм, що мають одночасно забезпечувати потреби меліорації аграрних площ та гарантувати постійний резерв води для ліквідації пожеж. Доведено, що ця проблема належить до сфери оптимізаційного геометричного проектування, зокрема до підкласу задач про раціональне покриття визначених територій з урахуванням специфіки «центрів тяжіння». Подальша наукова робота буде зосереджена на вивченні простору допустимих рішень та формуванні алгоритму для знаходження оптимального розв'язку даної задачі.

Література

1. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математичні моделі та оптимізаційні методи геометричного проектування. К.: Наукова думка, 1986. 268 с.
2. Собіна В.О. Раціональне покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка» / В.О. Собіна. Мелітополь, 2012. 22 с.
3. Соболев О.М., Мацулевич О.Є. Модель оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів підвищеної небезпеки та потенційно небезпечних об'єктів. *Науковий вісник ТДАТУ*, 2016. Вип. 6. Т. 1. С. 263–268.
4. Yakovlev S, Kartashov O., Komyak V., Shekhovtsov S., Sobol O., Yakovleva I. Modeling and simulation of coverage problem in geometric design systems. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). Polyana, Ukraine: IEEE, 2019. P. 20–23.
5. Komyak, V.M., Sobol, A.N., Danilin, A.N., Komyak, V.V., Kyazimov, K.T. Optimization of partitioning the domain into subdomains according to given limitation of space. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2020. 52(2). P. 13–26.
6. Гавриленко Є.А., Холодняк Ю.В., Івженко О.В., Найдиш А.В. Призначення характеристик в точках обводу с монотонною зміною кривини. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 16. С. 91-97.
7. Дереза О. А., Антонова Г. В., Тетервак І. А., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 147–153.

UDC 514.18

Optimization of the Location of Artificial Reservoirs for Irrigation of Agricultural Land

O. Dereza, O. Matsulevych, I. Tetervak, M. Suprun

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

Summary

It is widely recognized that the steppe zone faces a significant deficit of natural water sources suitable for the irrigation of agricultural crops.

In our view, the implementation of artificial reservoirs dedicated to crop irrigation could effectively address the shortage of natural water bodies.

Nevertheless, the construction of such artificial reservoirs necessitates the allocation of productive agricultural land. Furthermore, given the frequent occurrence of fire hazards within these steppe regions, the strategic proximity of fire-safety reservoirs would be highly advantageous.

Following the preliminary analysis, there is an evident necessity to establish a model for optimizing the positioning of multifunctional artificial reservoirs. These structures must simultaneously satisfy the demands for agricultural irrigation and guarantee a consistent water supply for firefighting operations.

The optimization of artificial reservoir placement is a process of identifying the most effective locations, considering a diverse range of factors (including hydrological, economic, and environmental aspects). This often involves the use of mathematical modeling and GIS technologies to achieve multifunctionality (encompassing land reclamation, water supply, and recreation), ensure operational reliability, and minimize ecological impact by integrating these bodies into the regional hydrographic network.

This research presents and develops a framework for optimizing the placement of multifunctional reservoirs designed to meet both agricultural irrigation requirements and firefighting needs. It is demonstrated that this problem falls within the category of geometric design optimization, specifically the optimal coverage of designated objects while considering "centres of gravity." Subsequent studies will focus on analyzing the space of feasible solutions and formulating a precise methodology for solving this optimization task.

Keywords: *irrigation of agricultural land, hydrological factors, optimal number of reservoirs, artificial reservoir.*