

*В.В. Харламов, викладач кафедри ОТЗАРР
О.А. Тарасенко, д.т.н., провідний науковий співробітник ВОНДР*

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ

Показано, що підвищення продуктивності систем водопостачання при ліквідації природних пожеж можливо за рахунок оптимального трасування лінії водогонів з урахуванням особливостей ландшафту. Проведено формалізацію вказаної задачі

Ключові слова: природна пожежа, продуктивність системи водопостачання, оптимізація, втрата напору

Постановка проблеми. Ліквідація масштабних лісових та торф'яних пожеж є складною організаційно-технічною задачею, що потребує значних ресурсних витрат. Основні способи наземного транспортування води наведено на рис. 1.

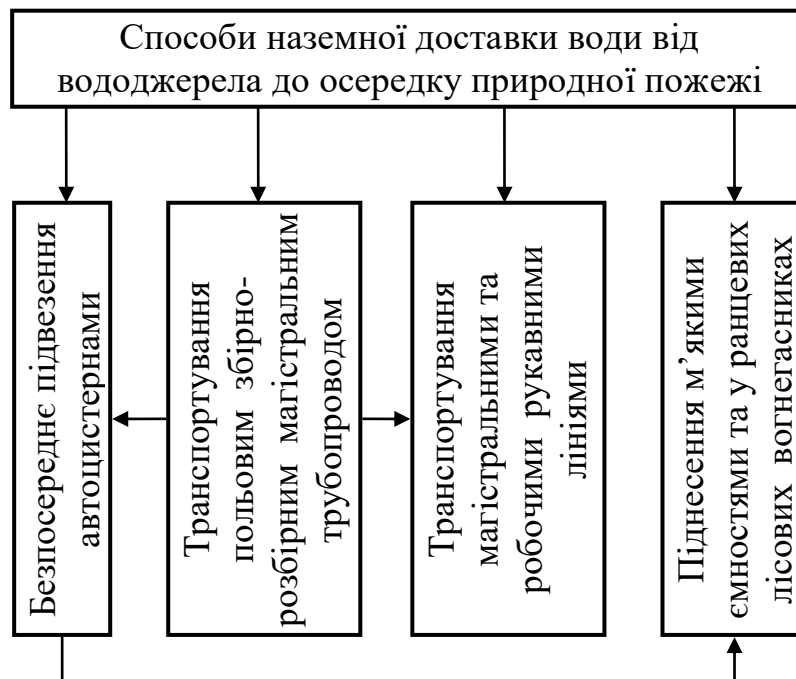


Рис. 1 – Способи наземної доставки води [1]

Віддаленість осередків природних пожеж від джерел води та складнощі в її підвозі автоцистернами в умовах бездоріжжя призводить до необхідності створення протяжних (від декількох сотень метрів до декількох кілометрів) магістральних та робочих рукавних ліній або металевотрубних водогонів (польових збірно-розбірних магістральних водопроводів).

Транспортування води магістральними та робочими рукавними лініями є найпоширенішим способом. При застосуванні тактичних можливостей насосно-рукавного автомобілю довжина робочої лінії може складати до 2 км [2]. Перевагою цього способу є висока мобільність при оперуванні робочими лініями і висока швидкість прокладання лінії як при розгортанні з автомобіля, так і вручну.

Для подачі значних мас води до місця пожежі використовуються польові магістральні трубопроводи (ПМТ) з діаметром труб 100 і 150 мм. У СРСР їх з успіхом застосовували для гасіння пожеж з 1972 року (за серпень-вересень було змонтовано 188 ліній загальною довжиною 1293,3 км) [3]. Бригади ПМТ брали участь в гасінні пожеж 2010-го року в Центральноевропейській частині Росії. За даними [4] середня довжина ліній дорівнює 8 км.

Настановні документи [5] вимагають від керівника гасіння пожежі прокладання магістралі найкоротшої довжини, оскільки від неї залежить втрата напору [6]. Топографія місцевості при цьому може суттєво ускладнювати утворення таких систем, оскільки при прокладанні лінії необхідно враховувати зменшення тиску в системі при збільшенні довжини магістралі та додатковий вплив перепаду висот рельєфу на втрату напору в водогоні. Крім того, необхідно враховувати обмеження на здатність пожежних рукавів витримувати високий тиск, а також обмеження, пов'язані з наявністю непрохідних зон заборони для прокладання такої лінії. При цьому продуктивність водогону повинна бути максимально можливою, тобто втрати напору повинні бути мінімальні.

В той же час в умовах складної топографії місцевості, при наявності непрохідних ділянок та значної відстані від вододжерела до осередку пожежі дана задача може бути розв'язаною КГП лише наближено, оскільки не існує науково обґрунтованих моделей, алгоритмів і програмних продуктів, які б дозволили автоматизовано розв'язати її. Окрім того, КГП не в змозі оцінити втрати напору, що є наслідком складного профілю лінії. В підсумку продуктивність системи або навіть її працездатність (наприклад, мав місце випадок руйнування системи під дією надвисокого тиску при подачі води згори до низу в умовах гірського Криму в 1992 р.) залежать від досвіду керівника гасіння пожежі, тобто від суто суб'єктивних факторів.

Таким чином, задача підвищення продуктивності системи водопостачання при ліквідації природних пожеж шляхом оптимального трасування магістральних водогонів в умовах місцевості з вираженою топографією є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачі оптимального трасування можуть розглядатися як в дискретній [7], так і континуальній постановці [8]. В першому випадку розв'язання таких задач відбувається за допомогою алгоритмів дослідження операцій [9]. В другому випадку математичним апаратом є методи варіаційного числення [10]. При цьому за мету ставиться або пошук найкоротшої (т.з. геодезичної) лінії, або пошук лінії найскорішого прибуття (у тому випадку, коли швидкість руху змінна і залежить від властивостей середовища). В постановці ж мінімізації втрати напору, що рівнозначно підвищенню продуктивності системи водопостачання, задача трасування досі не розглядалась.

Постановка завдання і його вирішення. Метою роботи є формалізація задачі трасування лінії водогону в умовах реального ландшафту з метою мінімізації втрати напору води, що подається на великі відстані для ліквідації природної пожежі.

Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяє задавати електронні карти, які відображають топографію місцевості, що, в свою чергу, призводить до можливості формалізації задачі прокладання лінії магістрального водогону як задачу оптимального трасування (при відомій залежності впливу довжини і профілю водогону на тиск в ньому).

Для цього необхідно задати аналітичну модель поверхні рельєфу, а також задати області заборони на прокладання траси.

На прямокутній області Ω введемо квадратну решітку $S \times Q$. В цьому випадку масиви $\{x_s\}_{s=0..S}$ і $\{y_q\}_{q=0..Q}$ визначають абсциси і ординати ліній – границь комірок, що позначимо як Ω_{sq} . На кожній з елементарних областей Ω_{sq} введемо бікубічні сплайни

$$Z_{sq}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{sq} (x - x_s)^{v-1} (y - y_q)^{u-1}, \quad (1)$$

що описують поверхню рельєфу, коефіцієнти a_{uv}^{sq} яких отримано [7] з умови гладкої зшивки $Z_{sq}(x, y)$ с сусідніми сплайнами.

Знаходячи суму вказаних сплайнів у вигляді

$$Z(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{q=0}^{Q-1} Z_{sq}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_q) - \eta(y - y_{q+1})), \quad (2)$$

де $\eta(x), \eta(y)$ - функція Хевісайда, отримаємо [7] всюди аналітичну модель поверхні рельєфу.

Введемо на Ω області заборони $\Omega_i, i=1..I$ такі, що $\Omega_i \subset \Omega; \bigcup_{i \neq j} \Omega_i = \emptyset \quad \forall i, j=1..I$. Области заборони задамо їх границями $\bar{\Omega}_i$

[7] у вигляді масиву координат багатокутників. В якості областей заборони можуть виступати природні ділянки, які є непрохідними при прокладанні водогонів.

Таким чином, дозволена для прокладання траси область Θ буде являти собою різницю множин

$$\Theta = \Omega / \left(\bigcup_{i=1}^I \Omega_i \right). \quad (3)$$

Продуктивність системи водопостачання, тобто інтенсивність подачі вогнегасної речовини, що подається з вододжерела в осередок пожежі, залежить від тиску p в системі. Останній, згідно з [2], залежить від шорсткості матеріалу та довжини водогону, перепаду висот та вигину лінії водогону.

Також, згідно з [2] геометрія водогону не впливає на тиск. Мається на увазі, що не має значення в якому місці відбувається підйом та спуск водогону, а на тиск впливає лише перепад висот між початковою та кінцевою точками водогону. Істинність даного твердження визиває сумніви стосовно довгих водогонів. Підтвердити чи спростувати дане твердження можна як експериментальним [11], так і розрахунковим шляхом (наприклад, за допомогою програмного продукту FlowVision).

Позначимо лінію водогону як ℓ . $\ell \in L$, де L - всі можливі лінії, що з'єднують точки початку і кінця водогону на поверхні Z в області Θ .

В тому випадку, коли відома функціональна залежність зміни тиску

$$\Delta p = f(l, h) \quad (4)$$

води в водогоні від його довжини l і висоти підйому h , задача відшукування оптимальної лінії водогону являє собою задачу варіаційного числення

$$\ell_{\Delta p} = \arg \min_L \Delta p. \quad (5)$$

При цьому необхідно виконання обмеження

$$\max p_\ell < p_{\max}, \quad (6)$$

тобто максимальне значення тиску на всій трасі ℓ не повинно перевищувати граничне припустиме значення тиску p_{\max} , яке обумовлено механічними властивостями матеріалів елементів водогону та його конструкційними особливостями.

Обрання методу розв'язання задачі (5) буде залежати від складності функції (4).

Висновки. Проведено формалізацію задачі оптимального трасування водогону для гасіння природних пожеж з метою максимізації його продуктивності, яка являє собою задачу варіаційного числення. Для розв'язку даної задачі необхідно з'ясувати характер залежності величини втрати напору від профілю водогону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тарасенко О.А. Шляхи підвищення ефективності протипожежного водопостачання при ліквідації природних пожеж / О.А. Тарасенко, І.О. Целиковський // Технології захисту-2012: Матеріали 14 Всеукраїнської наук.-практ. конф. рятувальників. 26-27 вересня 2012. Київ: ІДУЦЗ НУЦЗУ. – С. 386-390.
2. Терещев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В.В. Терещев. - М.: Пожкнига, 2004 г. – 256 с.
3. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; Под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. — 312 с.
4. Серета В.В. Методика обоснования состава и оптимизации режимов работы мобильной противопожарной трубопроводной системы при локализации и тушении лесных и торфяных пожаров / В.В. Серета, Д.И. Мельников, С.Т. Зыков, А.А. Братков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях.- 2002.- № 3.- С.92 - 103.
5. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж. - К.: УкрНДІПБ МНС України, 2009. – 53 с.
6. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / Под общей редакцией Ю.А. Кошмарова. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 384 с.
7. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А.Тарасенко. - Харьков: НУГЗУ, 2011.- 927 с.
8. Коба К.М. Моделі і методи розв'язання задач маршрутизації при ліквідації наслідків техногенних аварій: автореф. Дис.. ... канд.. техн. наук: спец. 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи / К.М. Коба. – Харків, 2005. – 23 с.
9. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 912 с.
10. Цлаф Л.Я. Вариационное исчисление и интегральные уравнения: справочное руководство / Л.Я. Цлаф - 3-е изд., стер.- СПб.: Лань, 2005.- 191 с.
11. Харламов В.В. Експериментальне дослідження впливу перепаду висоти на тиск в рукавній лінії / В.В. Харламов, О.А. Тарасенко // Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19 Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ІДУЦЗ, 2017. -

C. 448-449.