

DOI: 10.6084/m9.figshare.11969067

УДК 519.6

Полтораченко Наталія ІванівнаКандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики
orcid.org/0000-0002-2238-6130

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ЗАДАЧА РОЗМІЩЕННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ПОДАЧІ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ
ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ**

***Анотація.** Проведено аналіз сучасного стану інженерних мереж та задач, які необхідно розв'язати при їх проєктуванні. Наведено аргументи щодо актуальності сформульованої задачі. Розглянуто питання оптимізації розташування регуляторів подачі цільового продукту при проєктуванні інженерних мереж з урахуванням надійності забезпечення споживачів цільовим продуктом. Запропоновано топологічну модель території проєктування, введено функції належності, які характеризують ступінь забезпечення споживачів цільовим продуктом. При побудові математичної моделі використано підхід до оптимізації синтезу резервних інженерних мереж “у малому”, коли з критерію оптимальності виключається математичне сподівання втрат, але в систему обмежень включаються нерівності, що дозволяють перевірити систему на надійність функціонування. В роботі побудовано математичну модель задачі розміщення регуляторів, яка дає змогу використовувати апарат бульового програмування. Сформульовано умови застосування запропонованої моделі.*

***Ключові слова:** інженерна мережа; регулятори цільового продукту; математична модель; нечіткість інформації; бульові змінні*

Постановка проблеми

Сучасна комунальна інфраструктура, складовими частинами якої є системи водо-, тепло- та газопостачання, характеризується високими темпами розвитку, що обумовлено як збільшенням об'ємів використання цільового продукту (вода, газ, теплоносій) у вже наявних системах (а як наслідок, потреба реконструкції мережі), так і подальшою газифікацією, теплофікацією і т.д. нових територій та населених пунктів [1 – 3]. Транспортування і розподіл цільового продукту (ЦП) інженерними мережами (ІМ) вимагає великих фінансових та матеріальних витрат. Друга задача, що стала останнім часом особливо актуальною, полягає у забезпеченні повного та надійного постачання ЦП всіх споживачів або – в умовах дефіциту – надійного забезпечення пріоритетних споживачів шляхом оперативного перерозподілу потоків ЦП з тим, щоб використання наявної його кількості забезпечило максимальний у цій ситуації економічний та соціальний ефект. Складні динамічні процеси, що відбуваються в ІМ, потребують керування потоками ЦП в мережах з метою їх перерозподілу. Для цього система повинна мати властивість маневреності, яка закладається при проєктуванні на основі прогнозування експлуатаційних процесів за допомогою, наприклад, імовірісно-статистичних моделюючих або математичних методів аналізу та синтезу.

Вищенаведені питання мають бути врахованими на кожному етапі проєктування інженерної мережі, а значить, і на етапі планування розміщення регуляторів подачі цільового продукту (водонапірних башт, гідропневматичних установок у водопостачанні, теплових пунктів у тепlopостачанні та газорегуляторних пунктів у газопостачанні).

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

Проєктування нових або реконструкція старих ІМ є багатокритеріальною та багатовимірною задачею, яка потребує формалізації невизначеності інформації, особливо на початкових етапах проєктування (вибір рівня централізації, основні напрями траси, використання та дублювання джерел постачання ЦП, кільцювання мереж, дублювання окремих ділянок, розподілення мереж на гідравлічно незалежні зони, вибір схем приєднання споживачів тощо). Необхідність одночасного урахування як детерміністських даних, так і тих, що можуть змінюватися з плином часу – це чи не одна з головних проблем для сучасного моделювання мереж комунального господарства [4]. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі розглянуто у статті [5]. Метод численного моделювання тривимірного тепло- та масообміну при різних режимах течії запропоновано в роботі [8]. Питання оптимізації розташування

водоживильника в системах водопостачання та їх структурне резервування з точки зору надійності функціонування системи розглянуто в роботах [6; 7]. Нечіткі та інтервальні числа множини використовуються для відображення невизначеність інформації на базі експертних оцінок з метою розвинення моделювання у напрямку врахування цієї невизначеності [9 – 11].

На загал, задача розрахунку кількості регуляторів постачання ЦП давно розв'язана на відміну від задачі оптимізації їх розташування. Наприклад, газорегуляторні пункти розміщують найчастіше у шаховому або коридорному порядку, що навряд чи є завжди раціональним.

Мета статті

Метою роботи є як побудова математичної моделі задачі розміщення регуляторів подачі ЦП з урахуванням матеріальних витрат та надійності постачання цільового продукту споживачам, так і її форматування з метою застосування апарату математичного програмування [12].

Виклад основного матеріалу

Основою для побудови математичної моделі задачі є топологічна модель, для якої введено такі позначення.

Територію проектування розбитона ділянки $Y_i (i = \overline{1, n})$. Кожній ділянці поставлено у відповідність $\alpha_i (i = \overline{1, n})$ – затребуваний показник надійності забезпечення споживачів ділянки цільовим продуктом.

На плані території проектування вказано варіанти розташування регуляторів ЦП $R_j (j = \overline{1, m})$.

Кожному регулятору $R_j (j = \overline{1, m})$ відповідають зони дій $Y_{jk} (k = \overline{1, m_j})$, α_{jk} – показник надійності забезпечення споживачів ЦП в зоні Y_{jk} .

Введено функцію належності $\mu(Y_i, Y_{jk}) = \frac{S(Y_i \cap Y_{jk})}{S(Y_i)}$, (S – символ площі), $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, m_j}$, яка характеризує частину участі регулятора R_j в обслуговуванні ділянки Y_i , що припадає на зону Y_{jk} . Тоді показник надійності забезпечення ділянки Y_i ЦП від регулятора R_j , що припадає на зону Y_{jk} буде мати вигляд $\alpha_{jk} \cdot \mu(Y_i, Y_{jk})$.

Отже, топологічна модель території проектування матиме вигляд $T = \langle Y, K, \alpha \rangle$, де

$$Y = \{Y_i\}, (i = \overline{1, n}), \quad \alpha = \{\alpha_i\}, (i = \overline{1, n}),$$

$Y = \{Y_i\}, (i = \overline{1, n}), \quad \alpha = \{\alpha_i\}, (i = \overline{1, n}), \quad K$ – критерії якості.

Для кожного регулятора топологічна модель включатиме в себе такі показники:

$$T = \langle Y_j, \alpha_j, \mu_j \rangle,$$

де $Y_j = \{Y_{jk}\}, (k = \overline{1, m_j})$,

$$\alpha_j = \{\alpha_{jk}\}, (k = \overline{1, m_j}), \quad \mu_j = \{\mu_j Y_i, Y_{jk}\}.$$

При побудові математичної моделі використано підхід до оптимізації синтезу резервних інженерних мереж "у малому", коли з критерію оптимальності виключається математичне сподівання втрат, але в систему обмежень включаються нерівності, що дають змогу перевірити систему на надійність функціонування. При оптимізації "у великому" критерій оптимальності містить вимогу як мінімізації сумарних витрат, так і мінімізації збитків від переривання постачання цільового продукту.

Якщо як критерій задачі вибрати мінімізацію капітальних вкладень, а за обмеження прийняти забезпечення затребуваних показників надійності постачання ЦП ділянок $Y_i (i = \overline{1, n})$, то математична модель задачі набуде вигляду:

$$\sum_{j_1=1}^m \left(K_{j_1}^p + K_{j_1}^{eio} \right) \cdot y_{j_1} \rightarrow \min$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} & \sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \alpha_{j_1 k} \cdot \frac{S(Y_{j_1 k}^i)}{S(Y_i)} \cdot y_{j_1} - \\ & - \sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \sum_{j_2=1}^{m_{j_2}} \sum_{k=1}^{m_{j_2}} \max(\alpha_{j_1 k}, \alpha_{j_2 k}) \times \\ & \quad j_2 \neq j_1 \\ & \times \frac{S(Y_{j_1 k}^i \cap Y_{j_2 k}^i)}{S(Y_i)} \cdot x_{j_1 j_2} + \dots + \\ & + (-1)^{m-1} \sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \sum_{j_2=1}^{m_{j_2}} \sum_{k=1}^{m_{j_2}} \dots \\ & \quad j_2 \neq j_1 \end{aligned}$$

$$\dots \sum_{j_m=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} \max \left(\alpha_{j_1 k}, \alpha_{j_2 k}, \dots, \alpha_{j_m k} \right) \times \frac{S \left(Y_{j_1 k}^i \cap Y_{j_2 k}^i \cap \dots \cap Y_{j_m k}^i \right)}{S(Y_i)} \cdot y_{j_1} \cdot \dots \cdot y_{j_m} \geq \alpha_i,$$

$i = \overline{1, n}$.

У моделі y_{j_1} ($j_1 = \overline{1, m}$) – бульові змінні, що відповідають варіантам розташування регуляторів ЦП; $K_{j_1}^p$ – витрати на зведення регулятора R_{j_1} ; $K_{j_1}^{eid}$ – витрати на побудову відводу до регулятора R_{j_1} . Доданки з "-" дають змогу уникнути дублювання зон. Введемо нові бульові змінні $x_{j_1 \dots j_m} = y_{j_1} \cdot \dots \cdot y_{j_m}, \dots, x_{j_1 j_2} = y_{j_1} \cdot y_{j_2}$, індекси яких розташовані за зростанням (математична модель виключає повторення індексів) та нові обмеження

$$\begin{aligned} y_{j_1} + y_{j_2} - 1 &\leq x_{j_1 j_2}, \\ \frac{1}{2} \left(y_{j_1} + y_{j_2} \right) &\geq x_{j_1 j_2}, \dots, \\ y_{j_1} + \dots + y_{j_m} - m + 1 &\leq x_{j_1 \dots j_m}, \\ \frac{1}{m} \left(y_{j_1} + \dots + y_{j_m} \right) &\geq x_{j_1 \dots j_m}. \end{aligned}$$

Тоді математична модель буде мати вигляд

$$\sum_{j_1=1}^m \left(K_{j_1}^p + K_{j_1}^{eid} \right) \cdot y_{j_1} \rightarrow \min$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} &\sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \alpha_{j_1 k} \cdot \frac{S \left(Y_{j_1 k}^i \right)}{S(Y_i)} \cdot y_{j_1} - \\ &- \sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \sum_{j_2=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_2}} \max \left(\alpha_{j_1 k}, \alpha_{j_2 k} \right) \times \\ &\quad j_2 \neq j_1 \\ &\times \frac{S \left(Y_{j_1 k}^i \cap Y_{j_2 k}^i \right)}{S(Y_i)} \cdot x_{j_1 j_2} + \dots + \\ &+ (-1)^{m-1} \sum_{j_1=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_1}} \sum_{j_2=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_2}} \dots \\ &\quad j_2 \neq j_1 \end{aligned}$$

$$\dots \sum_{j_m=1}^m \sum_{k=1}^{m_{j_m}} \max \left(\alpha_{j_1 k}, \alpha_{j_2 k}, \dots, \alpha_{j_m k} \right) \times \frac{S \left(Y_{j_1 k}^i \cap Y_{j_2 k}^i \cap \dots \cap Y_{j_m k}^i \right)}{S(Y_i)} \cdot x_{j_1 \dots j_m} \geq \alpha_i,$$

$$i = \overline{1, n}, y_{j_1} + y_{j_2} - 1 \leq x_{j_1 j_2},$$

$$\frac{1}{2} \left(y_{j_1} + y_{j_2} \right) \geq x_{j_1 j_2}, \dots,$$

$$y_{j_1} + \dots + y_{j_m} - m + 1 \leq x_{j_1 \dots j_m},$$

$$\frac{1}{m} \left(y_{j_1} + \dots + y_{j_m} \right) \geq x_{j_1 \dots j_m},$$

$$y_{j_1}, \dots, y_{j_m}, x_{j_1 j_2}, \dots, x_{j_1 \dots j_m} \in \{0; 1\}$$

Висновки

Розв'язок задачі забезпечується у випадку, коли всі ділянки території, для якої відбувається проектування, покриті зонами регуляторів постачання ЦП. При цьому жодний затребуваний показник надійності ділянки не перевищує суми показників надійності забезпечення зон ЦП, що відповідають ділянці.

Список літератури

1. Предун К.М. Аналіз стану інженерних мереж та можливостей їх використання для потреб теплопостачання населених пунктів України/К.М.Предун // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. –2012. – № 16. – С. 67 – 71.
2. Василенко С.Л. Надійність і сталість систем водопостачання як складова національної та екологічної безпеки / С.Л.Василенко, В.М.Волков // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. –2017. – № 28. – С. 53 – 59.
3. Редько І.О. Підвищення ефективності систем теплогенерації центрального теплопостачання / І.О. Редько, А.О. Редько, Ю.О. Бурда // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2019. – № 28. – С. 41 – 47.
4. Демченко В.В. Переваги онтологічного підходу до розподіленого моделювання інженерних та транспортних мереж / В.В.Демченко // Містобудування та територіальне планування. – 2008. – № 29. – С. 79 – 83.
5. Михайленко В.М. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста / В.М. Михайленко, А.П. Анпілогов, Ю.В. Кошарна // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2007. – № 27. – С. 8 – 13.

6. Новохатній В.Г. Структурне резервування в мережах водопостачання розгалуженого типу / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2009. – № 13. – С. 34 – 41.
7. Новохатній В.Г. Оптимізація з умов надійності розташування водоживильника в системах водопостачання / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш // Науковий вісник будівництва. – 2007. – № 44. – С. 227 – 232.
8. Никитенко Н.И. Метод численного моделирования трехмерного тепло- и массообмена при различных режимах течения / Н.И. Никитенко, Ю.Н. Кольчик, Н.Н. Сорокова // Вентиляция, освещение та теплогазопостачання. – 2015. – № 18. – С. 75-84.
9. Полтораченко Н.І. Задача розміщення в умовах невизначеності інформації / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 13. – С. 126-129.
10. Полтораченко Н.І. Нечітка багатокритеріальна задача розміщення / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2014. – № 17. – С. 121-124.
11. Полтораченко Н.І. Нечітка модель прив'язки споживачів до мереж різних категорій / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 21. – С. 145-148.
12. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник. – К., 2000. – 688 с.

Стаття надійшла до редколегії 18.11.2019

Полтораченко Наталя Івановна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування і прикладної математики, orcid.org/0000-0002-2238-6130

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ПОДАЧИ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

Аннотація. Проведен анализ современного состояния инженерных сетей и задач, которые необходимо решить при их проектировании. Приведены аргументы касательно актуальности сформулированной задачи. Основной материал статьи посвящен вопросу оптимизации размещения регуляторов подачи целевого продукта при проектировании инженерных сетей с учетом надежности обеспечения потребителей целевым продуктом. Предложена топологическая модель территории проектирования, введены функции принадлежности, которые характеризуют степень обеспечения потребителей целевым продуктом. При построении математической модели использован подход к оптимизации синтеза резервных инженерных сетей "в малом", когда из критерия оптимальности исключается математическое ожидание ущерба, но в систему ограничений включаются неравенства, которые позволяют проверить систему на надежность функционирования. Построена математическая модель задачи размещения регуляторов, которая позволяет использовать аппарат булевого программирования. Сформулированы условия применения предложенной модели.

Ключевые слова: инженерная сеть; регуляторы целевого продукта; математическая модель; нечеткая информация; булевы переменные

Poltorachenko Natalia

PhD (Eng.), Docent, associate professor at Information technologies of Design and applied mathematics department, orcid.org/0000-0002-2238-6130

A TASK OF PLACING OF REGULATORS OF DELIVERY OF THE WHOLE PRODUCT AT THE DESIGN OF THE ENGINEERING NETWORK

Abstract. In the article, an analysis of the current camp of engineering networks has been carried out for the tasks that are necessary for the development of projects. Arguments have been made for the urgency of formulated tasks. The main material of the article is dedicated to the supply of optimal optimization of the regulator in the supply of the whole product during the design of the engineering measure with respect to the reliability of the whole product. The topological model of the territory of the project has been constructed; functional functions have been introduced, in order to characterize the level of reliability with the product. You are encouraged mathematical model of optimizing the synthesis of redundant engineering networks "for the small", when the mathematical expectation of loss is excluded from the optimality criterion, but the system of constraints includes inequalities that allow you to test the system for reliability. In the work was construct mathematical model of the problem of placement of regulators is constructed, which allows to use the apparatus of Boolean programming. The terms of application of the proposed model are formulated.

Keywords: engineering network; regulator of the whole product; mathematical model; fuzzy information; boolean variables

References

1. Predun, K.M. (2012). Analysis of engineering networks and the possibility of using them in heating networks design for living areas in Ukraine. *Ventilation, lighting, heating and gas supply*, 16, 67 – 71.
2. Vasilenko, S.L. (2017). Reliability and sustainability of water supply systems as a component of national and environmental safety. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 28, 53 – 59.
3. Redko, I.O. (2019). Improving the efficiency of district heating systems. *Ventilation, lighting and heat supply*, 28, 41 – 47.
4. Demchenko, V.V. (2008). Benefits of ontological approach to dispersed modeling of engineering and transport systems. *City planning and territorial planning*, 29, 79 – 83.
5. Mykhailenko, V.M., Anpilov, J.P. & Kosharna, J.V. (2007). Implementation of functional dynamic schemes of city water supply engineering network modeling. *Problems of water supply, leading away of water and hydraulics*, 27, 8 – 13.
6. Novohatny, V.G. (2009). Structural back-up in branched type of water supply. *Problems of water supply, leading away of water and hydraulics*, 13, 34 – 41.
7. Novohatny, V.G. & Matyash O.V. (2007). Optimization of reliability of water feeder localization in water supply network. *Scientific herald of construction*, 44, 227 – 232.
8. Nikitenko, N.I., Kolchuk, J.N. & Sorokovaya, N.N. (2015). Numerous modeling methodology for three dimensional heat exchange and mass transfer in different flow regimes. *Ventilation, lighting, heating and gas supply*, 18, 75 – 84.
9. Poltorachenko, N.I. (2013). The problem of location in conditions of informational indetermination. *Management of development of complex systems*, 13, 126 – 129.
10. Poltorachenko, N.I. (2014). Fuzzy multiple-criteria problem of location. *Management of development of complex systems*, 17, 121 – 124.
11. Poltorachenko N.I. (2015). Fuzzy model of consumers connection to the networks with different categories. *Management of development of complex systems*, 21, 145 – 148.
12. Zajchenko, Y.P. (2000). *Operations research*, 688.

Посилання на публікацію

- APA Poltorachenko, N.I. (2019). A task of placing of regulators of the whole product at the design of the engineering network. *Management of development of complex systems*, 40, 129 – 133; [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969067](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11969067).
- ДСТУ Полтораченко Н.І. Задача розміщення регуляторів подачі цільового продукту при проектуванні інженерних мереж [Текст] / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2019. – №40. – С. 129 – 133; [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969067](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11969067).