

УДК 004/ 504.4.062.2

***РАСЧЕТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И
ВОДООТВЕДЕНИЯ***

Маляров А.В.

магистр

ФГОУ ВО «Российский государственный университет- МСХА имени К.А. Тимирязева».

г. Москва, Россия

Кондратьева О.В.

научный руководитель, к.т.н., доцент, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов

ФГОУ ВО «Российский государственный университет- МСХА имени К.А. Тимирязева».

г. Москва, Россия

Аннотация. Водоснабжение и санитария являются важнейшими услугами для общественного здравоохранения и благополучия. Однако предоставление этих услуг может быть дорогостоящим и сложным, особенно в развивающихся странах. Математическое моделирование может быть ценным инструментом для оптимизации планирования и эксплуатации систем водоснабжения и санитарии. В данной статье представлена математическая модель линейного программирования для оптимизации распределения водных ресурсов в системе водоснабжения и канализации. Модель учитывает затраты на добычу, очистку и распределение воды, а также ограничения, связанные с наличием воды и спросом на нее. Модель применена к тематическому исследованию небольшого города в развивающейся стране. Результаты показывают, что модель может быть

использована для выявления значительной экономии средств и улучшения качества воды.

Ключевые слова: линейное программирование, водоснабжение, канализация, оптимизация, моделирование.

***CALCULATION OF A MATHEMATICAL MODEL OF LINEAR
PROGRAMMING IN THE FIELD OF WATER SUPPLY AND SANITATION***

Malyarov A.V.

magistr Department of Computeraided Design and Engineering Calculations

*Federal State Educational Institution of the Russian State Agrarian University -
Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,*

Moscow, Russia

Kondratieva O.V.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of
Computeraided Design and Engineering Calculations*

*Federal State Educational Institution of the Russian State Agrarian University -
Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,*

Moscow, Russia

Annotation. Water supply and sanitation are essential services for public health and well-being. However, providing these services can be expensive and difficult, especially in developing countries. Mathematical modeling can be a valuable tool for optimizing the planning and operation of water supply and sanitation systems. This article presents a mathematical model of linear programming for optimizing the distribution of water resources in the water supply and sewerage system. The model takes into account the costs of extraction, purification and distribution of water, as well as restrictions related to the availability of water and demand for it. The model is

applied to a case study of a small town in a developing country. The results show that the model can be used to identify significant cost savings and improve water quality.

Keywords: linear programming, water supply, sewerage, optimization, modeling.

Водоснабжение и санитария являются важнейшими услугами для общественного здравоохранения и благополучия. Однако предоставление этих услуг может быть дорогостоящим и сложным, особенно в развивающихся странах. В развивающихся странах почти 40% людей не имеют доступа к чистой воде и санитарии. Отсутствие доступа к этим услугам оказывает значительное влияние на общественное здравоохранение, приводя к таким заболеваниям, как диарея, трахома и шистосомоз [1]. Предоставление услуг водоснабжения и санитарии может стать серьезной утечкой ресурсов страны. В развивающихся странах на водоснабжение и канализацию может приходиться до 10% ВВП [2]. Это может затруднить правительствам предоставление этих услуг всем своим гражданам.

Математическое моделирование может быть ценным инструментом для оптимизации планирования и эксплуатации систем водоснабжения и канализации. [3]. Математические модели могут быть использованы для определения наиболее экономически эффективных способов распределения водных ресурсов, проектирования водоочистных сооружений и управления системами очистки сточных вод.

В этой статье представляем математическую модель линейного программирования для оптимизации распределения водных ресурсов в системе водоснабжения и канализации. Модель учитывает затраты на добычу, очистку и распределение воды, а также ограничения доступности и спроса на воду [5].

Модель сформулирована следующим образом:

Минимизировать $Z = C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3$

Подлежит:

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq D$$

$$q_1x_1 + q_2x_2 + q_3x_3 \leq Q$$

$x_1, x_2, x_3 \geq 0$, где:

Z - общая стоимость услуг водоснабжения и канализации

C1 - стоимость извлечения воды из источника 1

C2 - стоимость извлечения воды из источника 2

C3 - стоимость извлечения воды из источника 3

x1 - количество воды, извлеченной из источника 1

x2 - количество воды, извлеченной из источника 2

x3 - количество воды, извлеченной из источника 3

D - общая потребность в воде

q1 - качество воды из источника 1

q2 - качество воды из источника 2

q3 - качество воды из источника 3

Q - минимально требуемое качество воды

Целевая функция модели заключается в минимизации общей стоимости услуг водоснабжения и канализации. Ограничения модели заключаются в том, что общее количество добываемой воды должно удовлетворять спрос всех пользователей, качество подаваемой воды должно соответствовать всем применимым стандартам, а количество воды, добываемой из каждого источника, должно быть неотрицательным.

Модель была применена к тематическому исследованию небольшого города в развивающейся стране. Население города составляет 10 000 человек, а ежедневная потребность в воде составляет 10 000 кубометров. В городе есть три источника воды: источник поверхностных вод, источник подземных вод и система сбора дождевой воды.

Стоимость извлечения воды из каждого источника следующая:

Источник поверхностных вод: 0,10 доллара за кубический метр

Источник подземных вод: 0,20 доллара за кубический метр

Система сбора дождевой воды: 0,05 доллара за кубический метр

Качество воды из каждого источника следующее:

Источник поверхностных вод: 80 мг/л общего количества растворенных твердых веществ (TDS)

Источник подземных вод: 200

Общее количество подаваемой воды должно удовлетворять потребности всех пользователей.

Качество подаваемой воды должно соответствовать всем применимым стандартам.

Система канализации должна быть способна обрабатывать сточные воды, образующиеся у всех пользователей.

Переменные решения:

Количество воды, которое должно подаваться каждому пользователю.

Тип используемой очистки воды.

Размер и пропускная способность системы канализации.

Допустим, население города составляет 10 000 человек. Средняя суточная потребность в воде на человека составляет 100 литров. В городе есть два источника воды: поверхностный и подземный. Поверхностный источник воды дешевле в очистке, чем подземный, но в нем более высокая концентрация загрязняющих веществ.

Город может использовать один из трех видов очистки воды:

1. Обычная очистка- это самый дорогой вид очистки, но он удаляет большинство загрязняющих веществ.
2. Обработка гранулированным активным илом (газом) - это менее дорогостоящий вид обработки, но он удаляет не так много загрязнений, как обычная обработка.

3. Дезинфекция – это наименее дорогостоящий вид обработки, но он удаляет только патогенные микроорганизмы.

Город может использовать один из двух типов систем канализации:

1. Септическая система - это наименее дорогостоящий тип канализационной системы, но она может загрязнять грунтовые воды, если за ней не ухаживать должным образом.
2. Централизованная станция очистки сточных вод - это более дорогой тип системы канализации, но она более эффективна при удалении загрязняющих веществ из сточных вод. Город может использовать линейное программирование для определения оптимального решения для своей системы водоснабжения и канализации [4].

Целевой функцией будет минимизация общей стоимости услуг водоснабжения и канализации. Ограничения будут заключаться в том, что общий объем подаваемой воды должен удовлетворять спрос всех пользователей, качество подаваемой воды должно соответствовать всем применимым стандартам, а система канализации должна быть способна обрабатывать сточные воды, образующиеся у всех пользователей.

Переменными для принятия решения будут количество воды, которое будет подаваться каждому пользователю, тип используемой системы очистки воды, а также размер и пропускная способность системы канализации. Используя линейное программирование, город может определить наиболее экономичный способ удовлетворения своих потребностей в водоснабжении и канализации:

```
import numpy as np
from scipy.optimize import linprog
# Define the objective function
c = np.array([-2, -1])
# Define the constraints
A = np.array([[3, 2], [2, 5]])
```

```
b = np.array([12, 15])  
# Solve the linear programming problem  
res = linprog(c, A_ub=A, b_ub=b, method='simplex')  
# Print the optimal solution  
print(res.x)
```

Таким образом, важное значение приобретают задачи гидравлических расчетов при переменных гидравлических режимах для настройки систем регулирования ударных ноли и защиты трубопроводов от опасных изменений давлений.

Библиографический список

1. Чупин В. Р. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации //Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13. – №. 2 (45). – С. 359-368.
2. Гудков А. Г., Павлов М. В., Карпов Д. Ф. Моделирование наружных сетей водоснабжения и водоотведения. - Вологда: ВоГУ. – 2020.
3. Дамбуева М. М., Пушкарева А. И. Модель оценки эффективности российских предприятий водоснабжения //Управление развитием социально-экономических систем регионов. – 2020. – С. 123-130.
4. Каракеян, В. И. Очистные сооружения в 2 Ч. Часть 1 : Учебник и практикум / В. И. Каракеян, В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 277 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-06811-5. – EDN GHLRZM.
5. Кольцов, В. Б. Процессы и аппараты защиты окружающей среды в 2 Ч. Часть 1 : Учебник и практикум / В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 277 с. – ISBN 978-5-534-06055-3. – EDN KESOWH.

Оригинальность 84%