

КОМПЮТЪРНА ПРОГРАМА ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ОПТИМАЛЕН ОПЕРАТИВЕН ПЛАН НА ВОДРАЗПРЕДЕЛЕНИЕ В НАПОИТЕЛЕН КАНАЛ

A COMPUTER PROGRAM FOR DEVELOPMENT OPTIMAL OPERATIONAL PLAN OF WATER DISTRIBUTION IN IRRIGATION CANAL

доц. д-р Патаманска Г.

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията "Пушкарров" – София, България

Abstract/Резюме: This article presents a computer model for optimal planning of supply and distribution of water from open irrigation canal designed to support the manager of the irrigation system in decisions on the operational management. It optimizes the supply and distribution of water among users along the canal with a criterion minimum of operational water losses. The task of optimal operational planning of water allocation was solved using the method of integer linear programming. Computer application of the integer programming model was made using MS EXCEL. The use of the model is illustrated with an example of an irrigation canal with six lateral canals.

KEYWORDS: IRRIGATION, CANAL OPERATION, WATER ALLOCATION, OPTIMIZATION, DECISION-MAKING

1. Увод

Прилагането на оперативен управление, което намалява загубите в напоителната система и осигурява снабдяване на поливните площи с достатъчно вода без значителни забавяния, е основна мярка, която се прилага за ефективно използване на водния ресурс в напояването.

Една типична задача, която диспечерът на напоителната система се налага да решава при оперативното ѝ управление, е съставянето на план-график за доставка на вода до група водоземания, които трябва да се обслужват в рамките на определен интервал от време. Графикът се прави, след като всеки потребител е подал своята заявка за това, какви водни количества са му необходими. Основно изискване е план-графикът да се състави, така че на напояваните култури да се доставят необходимите им водни количества навреме и без излишно излишно разпиляване на вода. С традиционния метод на работа на ръчно съставяне на плана за доставка и разпределение на водата от напоителните канали не винаги се постигат желаните резултати.

Развитието на компютърната наука през последните десетилетия и широката употреба на персонални компютри стимулира прилагането на нови иновативни подходи при управлението на водите в напояването. С помощта на компютрите, оперативният план за доставка и разпределение на водата от напоителен канал към поливните площи може да бъде съставен бързо и добре, преди началото на периода, в който ще се полива. За получаване на ефективни схеми на водоразпределение, бяха разработени модели, ориентирани към оптимизиране на доставката и разпределение на водата от напоителните канали. Като оптимизационен метод широко се прилага целочислено линейно програмиране [1,2].

Цел на настоящата работа е разработване на компютърен модел за решаване на оптимизационната задача за доставка и разпределение на водата от напоителен канал до поливните площи с критерий минимални загуби на вода.

2. Постановка на задачата за оптимална доставка и разпределение на водата от напоителен канал и начин на решаването ѝ

За първи път методът на целочисленото линейно програмиране се прилага от Suryavanshi и Reddy [1], които предлагат концепцията за водните „потоци“. Съгласно тази концепция, при формулиране на задачата за оптималното разпределяне на водата, доставяна от напоителния канал се правят следните предположения:

- Увеличението на входното водно количество на напоителния канал се разглежда като съставено от известен брой насложени един върху друг водни потоци с еднаква амплитуда. Техният брой се означава M .
- Всеки разпределителен канал, чийто брой се означава с N , може да се захрани от кой да е от M -те „потока“ по време на периода на поливане и всеки „поток“ може да доставя вода до всеки един от N -те водоразпределителни възли. Доставката на вода към всеки един от тях може да започне по всяко време в периода на поливане.

Според направените предположения, всеки „поток“ доставя вода до група разпределителни канали с еднакъв капацитет, които работят последователно. Амплитудата на текущото входно водно количество в канала се определя от общия брой на „потоците“ респ. групите водоразпределителни възли, където се извършва доставка на вода в рамките на приетия период на водоподаване в канала.

Целта е да се състави оптимален план-график на водоподаване от хранящия канал, такъв че всеки от разпределителните канали да получи желанния обем вода в рамките на периода на поливане при минимални загуби.

Доколкото формулираната задача принадлежи към класа на комбинаторните проблеми, за решаването ѝ се прилага методът на целочисленото програмиране. Дефинират се целочислени променливи на решението по следния начин:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{когато } i\text{-я поток захранва } j\text{-я разпределителен канал} \\ 0 & \text{друго} \end{cases}$$

където i номера на „потока“ / групата и j е номер на канал / водоразпределителен възел.

Целевата функция, минимизираща загубите на вода, се изразява в зависимост от броя потоци в канала:

$$(1) \quad z = \min \sum_{i=1}^M C_i Y_i \left(\sum_{j=1}^N X_{ij} \right); \quad (M \leq N)$$

където z е целева функция, C_i са загубите при транспортиране на водата от i -я „поток“; Y_i е функция за активиране на i -я „поток“, който се дефинира по следния начин:

$$(2) \quad Y_i \left(\sum_{j=1}^N X_{ij} \right) = \begin{cases} 1, & \sum_{j=1}^N X_{ij} \geq 1 \\ 0, & \sum_{j=1}^N X_{ij} = 0 \end{cases}$$

В зависимост от условията за експлоатация на канала, се добавят и следните ограничения:

Ограничение на сумарното време на работа на групата водоразпределителните възли:

Сумарното време, за което се подава вода на групата водоразпределителните възли, не може да надвишава приетият период за работа на водовземното съоръжение на канала.

$$(3) \quad \sum_{j=1}^N t_j X_{ij} \leq T, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M)$$

където t_j е времето за доставка през j -я водоразпределителен възел (дни) и T е времето, през което се подава вода в канала (дни).

Ограничение на повтаряемостта на работа на водоразпределителните възли:

Към всеки разпределителен канал се извършва доставка на вода само веднъж в рамките на приетия период на водоподаване в захранващия канал, като той работи непрекъснато за предварително зададено време на доставката:

$$(4) \quad \sum_{i=1}^M X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Горните уравнения и неравенства представляват математически модел на оптимален план на водоползване от напоителния канал. Решението осигурява оперативен план на доставка и разпределение на водата от захранващия канал с оптимално групиране на разпределителните канали и съответстващ хидрограф на входното водно количество с минимална амплитуда.

В настоящата работа компютърната реализация на алгоритъма за решаване на оптимизационната задача на целочисленото програмиране (1)-(4) е направена с помощта на електронната таблица MS EXCEL, която дава възможност целочисленият програмен модел да е в удобна за практическо използване форма. Използвана е командата Solver от инструментите за анализ Add-Ins на Microsoft Excel, с помощта на която се решават линейни и нелинейни оптимизационни задачи. Задачи от целочисленото програмиране се решават с помощта на метода на клоновете и границите (branch and bound method) [3].

На фигура 1 е показан работен лист от електронна таблица, който служи за съставяне на план на водоподаване в напоителен канал с шест водоразпределителни възли ($N=6$). Целочисленият програмен модел за съставяне на оптимален план на водоподаване в напоителен канал е съставен съгласно уравнения (1)-(4) и изискванията на Solver, като е първоначално е прието, че броят на "потоците" е равен на броя на разпределителните канали. Входни данни, необходими за започване на изчисленията са периодът на поливане и заявките за водоподаване – зададени в табличен вид данни за времетраенето на доставка през всеки водоразпределителен възел. За автоматизиране на решаването на оптимизационната задача са създадени два Visual Basic макроса, единият от които стартира командата Solver, а с другия се извършва нулиране на клетките на решението. На работния лист са вградени два бутона, които стартират изпълнението на макросите. При кликане върху бутона „Състави“ се извършват оптимизационните изчисления и полученото решение се визуализира в поредица от клетки на стълб от таблицата „План на водоподаване“. По крайните резултати може да се определи, колко потока се активират и съответстващите им групи водоразпределителни възли, в които ще се извършва доставка на вода. При многократно решаване на оптимизационната задача, необходимото за нормалната работа на Solver нулиране на клетките, съдържащи предишното решение, се постига чрез кликане на бутона "Reset".

| Водоразпределителен възел | Времетраенето на доставка, дни | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|--------------------------------|------|-----|------|------|------|---|
| 1 | 1.8 | 2.13 | 2.4 | 1.72 | 2.05 | 2.43 | |

| План на водоподаване | Водоподаване, № | Работи ли, 0/1 | Период на водоподаване, дни | За всеки поток обем, дни |
|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 0 | 0.00 | |
| 2 | 2 | 0 | 0.00 | |
| 3 | 3 | 1 | 2.40 | |
| 4 | 4 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 0 | 0.00 | |
| 6 | 6 | 1 | 2.43 | 4.83 |
| 1 | 1 | 0 | 1.80 | |
| 2 | 2 | 0 | 2.13 | |
| 3 | 3 | 0 | 0.00 | |
| 4 | 4 | 1 | 1.72 | |
| 5 | 5 | 0 | 0.00 | |
| 6 | 6 | 0 | 0.00 | 3.62 |
| 1 | 1 | 0 | 0.00 | |
| 2 | 2 | 0 | 2.13 | |
| 3 | 3 | 0 | 0.00 | |
| 4 | 4 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 1 | 2.05 | |
| 6 | 6 | 0 | 0.00 | 4.18 |
| 1 | 1 | 0 | 0.00 | |
| 2 | 2 | 0 | 0.00 | |
| 3 | 3 | 0 | 0.00 | |
| 4 | 4 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 0 | 0.00 | |
| 6 | 6 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 1 | 0 | 0.00 | |
| 2 | 2 | 0 | 0.00 | |
| 3 | 3 | 0 | 0.00 | |
| 4 | 4 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 0 | 0.00 | |
| 6 | 6 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 1 | 0 | 0.00 | |
| 2 | 2 | 0 | 0.00 | |
| 3 | 3 | 0 | 0.00 | |
| 4 | 4 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 0 | 0.00 | |
| 6 | 6 | 0 | 0.00 | 0.00 |

Фиг. 1. Работен лист за съставяне на оптимален план-график на доставка и разпределение на водата в напоителен канал с шест водовземания

3. Резултати и дискусия

С помощта на електронната таблица, показана на фиг.1, беше решен пример за доставка на вода от напоителен канал до шест водоземания с продължителност според заявените времена на доставка в таблицата "Заявки за водоподаване" на фигура 1 за пет-дневен период на водоподаване. Получено е следното решение на оптимизационната задача:

$$\begin{array}{lll} X_{13} = 1 & X_{21} = 1 & X_{32} = 1 \\ X_{16} = 1 & X_{24} = 1 & X_{35} = 1 \end{array}$$

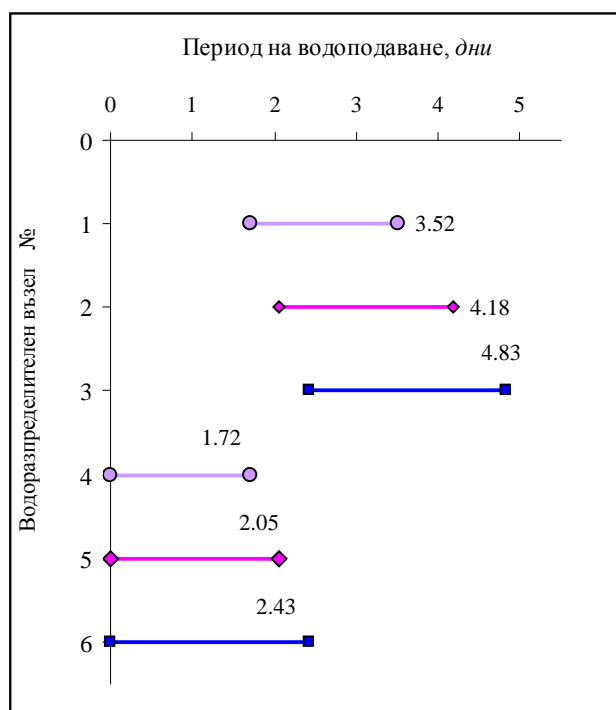
и всички останали $X_{ij} = 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, 6$).

Според резултатите от оптимизационните изчисления, шестте разпределителни канала се разделят на три групи, които се захранват от три "потока" на входното водно количество с амплитуда $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Общо, нарастването му е равно на:

$$\Delta Q_{\max} = 1 \times 0,03 + 1 \times 0,03 + 1 \times 0,03 = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

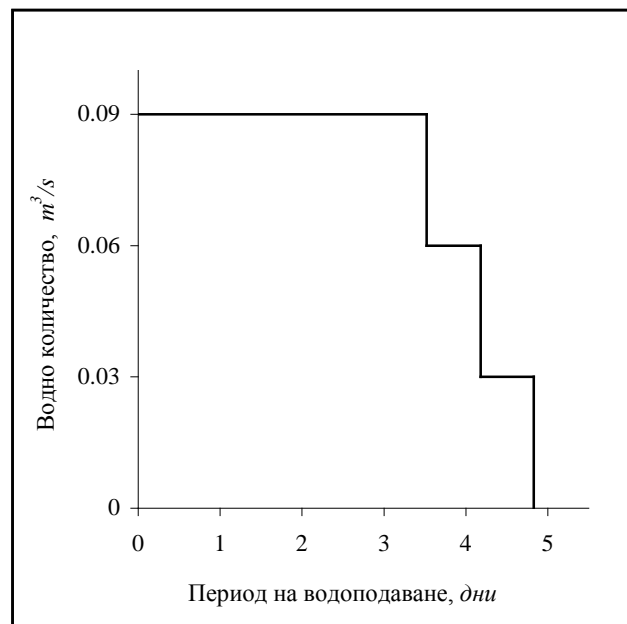
което е половината от максималното, ако водата се подаваше едновременно към всички потребители.

Получените резултати могат да бъдат използвани за съставяне на план за водоподаване от входното съоръжение на напоителния канал и на план за водоподаване към разпределителните канали. На фигура 2 е показан съставеният оптимален оперативен план на водоподаване към разпределителните канали, като е приета оперативна последователност на отварянето на водоразпределителните им възли в групата "отдолу-нагоре" т.е. първи получава вода по-отдалечения канал. По този начин може да се постигне намаляване на закъсненията в доставката на вода и загубите, тъй като при изключване на поредния потребител от групата, веднага може да започне доставка на вода към следващия.



Фиг. 2. Оперативен план за доставка на вода към шест разпределителни канали за пет-дневен период на водоподаване в напоителния канал.

На фигура 3 е показан определеният на базата на това оперативно разписание хидрограф на нетното входното



Фиг. 3. Хидрограф на нетното входното водно количество в напоителния канал.

водно количество на напоителния канал за период на водоподаване от пет дни. Той представлява стъпаловидна функция, съставена от три на брой стъпала с минимално възможната амплитуда. В резултат на прилагането му от водоизточника се черпят по-малки водни количества. В по-голямата част от периода на водоподаване входното водно количество е постоянно, което предполага установен режим на течението в канала. Също така, за реализирането на този хидрограф се изискват по-малък брой промени на положението на входното съоръжение на канала, което улеснява експлоатацията.

4. Заключение

Разработен е целочислен програмен модел в средата на EXCEL, с помощта на който може да бъде решена задачата за оптималното оперативно планиране на доставката и разделянето на водата между потребителите по дължината на напоителен канал с критерий минимални загуби на вода. В резултатът от оптимизационните изчисления се получава както план на водоподаване в напоителния канал, така и план на водоподаване във водоразпределителните му възли. Оптималният оперативен план-график на разпределение и доставка на вода показва как трябва да се управлява напоителния канал, така че потребителите, към които се извършва доставката на вода да получат необходимите им водни количества при минимални оперативни загуби на вода. Тъй като EXCEL като част от MS Office е широко разпространен и предлага удобен потребителски интерфейс, разработеният модел може да се използва от инженерния персонал на напоителните системи за подобряване на процеса на вземане на решения по оперативното управление и постигане на ефективно водоразпределение.

5. Литература

1. Suryavanshi, A.R., J.M. Reddy. Optimal operation schedule of irrigation distribution systems. Agric. Water Manage., Elsevier, 11 (1), 1986, pp. 23–30.
2. Wang, Z., J.M., Reddy, J. Feyen. Improved 0–1 programming model for optimal flow scheduling in irrigation canals. Irrigat. Drain. Syst., Kluwer, 9 (2), 1995, pp. 105–116.
3. support.microsoft.com/support/Excel/Content/Solver/SOLVER.asp