

Галина Патаманска  
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията  
„Никола Пушкаргов”, ССА

АЛТЕРНАТИВЕН ПОДХОД ЗА ПЛАНИРАНЕ НА  
ВОДРАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО ЗА ПО-ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА  
ВОДАТА ЗА НАПОЯВАНЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКИТЕ КУЛТУРИ

ALTERNATIVE APPROACH TO WATER ALLOCATION PLANNING FOR  
MORE EFFICIENT WATER USE FOR IRRIGATION

Galina Patamanska  
Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection  
“ Nikola Poushkarov”

**Summary:** Increasing efficiency of existing irrigation systems can be achieved by implementing improved planning, which prevent oversupply or shortages of water for irrigation. This article focusses at some aspects of the current state of modeling of planning water allocation in the irrigation canals. An alternative approach is described with optimization of the decision-making process on the operational management of the irrigation canals, which is based on modeling of the basic processes of the system: water source-canal network-irrigated area and water balance principle. The computer-implemented model will be an instrument for decision support in planning water allocation in irrigation canals based on the actual relationship between the availability and demand for water. It can also be used to assess the effectiveness of water use. Spreadsheet model is briefly described which is applied for planning of water allocation from run-of-river irrigation canal.

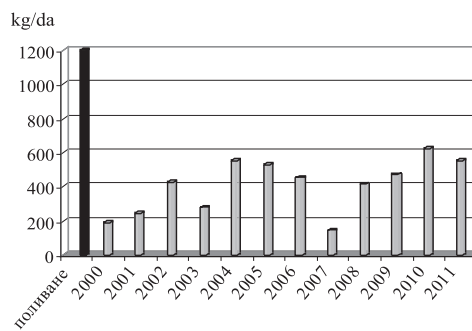
**Key words:** irrigation canal, water allocation, planning, modelling, decision support, spreadsheet model

### 1. Увод

Липсата на напояване, както и недостатъчното напояване влияе на селскостопанската производителност. В последните години в България царевицата се отглежда в неполивни условия. Средните добиви, получени от тази земеделска култура за периода от 2000 г. до 2011 г. са показани на **Фиг. 1**. От тази фигура се вижда, че в сухите 2000 г. и 2007 г. са получени много ниски добиви – под 200 кг/дка. Средният добив от царевица за периода, изчислен на базата на средно-годишния добив, е 489 кг/дка. При оптимално напояване на тази земеделска култура, средните добиви, установени при многогодишни експерименти от научни институти и опитни станции в различни райони на страната

са около 1200 кг/дка [1]. Добивът от напоявана царевица е средно около 2.5 пъти по-висок от този, получен при отглеждане ѝ при неполивни условия.

Наблюдаваните в последните десетилетия промени в климата засилват необходимостта от напояване. Темата



Източник: Агростатистика

Фиг. 1. Среден добив от царевица за зърно

за ефективно използване на водата за напояване придобива актуалност. С прилагането на ефективно напояване се цели да се избегне стресът от засушаване или преовлажняване на земеделските култури и свързаното с това намаляване на добивите.

В България обработваема земя се напоява с традиционни напоителни системи с открити канали, които са ниско-ефективни. Това се дължи на влошеното им техническо и експлоатационно състояние, начинът на управление, промени в начина на използване на напоителната система и др. [2].

За да се постигне повишаване на ефективността, трябва да се извършат подобрения в съществуващите напоителни системи, които да създават възможности за спестяване на вода. За целта е необходимо:

- Да се извърши оценка на напоителната система от гледна точка на загубите, които се допускат при функционирането ѝ;
- да се извършат адекватни промени в съществуващата структура и управление.

Важен въпрос, който трябва да се реши в процеса на препроектирането на напоителната система е какво да бъде съотношението на структурните (ремонт на облицовките или облицоване на напоителните канали, ремонт и ъпгрейд на съществуващи и въвеждане на нови регулиращи съоръжения, автоматизация и дистанционно управление и др.) и неструктурните (подобряване на управлението, експлоатацията и поддръжката) мерки за подобряване на действието ѝ. Ако усилията се насочат главно върху възстановяване на инфраструктурата и съоръженията за регулиране и контрол, проблемите няма да бъдат изцяло решени. За да се постигне значително нарастване на ефективността при по-ниски разходи, структурните промени, които изискват значителни инвестиции, трябва да се съчетаят с по-добро управление на напоителната система. Повишаване на ефективността може да бъде постигнато чрез прилагане на по-добри процедури за планиране, с които да се предотврати недостига или свръхдоставката на вода за напояване.

## 2. Подобряване на планирането на доставката и разпределението на водата в напоителната система

Графикът на напояване е функция на водното количество, продължителността и честотата на напояване. Всеки от тези три компонента може да бъде избран да бъде постоянен или променлив и по този начин могат да бъдат съставени различен тип графици на напояване. Най-общо всички типове графици могат да бъдат разделени в три категории [4]:

- **Непрекъснат:** постоянно или променливо водно количество се подава без прекъсване;
- **ротационен:** постоянно или променливо водно количество се подава с прекъсвания с фиксирана или променлива продължителност и честота;
- **„По поискване“:** водното количество, продължителността и честотата на напояване са променливи и водата се доставя по поискване от полето според нуждите на земеделските култури.

Първите два типа спадат към т.нар. „твърд“ график за напояване, а последният „по поискване“ е известен като „гъвкав“ график. Този тип график на напояване, който е най-благоприятен за земеделските култури може да се реализира единствено с въвеждането на автоматизация на напоителната система.

Водоразпределението на ротационен принцип в напоителните системи спада към твърдите графици на напояване и е обичайна практика навсякъде по света. През последните години в някои напоителни системи започна да се прилага ротационно водоразпределение с фиксирана честота, при което подаваните водни обеми при всяка поливка се променят според нуждите на поливаната култура, като по този начин системите с водоразпределение на ротационен принцип се приближават в по-голяма степен до тези „по поискване“.

Промяна на съществуващия план-график за доставка и разпределянето на водата от напоителната система, целяща да се намали разликата между предлагането и търсенето на вода за напояване, е подходящо решение за

подобряване на действието и управлението на напоителната система и преодоляване на проблема с ниската ефективност на напояването. Доставка и разпределяне на водата от напоителната система, базирано на заявките за вода, от своя страна ще спомогне за прилагане от фермерите на водоспестяващи технологии за напояване на земеделските култури и намаляване на загубите на вода на полето [6].

Ефективното управление на напоителната система е свързано с осигуряване на баланс на водните количества в цялата система: водоизточник – мрежа напоителни канали - поливни площи, като се държи сметка за съществуващите технологични ограничения. Постигането на този баланс при ръчно съставяне на плана за доставка и разпределението на водата, особено в случая на голяма напоителна система, е една нелека задача. В процеса на разработване на оперативния план-график, диспечерът на напоителната система може да бъде подпомогнат от компютър и приложен софтуер, който да трансформира наличните данни в необходима за оперативното управление информация.

### **3. Моделиране на доставката и разпределението на вода от напоителната система**

Основа за създаването на приложен софтуер са моделите, които симулират процесите в напоителната система. За съставяне на оптимален график за напояване, диспечерът на напоителната система трябва да разполага с компютърни модели, предназначени не само за симулиране на хидравличното ѝ действие, но на всички други процеси, влияещи на баланса на водните количества в системата водоизточник – мрежа напоителни канали - поливни площи [5]:

- Модел на водосбора, чрез който да се отчита въздействието на валежите от водосбора на притока във водоизточника;
- модел на водоизточника, чрез който да се оценява наличието на вода за напояване;
- модел на водопотреблението, чрез който се оценява потреблението на

вода за напояване от земеделските култури.

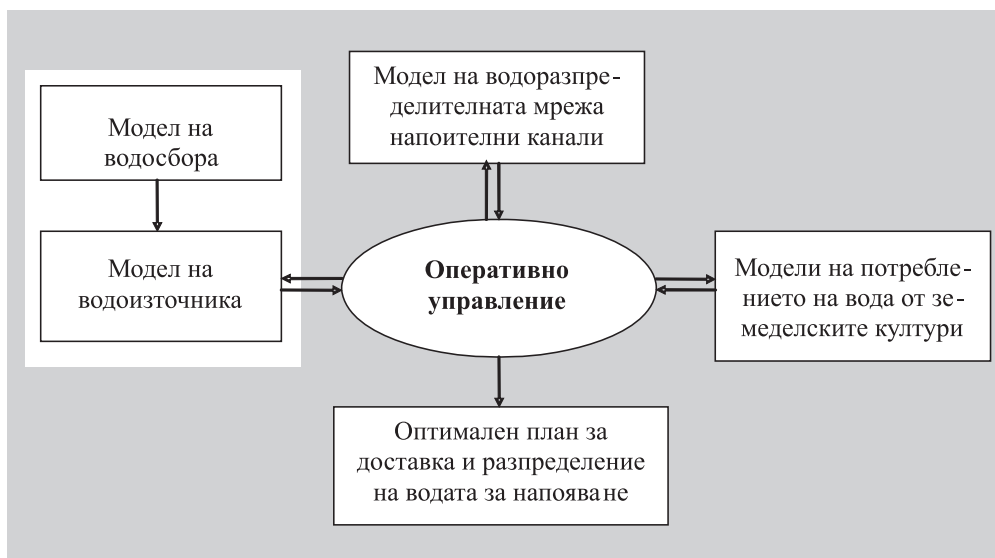
На базата на информацията, получена от тези модели, диспечерът на системата може да състави оптимален график за доставка на водата за напояване, такъв че да се сведе до минимум разликата между наличния воден ресурс от водоизточника и заявените водни количества за напояване на земеделските култури.

Интегриране на тези модели в система за подпомагане на вземането на решение при оперативно управление на водоразпределението в напоителната система се постига чрез външно асемблиране - моделите работят самостоятелно или в последователност и е налице обмен на резултатите от тяхното изпълнение. За целта в системата е включен управляващ модул „Оперативно управление”, който осигурява координацията на работата им. Той стартира съответен модул, когато е необходимо, както и контролира и направлява потока от данни между различните модули. Обобщената структура на системата за подпомагане вземането на решение на ниво основни модули е показана на **Фиг. 2**.

Алгоритъмът за вземане на решение при оперативно управление на напояването е показан на **Фиг. 3**. Необходима начална информация са данни за минималното водно ниво на водоизточника, основни данни за земеделските култури, почвите, напоителната система, метеорологични данни и др. В началото на процеса на вземане на решение, разпределителните канали се разделят на групи, към които ще се извършва едновременна доставка на вода в зависимост от потребностите от вода за напояване на площите, които тези канали обслужват, капацитета им и този на главния канал.

За всеки ден от интервала, в който се подава вода към някоя от групите разпределителни канали, се прилага следната процедура за планиране на доставката и разпределение ѝ от напоителната система.

За съответния ден се проверява за наличие на вода във водоизточника. Ако текущото ниво във водоизточника



**Фиг. 2. Обобщена структура на системата за подпомагане на вземането на решение при оперативно управление на напоителната система**

надвишава минималното ниво поне с 1 % процент, тогава може да се стартира и извърши доставката на вода към съответна група канали. За оптималната ѝ доставка и разпределяне на водата чрез водоразпределителната мрежа на напоителната система се извършва следното. Чрез симулиране с модела на водоизточника се определя дневният обем на язовира и съответното оптимално водно количество, което може да бъде подадено за напояване. Стойността на водното количество, което се подава от водоизточника към главния канал варира от нула до максималния му капацитет и остава постоянна за всеки ден през целия интервал на водоподаване.

На първия ден от този интервал, в който се подава вода към съответна група разпределителни канали, чрез симулиране с модела на водопотреблението, за всеки канал се определят оптималните водни количества, необходими за напояване на земеделските култури в прилежащите му площи. На тяхна база се изчислява заявката за вода за напояване във всяко стопанско водоземане с отчитане на ефективността на прилагане и разпределение на водата в прилежащите поливни площи.

Заявката за вода на разпределителния канал се изчислява, като се сумират заявките за вода във водоразпреде-

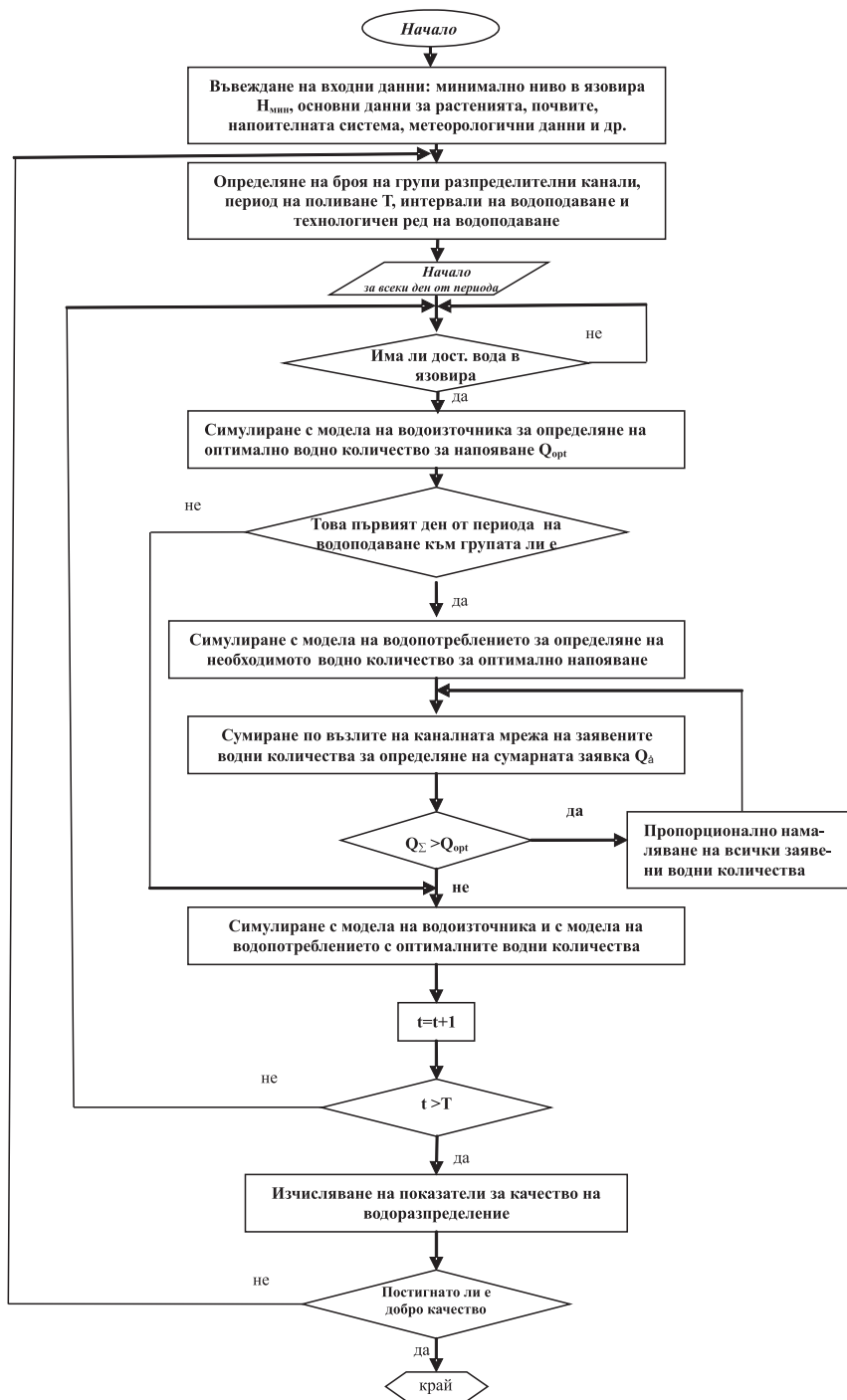
лителните възли по участъци в посока, обратна на течението с отчитане на загубите при транспортиране на водата по дължината им:

$$Q_{vxi} = Q_{vx_{i+1}} + \sum_j q_j + q_{загуби} \quad (1)$$

където  $Q_{vxi}$  е постъпващо водно количество в  $i$ -я участък от напоителния канал,  $q_j$  е поискано водно количество в  $j$ -я водоразпределителен възел,  $q_{загуби}$  са загубите при транспортиране на водата.

Стойността на водното количество, което се доставя в началото на разпределителните канали е постоянна през целия интервал на водоподаване. Тя варира от нула до максималното водно количество на конкретния разпределителен канал.

Сумирайки получените заявки, като се започне от разпределителния канал в края на магистралния канал и се премине последователно нагоре по трасето му до първия канал от групата се получава общата заявка за вода за напояване на тази група. Тя се привежда до водоизточника чрез главния канал с отчитане на загубите при транспортиране на водата, за да се определи общото поискано водно количество от водоизточника  $Q_y$ . Ако размерът на поисканото водно количество в началото на главния канал е



Фиг. 3. Вземане на решение при оперативното управление на напояването

по-голям от симулираното оптимално водно количество, което може да се подаде от водоизточника за напояване, недостигът на вода се разпределя по-равно на всеки разпределителен канал. Оптималните заявки на разпределителните канали се намаляват пропор-

ционално в същото съотношение както оптималното водно количество, което може да се изведе от водоизточника за напояване към поисканото от полето:

$$Q_{\text{ВХ}_m}^* = \left(1 - \frac{Q_{\Sigma} - Q_{\text{opt}}}{Q_{\Sigma}}\right) Q_{\text{ВХ}_m} \quad (2)$$



където  $Q_{\text{вх}m}^*$  е коригираната заявка на  $m$ -я разпределителен канал,  $Q_{\Sigma}$  е поисканото водно количество (сумарната заявка),  $Q_{\text{opt}}$  е оптималното водно количество.

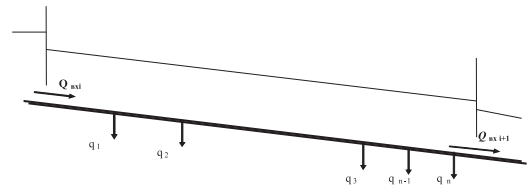
След това, мащабираните водни количества се сумират отново по описания начин - от най-отдалечения канал в посока обратна на течението до началото. След няколкократни изчисления, се определят реално възможните за доставяне водни количества на разпределителните канали при определеното оптимално входно водно количество на главния канал. По този начин всички напоителни канали каналите респективно обслужвани площи се поставят в равни условия и им се осигурява се надеждна доставка на вода, независимо от тяхното местоположение по отношение на водоизточника.

За оценка на постигнатото качество на водоразпределение с прилагането на определения по описания начин план за доставка и разпределение на водата, могат да се използват показателите адекватност, ефективност, справедливост и надеждност [7]. Ако резултатите са незадоволителни, се пристъпва към нова симулация с промяна на някои начални параметри, за постигане на желано качество на водоразпределение.

Тъй като решенията за напояване зависят от земеделските култури и водния статус на почвата, до тях се стига с двустепенен процес.

На първия етап (етап на проектиране на графика за напояване), преди началото на напоителния сезон поливките се планират по описания начин за целия сезон и за интервал на поливане от 7 или 10 дена, като се използват данни от предходни години.

По време на напоителния сезон се налага да се вземат краткосрочни решения по оперативното управление на напоителната система за доставка на водата за напояване. На този втори етап на планиране, решенията за следващия интервал на поливане се преразглеждат чрез симулиране с модела след актуализиране на входната информация с данни в реално време. По този начин, за всеки интервал може да се вземе актуализирано решение за напояване, като се



Фиг. 4.

запазва предварително подготовеният план за целия поливен сезон.

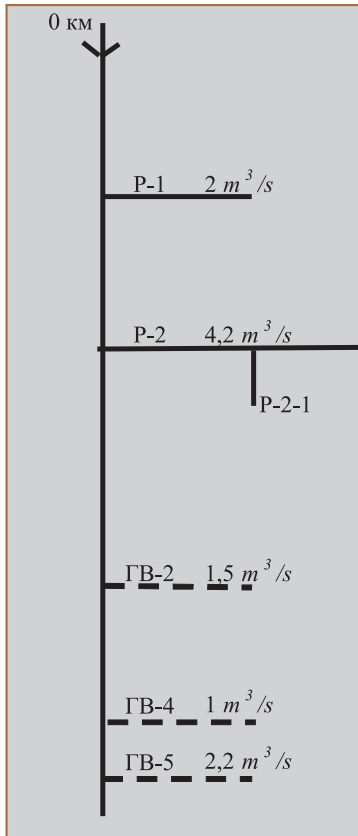
Описаният подход с оптимизация на процеса на вземане на решение при оперативното управление на напоителната система се основава на моделиране на процесите във всички звена на системата: водоизточник - канална мрежа - поливни площи. Инструмент за изпълнението му може да бъде една програмна система, написана на език на високо ниво с подходящ потребителски интерфейс.

#### 4. Модел за планиране, базиран на електронна таблица

За успешното прилагане на модели при планирането на доставката и разпределянето на водата от напоителната система, от значение са и уменията и знанията на потребителя, който ще работи с тях. От тази гледна точка, подходящ инструмент за реализирането на алгоритмите, прилагани при планирането, може да бъде електронна таблица, създадена в средата на MS Excel, който предоставя развит потребителски интерфейс, възможностите за последователни таблични изчисления и др.

Модел, базиран на електронна таблица е приложен за планиране на доставките и разпределянето на водата от главен напоителен канал, захранван от водоизточник с променлив дебит (река) [3]. В този случай се налага ежедневно разпределение на наличния воден ресурс на водоизточника, като се отчитат текущите нужди от вода за напояване на земеделските култури в поливните площи. Алгоритъмът за разпределяне и насочване на водните обеми в напоителния канал се основава на водния баланс и отчита съществуващите технологични ограничения.

Основните етапи на планиране на доставката и разпределянето на водата



P-1	Поливна норма		q [l/s]	Q [m³/s]
ориз	600	m³/da	0,69	1,39
царевица	120	m³/da	0,14	0,02
зеленчуци	90	m³/da	0,10	0,01
			общо:	1,41

P-2	Поливна норма		q [l/s]	Q [m³/s]
ориз	600	m³/da	0,33	4,18
царевица	120	m³/da	0,14	0,06
зеленчуци	90	m³/da	0,10	0,01
			общо:	4,25

ГВ-2	Поливна норма		q [l/s]	Q [m³/s]
царевица	120	m³/da	0,14	0,09
зеленчуци	100	m³/da	0,12	0,00579
			общо:	0,10

ГВ-4	Поливна норма		q [l/s]	Q [m³/s]
царевица	120	m³/da	0,14	0,08

ГВ-5	Поливна норма		q [l/s]	Q [m³/s]
царевица	120	m³/da	0,14	0,14

Microsoft Excel - shedule\_GNK\_str\_Airpan

ПЛАН ЗА ДОСТАВКА НА ВОДА ОТ ГЛАВНИЯ КАНАЛ НА НС "СТРЯМА-ЧИРПАН"

Дата	Разклонение №	Нетно входно водно количество, м³/с	Капацитет на разпределителните канали, м³/с					Източащо водно количество, м³/с
			1	2	3	4	5	
21.Юни	6,15	1,95	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
22.Юни	7,6	2,00	4,20	0,00	0,0	1,4	0,0	
23.Юни	7	2,00	4,20	0,00	0,8	0,0	0,0	
24.Юни	7,2	2,00	4,20	1,00	0,0	0,0	0,0	
25.Юни	6,2	2,00	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
26.Юни	5,3	1,10	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
27.Юни	5,3	1,10	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
28.Юни	5,3	1,10	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
29.Юни	5,3	1,10	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
30.Юни	4,2	0,00	4,20	0,00	0,0	0,0	0,0	
Общо:	59,55	14,35	42,0	1,0	0,8	1,4	0,0	
	Залвка в м³/с	14,15	42,00	0,97	0,78	1,39	RESET	
	Отклонение от залвката в %	1,4	0,0	2,5	2,8	0,8		

Фиг. 5. Модел, базиран на електронна таблица за планиране на доставката и разпределение на водата от напоителен канал

от главен напоителен канал са както следва:

- Определяне на хидромодулите на отглежданите земеделски култури и на заявките за вода за напояване на базата на брутните поливни норми;
- определяне на заявките за доставка на вода, които разпределителните канали трябва да изпълнят за периода на поливане, с отчитане на съществуващите технологични ограничения;
- съставяне на плана за доставка и разпределение на водата от главния канал по водно-балансов алгоритъм.

Моделът, реализиращ алгоритъма в средата на Excel, е валидиран с данни за съществуващ напоителен канал (Фиг. 5). Той работи на дневна база и 10-дневен интервал на поливане. Изчисленията, свързани с основните етапи на планиране, се извършват на отделни работни листа от електронната таблица. Моделът за планиране на доставката и разпределение на водата позволява както ежедневно разпределение на постъпващото в канала водно количество, така и съставяне на оперативен план-график на водоподаване в разпределителните канали за целия интервал на поливане.

Моделът, базиран на електронна таблица, може да бъде прилаган за напоителни канали с различен брой разклонения, както и да бъде използван и за случая на пряко водовземане от река на вода за напояване.

### Заклучение

Високи добиви от земеделските култури могат да се очакват при ефективно водоразпределение, което осигурява надеждна доставка на вода за напояването им навреме и в необходимите количества.

Прилагането на иновативни технологии за управление на водите в напояването, в т.ч. системи и модели за подпомагане на вземането на решение при управление на напоителните системи е предпоставка за подобряване на оперативното им управление и на ефективността на използване на водата за напояване. Компютърните модели предоставят възможност за симулиране на различни алтерна-

тиви на управление на водоразпределението, като по получените резултати се направи оценка на постигнатото качество на водоразпределение и се тестват други алтернативи, докато се намери добро решение от гледна точка на поставените цели пред управлението на напоителната система за реализиране на навременни и надеждни доставки на вода за напояване на земеделските култури и постигане на устойчиви добиви. Използването на модели, базирани на електронна таблица, ще позволи включването в дейността по планиране на действието на напоителните системи на специалисти с базови компютърни умения и ограничен опит в програмирането.

### Литература

1. Върлев И., (2008). Потенциал, ефективност и риск при отглеждане на царевица, ССА, София.
2. Патаманска Г., Промяна на съществуващите напоителните системи в България и управлението им за устойчиво използване на водата, "Водно дело", кн. 5-6, 2012, София, с. 29-35.
3. Патаманска Г., Планиране на водоразпределението в напоителен канал с помощта на електронна таблица, "Селскостопанска техника", кн. 4-6, 2013, София, с.42-47 .
4. Anwar, A.A., Clarke, D., (2001). Irrigation scheduling using mixed-integer linear programming. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Volume 127, no.2, pp. 63–69.
5. Bhadra A, Bandyopadhyay A., Singh R., Raghuvanshi N.S. (2009) Integrated Reservoir-based Canal Irrigation Model (IRCIM)—I: description ", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Volume 135, no. 2, pp.149–157.
6. Pereira, L. S. (2004). Trends for Irrigated Agriculture in the Mediterranean Region, European Water 7/8, pp. 47-64.
7. Molden, D.J., T.K. Gates., (1990). Performance Measures for Evaluation of Irrigation Water Delivery Systems, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Volume. 116, no. 6, pp. 804-823.