

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Юбилейна приложна научно-техническа конференция  
„65 години Хидротехнически факултет и 15 години немскоезиково обучение”

6–7 ноември 2014  
6–7 November 2014

International Jubilee Conference  
„65<sup>th</sup> Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15<sup>th</sup> Anniversary Hydraulic Engineering in German”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

XLVII <sup>ТОМ</sup>  
vol.

2014

св.  
fasc. I-A

## СРЕДСТВА ЗА ПОДПОМАГАНЕ ВЗЕМАНЕТО НА РЕШЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ РИСКА ЗА ВОДОСНАБДЯВАНЕТО ПРИ ЗАСУШАВАНЕ И КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ

И. Няголов<sup>1</sup>, И. Илчева<sup>2</sup>, А. Йорданова<sup>3</sup>, В. Захариева<sup>4</sup> Д. Георгиева<sup>5</sup>

*Ключови думи:* уязвимост, климатични промени, управление на риска при засушаване, водоснабдяване, системи за подпомагане вземането на решения, управление на язовири

*Научна област:* водоснабдяване

### РЕЗЮМЕ

Водните ресурси са подложени на нарастващ натиск от промените на климата и земеползването. Статията представя методичния подход, приложените модели и средства за подпомагане вземането на решения при управление на риска за водоснабдяването в условия на засушаване и климатични промени. Подходът се базира на имитационно моделиране и анализ на управлението на водностопанските системи, съчетано със стохастичното Монте-Карло моделиране (като ARMA моделиране), дългосрочни и краткосрочни стратегии, включващи различни сценарии, климатични промени, екстремни условия – засушаване, варианти за развитие на социално-икономическите и екологични системи, алтернативни схеми и управленски решения. В условия на екст-

<sup>1</sup> Игор Няголов, доц. д-р инж., НИМХ, бул. „Цариградско шосе“ 66, София,  
e-mail: igorbg@bas.bg

<sup>2</sup> Ирена Илчева, доц. д-р инж., НИМХ, бул. „Цариградско шосе“ 66, София,  
e-mail: ireniwr@yahoo.com

<sup>3</sup> Анна Йорданова, доц. д-р мат., НИМХ, бул. „Цариградско шосе“ 66, София,  
e-mail: yordanova61@gmail.com

<sup>4</sup> Весела Захариева, доц. д-р инж., кат. „Хидравлика и хидрология“, УАСГ,  
бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: vesela\_fhe@uacg.bg

<sup>5</sup> Денислава Георгиева, инж. докторант, НИМХ, бул. „Цариградско шосе“ 66, София,  
e-mail: georgievadenislava@gmail.com

ремни явления нараства ролята на мерките за превенция и адаптация. За тази цел в НИМХ е стартирало разработването на етапи от Система за подпомагане вземането на решения (DSS) със съответни модули, калибрирани за комплексните и значими язовири. Модулите дават възможност за оценка на текущата ситуация, очакваното потребление и приток, и съответни препоръки за действие – от управление при висока вълна, до управление в условие на засушаване и недостиг. Методите и средствата са приложени в практиката за МОСВ и Басейновите дирекции.

## 1. Въведение

Според Зелената книга „Адаптиране към климатичните промени в Европа – възможност на ЕС за действие“ на Европейската комисия 2007 г. климатичните промени засягат Европа и Арктическият регион и вече са измерими. Очаква се температурите да се повишат, валежите и годишният отток в Южна и Югоизточна Европа да намалее, а в Северна да се увеличи (River Basin Management in a Changing climate, 2009) [23]. Очаква се изменението на климата да доведе до промени в сезонността на речния отток и намаление на летния отток, включително в райони, където годишният ще се увеличи (IPCC, 2011). Нарастват интензивността и честотата на екстремните явления (наводнения и засушаване), директните и индиректните въздействия върху водните ресурси и водоснабдяването.

Недостигът на водни ресурси засяга приоритетни водопотребители като питейното водоснабдяване и екологичния отток, увеличава се уязвимостта на свързаните с водните ресурси екологични, социални и икономически системи и нуждата от мерки за превенция и адаптация.

Актуализацията на Плановите за управление на речни басейни (ПУРБ) и Ръководство № 24 (River Basin Management in a Changing climate) са фокусирани върху интегрирането на измененията на климата във 2-ри и 3-ти цикъл на планиране, като разширяват обхвата до наводнения, засушаване и недостиг на вода. Акцент е оценката на вероятното допълнително въздействие на изменението на климата върху съществуващия антропогенен натиск и използване на тази информация в проектирането на мерки (особено за предложени мерки с дълъг проектен живот на действие, каквито са водоснабдителните и водностопанските системи).

Следва да се разработят Планове за управление при недостиг на вода и засушаване, интегрирани в общото планиране към Рамковата директива за водите (Drought management plan report, 2009) [21]. Съгласно ЕК в рамките на тези планове оценката на уязвимостта и риска за водоснабдителните системи е приоритет [21, 22].

## 2. Методичен подход

Уязвимостта е степента, до която една система е податлива или неспособна да се справи с неблагоприятните последици от климатичните промени, включително екстремни явления (IPCC, 2003 г.). Основните движещи сили са: изменението на климата, демографското развитие, нарастване на водопотреблението, промените в земеползването и качеството на водните ресурси [18, 19, 20].

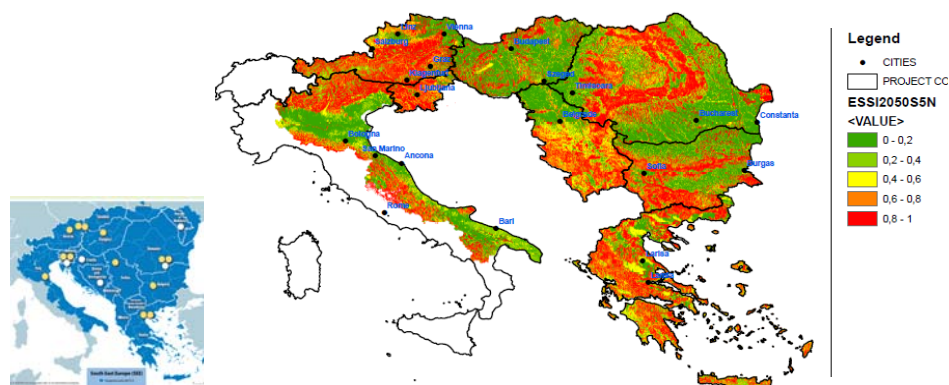
Когато тенденция на намалени валежи и отток съвпадне с тенденция на увеличено водопотребление или влошено качество на водата, даден регион или речен басейн може да се окаже уязвим в близко или далечно бъдеще, което изисква разработване на мерки [26]. Следва да се разграничат различните аспекти: засушаването, което е природен феномен, и недостигът на вода, който зависи и от човешката дейност. Рискът от дефицит във водоснабдителните системи зависи не само от климатичните фактори и

ресурса, но и от водопотреблението, водностопанската инфраструктура и управленската стратегия [29, 30].

Характерно за България е неравномерното разпределение на оттока в пространството и времето, което е наложило големите градове и водопотребители да се обвържат с комплексни водностопански системи (ВС), язовири, каскади, събирателни деривации и прехвърляне на води от един водосбор в друг.

Ето защо приносят на българския тим в проекти като Climate Change and Impacts on Water Supply (“Климатични промени и влиянието им върху водоснабдяването” – CC\_WaterS) и неговото продължение Mitigating Vulnerability of Water Resources under Climate Change – CC\_WARE е разработването на методики, модели и системи от индекси за оценка и смекчаване на уязвимостта на водните ресурси и водоснабдяването при различни климатични сценарии и при различно бъдещо потребление на вода, като акцент са язовирите, земеползването (горските екосистеми, санитарно-охранителните зони) и екологичният отток [20, 26]. Партньор за България е Изпълнителна агенция за горите с Институт за гората и НИМХ – БАН.

Целта на проекта CC\_WARE е да се оцени настоящата и бъдещата уязвимост на водните ресурси и водоснабдяването в Югоизточна Европа въз основа на съвместно разработена методология (на транснационално и национално ниво). Разработват се карти на уязвимостта на водоснабдяването [20, 26]. Анализират се сценарии: 1961–1990 – базов, настоящ 1990–2020 г., сценарий 2020–2050 г., както и 5 сценария на промяна на земеползването. За целта картите CORINE Land cover – CLC (2006) са трансформирани в бъдещи карти, съобразно сценариите на Европейската агенция по околна среда (European Environment Agency, 2012) – фиг. 1.

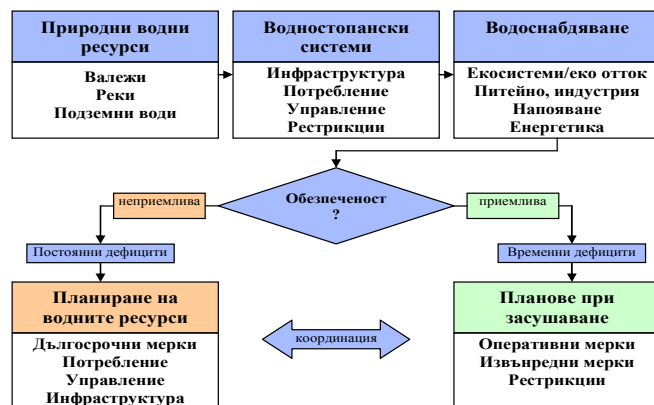


Фиг. 1. Карта на екосистемните функции за 2050 и сценарий 5 за CLC (работен вариант)

Според ЕК анализът на разпределението на водните ресурси чрез водностопански системи и язовири (включително на ниво речен басейн) е основен инструмент за оценка в процеса на планиране и търсене на баланс между наличните ресурси и водоползването в условия на засушаване – фиг. 2. (Drought management plan report, 2009; MEDROPLAN, 2007). Водностопанските/водни баланси са средство за идентификация на постоянни дефицити (недостиг на вода) и временни дефицити. Според резултатите от анализа се разработват съответни дългосрочни стратегически мерки или краткосрочни, временни мерки – фиг. 2 [21, 22].

Стратегическите планове за водоснабдителните системи трябва да се включат към ПУРБ [29, 30]. Разработването им изисква: идентификация на уязвимите райони,

оценка на риска от дефицит във водностанските системи, като се вземат под внимание приоритетите при преразпределяне на водните ресурси между отделните потребители (според Закона за водите), гарантиране на водопотреблението (индексите на надеждност и др.), дефиниране на дългосрочни мерки, избор на алтернативи. Краткосрочните планове за управление на водоснабдяването са в периоди на засушаване [29, 30].



**Фиг. 2.** Координацията между планиране на басейново ниво и политиката по засушаванията (Drought management plan report, 2009)

Методиката за оценка на уязвимостта включва шест етапа [8, 12, 18–20, 26]:

### 1. Първи етап. Моделиране и оценка на климатичните фактори и сценарии

На този етап се оценяват климатичните сценарии при различни времеви хоризонти. Изчисляват се климатични индекси за анализ на климатичните промени и засушаването – индекс на De Martonne, UNEP Aridity Index, Seasonality index пр. [17].

### 2. Втори етап. Оценка на тенденциите на изменение на водните ресурси при различни сценарии за изменение на климата

Оценяват се наличните ресурси в настоящето и бъдещето [1, 2, 27]. За отчитане на климатичните промени се разработват модели за воден баланс. Според целите се използват и редици на естествения отток, моделирани редици или извадки, сценарии „засушаване”.

### 3. Трети етап. Графична схема на използване на водните ресурси в речния басейн

Съставя се GIS базирана графична схема на използване на водните ресурси. На нея се нанасят водоползвателите, водоснабдителните системи, прехвърлянето на води от и към други поречия (чрез събирателни деривации), възвратните води, отчита се изградената инфраструктура и придобити водни права, водоземанията и пр. [25, 26].

### 4. Четвърти етап. Оценка на настоящето и бъдещо водопотребление

Водопотреблението включва нуждите от вода за напояване, питейно-битовото и промишлено водоснабдяване, екологичен отток, вкл. за защитени зони пр. [6, 9, 25].

#### Екологичен отток

Екологичният отток е свързан с допустимото нарушаване на режима на оттока. Съгласно § 125 на Преходни и Заключителни разпоредби към Закона за изменение и допълнение на закона за водите „До издаването на методиката по чл. 135, т. 1 мини-

мално допустимият отток в реките се определя на 10 на сто от средномногогодишното водно количество, но не по-малко от минималното средномесечно водно количество с обезпеченост 95 на сто към точката на всяко съоръжение за регулиране на оттока или за водовземане“. В проектите CC\_WaterS, CC-WARE е приета предложената от българския екип методология за оценка на нуждите от вода на водните екосистеми, вкл. в условия на климатични промени [7, 18, 19, 31]. Повече е дадено в т. 3.4.

#### **5. Пети етап. Оценка на недостига на вода, уязвимостта и риска за водните ресурси и водоснабдяването при различни климатични сценарии и различно водопотребление**

На този етап се съпоставят разполагаемите водни ресурси (сега и при различни сценарии) със сегашното и бъдещото водопотребление, което позволява да се излявят и дефицитите. Решението може да стане на транснационално ниво, ниво речен басейн, подбасейн, водоснабдителна система или язовир. Прилага се имитационен модел и система от индекси. Графичната схема се представя чрез насочен граф и система от възли и дъги. Повече за имитационното моделиране е дадено в т. 3.1.

Експериментите показват, че прилагането само на индекса WEI (Water Exploitation Index) и неговите модификации (WEI+, WEIeco) не е достатъчно, за да се оцени вярно недостигът на вода, уязвимостта и рискът за водоснабдяването и за екологичния отток/e-flow [7, 12, 25, 26]. Принос на България е обосновката на система от индекси за оценка на уязвимостта, като WEI се изчисляват съвместно с т.нар. индекси за анализ функционирането на ВС (индекс на водния дефицит WSHI, обезпеченост, индекс на надеждността и др.).

#### **6. Шести етап. Анализ и формиране на мерки за превенция и адаптация**

В така идентифицираните уязвими райони, в условия на климатични промени и екстремни явления, с периоди с недостиг на вода и засушаване, редуващи се с такива на наводнения, все повече нараства ролята на мерките. Предложен е подход за формиране на стратегически, тактически и оперативни мерки [12, 25, 26].

### **3. Модели и средства за подпомагане вземането на решения и управление при засушаване и климатични промени**

#### **3.1. Имитационно моделиране на водностанските системи и разпределение на водите на язовирите**

Методичният подход за разработване на стратегически и тактически планове за управление при климатични промени и засушаване, и за формиране на мерки, свързани с водоснабдяването, изисква анализ на различни алтернативи (планиране на нови водоснабдителни системи и язовири, оптимално управление на съществуващите), на различни нива (на ниво рече басейн, ниво водностанска система, язовир), при краткосрочна и дългосрочна стратегия, с отчитане на различни сценарии: сценарии за ресурса, вкл. моделирани редици, екстремни условия – засушаване, варианти на развитие на социално-икономическите системи, различни варианти на надграждане на язовирната стена, алтернативни схеми, различни управленски решения [12, 26].

При тези условия най-мощният механизъм за оценката на уязвимостта и риска за водоснабдителните системи и екологичния отток е имитационното моделиране. В представената методика е приложен имитационният модел SIMYL (разработен в

НИМХ – БАН). Графичната схема се представя чрез система от възли и дъги. Възлите представляват компонентите на водния ресурс и водопотреблението, а дъгите са свързките между възлите. За да може получената структура да отразява адекватно реалната система, се задават параметри и ограничения на елементите на схемата. Моделът извършва разпределение на наличния воден ресурс съгласно приоритетите в Закона за водите. По този начин се получава информация за наличието на дефицити и излишъци от вода за всеки един възел във водоснабдителната система (ВС), както и системата от индекси за недостиг на вода [26].

Някои от известните имитационни модели са MODSIM, SIMYL, ALLOC, SIMOPT, HEC-PRN, POWERSIM и др. [22].

### 3.2. Моделиране на водния баланс и сценарии засушаване

За отчитане влиянието на климатичните промени се разработват модели за воден баланс [1, 2, 8]. В съответствие с климатичните сценарии се анализират 30-годишни периоди. Ползват се и редици на естествения ненарушен отток в зависимост от избрания изчислителен интервал. Може да се използват и изкуствено моделирани редици или извадки за критични периоди (дългосрочно 30–40 години или краткосрочно – няколко години) [12, 13, 29, 30]. Анализират се и минали засушавания.

### 3.3. Приложение на моделирани хидроложки редици

Разработеният методичен подход дава възможност за решение и при стохастична постановка на задачата, вкл. при екстремни условия – засушаване. Както е подчертано по-горе, не трябва да се анализира само един планиран бъдещ период.



Фиг. 3. ARMA моделиране

За целта имитационното моделиране SIMYL се прилага с разработените модели за стохастично Монте-Карло моделиране за индивидуалното и групово моделиране на оттока и напоителното водопотребление (ARMA Autoregressive Moving Average, ПОЛАР и МАТАЛАС) [9, 11, 14, 15].

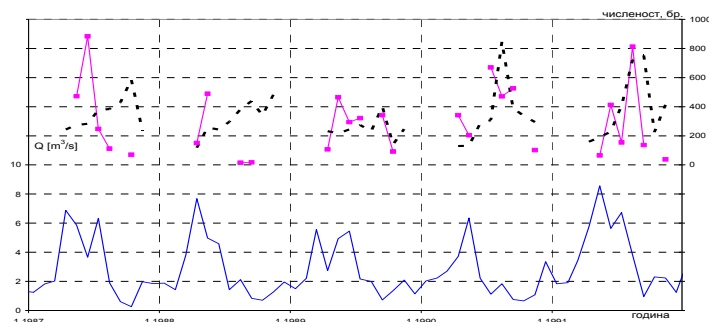
### 3.4. Оценка и обезпечаване на екологичния отток

Разработен е методичен подход за оценка на екологичния отток чрез връзката отток-зообентос. Като основен показател за състоянието на макробезгръбначното съобщество се разглежда общата численост, която следва колебанията на речния отток с известно закъснение – фиг. 4. [3, 4, 16]. Първо се моделира развитието на зообентоса при естествен режим на оттока. След това се моделира развитието на

зообентоса при различни режими на нарушаване на оттока. Избира се вариант, при който речната екосистема се запазва в състояние, съпоставимо с естественото.

Моделът е приложен за цяла България (Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление на Р България 2000 г.) [5].

Разработената “концепция за компенсирането” представлява една възможност за управление и обезпечаване на екологичния отток [7, 12, 26, 31]. Постигането на баланс между водоснабдяване и екологичния отток е многокритериална задача [7, 12, 26].



Фиг. 4. Ходограф на общата численост (наблюдавана и моделирана) и средномесечното водно количество

#### 4. Системи за подпомагане вземането на решение

Системите за подпомагане вземането на решения (Decision Support System (DSS)) при управление на водните ресурси, комплексни водностопански системи и язовири обвързват база модели, данни, експертна информация и потребителски интерфейс. Управлението при екстремни условия (наводнения, недостиг на вода и засушаване) изисква решения и прогнози във времеви хоризонт от 2–3 дни до месеци. Възможност за подобряване на надеждността на водоснабдяването е управлението на язовирите. В процес на разработване и експериментално приложение в НИМХ е Система за подпомагане вземането на решения при управление на комплексните язовири (вж. по-долу) [10–15, 28].

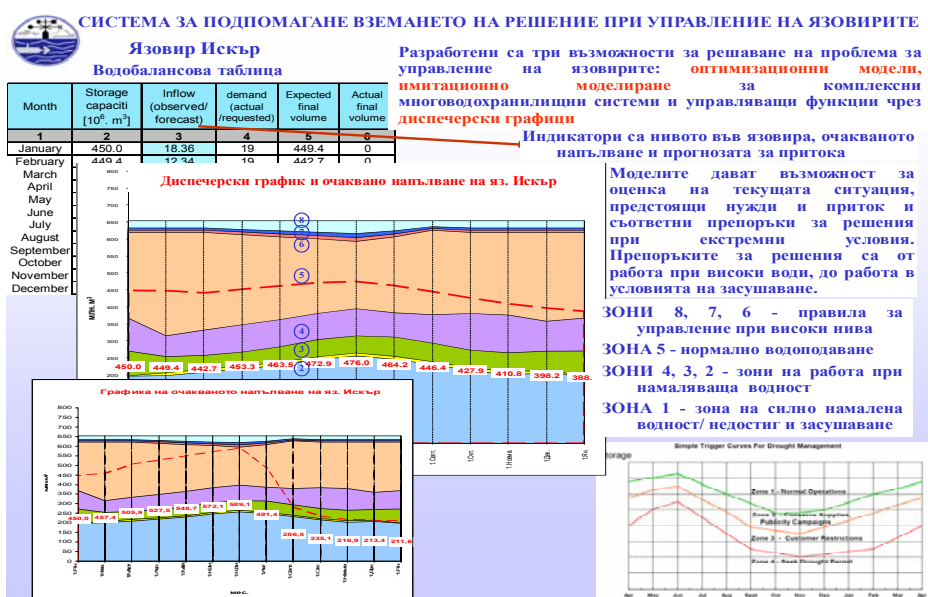
#### 5. Приложение в практиката

Методиките и моделите са приложени в практиката на транснационално и национално ниво (МОСВ, Басейнови дирекции): Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление, договор с МОСВ, 2000 г.; Методика за съставяне на водностопански баланси на речни басейни, договор с МОСВ, 2004; Методика за разпределение водите на язовирите, договор с МОСВ, 2004 г.; Използване водите и водностопански баланси на Огоста, Камчия, Струма и Тунджа, договор с МОСВ, 2006; Проекти CC\_WaterS 2012; CC-WARE 2014; Водностопански баланс на яз. „Среченска бара“ със и без надграждане на язовирната стена, договор с МРРБ, 2002 г.; Оперативни воднобалансови оценки, Споразумение с МОСВ, 2011–2014 и др. За решение на задачата се прилагат три възможности [10–15, 28]: оптимизационни модели; имитационно

моделиране при речни басейни и комплексни ВС; управляващи функции – диспечерски графици.

В НИМХ започна поетапно разработване на Система за подпомагане вземането на решения СПИВР (DSS) със съответните модули – фиг. 5. Касае се за серия модели, калибрирани за комплексните и значими язовири (Приложение 1 на Закона за водите). Моделите дават възможност за оценка на текущата ситуация, предстоящи нужди и приток и съответни препоръки за решения. Независимо от многообразието на спомнатите ситуации, препоръките за решения са конкретни – от поддържане на определени нива (работа при високи води), до ограничаване на отделни водопотребители (работа в условията на засушаване и недостиг на води) – фиг. 5.

Към момента са разработени модули за язовири от четирите Басейнови дирекции и са в етап на експериментално приложение. Модулите се калибрират за ползване на краткосрочни прогнози за притока към язовирите.



Фиг. 5. Система за подпомагане вземането на решения при управление на язовирите

## 6. Обобщение и изводи

В условията на климатични промени нарастват интензивността и честотата на екстремните явления (наводнения и засушаване), директните и индиректните въздействия върху водните ресурси и водоснабдяването. В процес е мащабна оценка на уязвимостта на водоснабдяването за Югоизточна Европа. Предварителният анализ показва, че има райони, които може да се окажат силноуязвими в бъдеще.

Акцент при актуализацията на ПУРБ е оценката на вероятното допълнително въздействие на изменението на климата върху съществуващия антропогенен натиск и използване на тази информация в проектирането на мерки (особено за мерки с дълъг проектен живот на действие, каквито са водоснабдителните системи).

Следва да се разработят Планове за управление при недостиг на вода и засушаване, интегрирани в общото планиране към РДВ. В рамките на тези планове приоритет е оценката на уязвимостта и риска за водоснабдителните системи и разработването на стратегически и тактически мерки.

За целта е разработен подход за оценка на уязвимостта и риска за водните ресурси и водоснабдяването в условия на климатични промени и засушаване. Подходът се базира на имитационно моделиране и система от индекси за оценка на засушаването и недостига на вода, стохастичното моделиране, анализ на дългосрочни и краткосрочни стратегии, включващи различни сценарии, климатични промени, екстремни условия, варианти за развитие на социално-икономическите и екологични системи, алтернативни схеми и управленски решения.

Разработени са модели и средства за подпомагане формирането на решения при екстремни условия. Нараства ролята на управлението на комплексните водностопански системи и язовири. В НИМХ поетапно се разработва Система за подпомагане вземането на решения (DSS) при управление на язовирите със съответните модули. Касае се за серия модели, калибрирани за комплексните и значими язовири. Моделите дават възможност за оценка на текущата ситуация, предстоящите нужди и приток и съответни препоръки за решения – от поддържане на определени нива до работа в условията на засушаване и недостиг на води.

Разработката е в подкрепа на МОСВ, Басейновите дирекции и актуализацията на Плановите за управление на речни басейни в условия на климатични промени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балабанова, Сн. Оперативно хидроложко моделиране на речния отток и ресурсни оценки с приложение на ГИС. Дисертация, НИМХ – БАН, 2010.
2. Балабанова, Сн., И. Илчева и кол. Оценка на тенденциите на изменението на водните ресурси, при различните сценарии за изменение на климата – пилотна оценка за поречието на р. Струма. Споразумение с МОСВ, 2012.
3. Зарбова, К. и кол. Оценка на някои екологически изменения при нарушаване режима на речния отток в поречието на Янтра и Осъм. НВИЦ на КОПС, С., 1989.
4. Захариева, В. Математически модел за определяне на оводнителното водно количество. Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия, том ХLI, свитък “Хидротехника” 2003/04 С., 2004.
5. Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление на Р България. ИВП, сега НИМХ – БАН, по договор с МОСВ, 2000.
6. Илчева, И. и кол. Използване на водите и водностопански баланс на поречие Струма. ИВП, сега НИМХ – БАН, по договор с МОСВ, 2006.
7. Илчева, И. Анализ на възможностите за обезпечаване на екологичния отток в реките. сп. Водни проблеми, БАН, кн. 37, 2008.
8. Маринов, Ив. и кол. Климатични промени и влиянието им върху горските екосистеми и водните ресурси във водосбора на река Струма. ISBN: 978-954-395-081-2, BON Publishers - Blagoevgrad, 160, 2012.
9. Методика за съставяне на водностопански баланси на речни басейни. Договор на ИВП (сега НИМХ) с МОСВ, 200.

10. Няголов, И. и кол. Оперативни воднобалансови оценки. Споразумение с МОСВ 2011–2014 г., под ръководството на проф. Д. Димитров.
11. Няголов, И. и кол. Методика за разпределение водите на язовирите. Договор с МОСВ, 2004.
12. Няголов, И., И. Илчева, А. Йорданова, Д. Георгиева. Управление на водностопанските системи на дунавските притоци при екстремни условия. Ден на Дунав, НТС, 28 юни 2013.
13. Няголов, И., И. Илчева, А. Йорданова, Язовирите за питейно-битово водоснабдяване в условията на климатични промени. Научно-техническа конференция "Язовирното строителство – фактор за устойчиво развитие на водния сектор", УАСГ, 8 Ноември, 2013.
14. Няголов, И., А. Йорданова, И. Илчева. Хидроложки и водностопански изследвания при надграждане на язовирни стени и избор на управленска стратегия. "Двстесет и четвърта международна научна конференция, 70 години Съюз на учените в България", Ст. Загора, 5-6 юни 2014.
15. Йорданова, А. Моделиране на речния отток с помощта на периодичен ARMA модел. сп. Водни проблеми, кн. 2, 2003.
16. Янева, И. и кол. Състав и структура на речни бентосни зооценози в зависимост от режима на оттока. Договор с НФНИ към МОН, С., 1997.
17. Alexandrov, V., V. Spiridonov. WP3. Climate Change, Project, CC\_WaterS, 2012.
18. CC\_WaterS, WP4 - Availability of water resources, 2012, SEE.
19. CC\_WaterS Monograph, 2012, Editor R. Koeck, April 2012, SEE.
20. CC-WARE, 2014, Mitigating Vulnerability of Water Resources under Climate Change, SEE, principal partner in the project – the Executive Forest Agency
21. Drought Management Plan Report Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects, Technical Report – 2008 – 023.
22. Drought Management Guidelines 2007, European Commission (MEDROPLAN).
23. Guidance document N24 River Basin Management in Changing Climate, CIS for the WFD (2000/60/EC), Technical Report – 2009 – 040, EC, 2009.
24. Guidance on environmental flow releases from impoundments to implement the water framework directive, Project WFD82, 2008.
25. Ilcheva, I., I. Niagolov, T. Trenkova, 2008. Aspects of the Integrated Water Resources Management of the Struma River Basin. BALWOIS, 27-31 May, 2008, Ohrid, Macedonia.
26. Marinov, I., V. Spiridonov, I. Niagolov, I. Ilcheva, Sn. Balabanova, K. Nikolova, A. Yordanova, A. Bogachev, V. Zaharieva, D. Geoergieva, E. Velizarova, G. Popov, 2014. CC-WARE Project, Mitigating Vulnerability of Water Resources under Climate Change, SEE, 2014.
27. Niagolov, I. et all. Analysis of climate change impact on water resources in the Struma river basin. BALWOIS 2012 – Ohrid, R. Macedonia - 28 May, 2 June 2012.
28. Niagolov, I., I. Ilcheva, A. Yordanova, V. Raynova. MANAGEMENT OF COMPLEX RESERVOIRS UNDER EXTREME CONDITIONS. Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety, 2014, Volume 8, ISSN 1314-7234.
29. Rossi, G., V. Nicolosi, A. Cancelliere, 2008. RECENT METHODS AND TECHNIQUES FOR MANAGING HYDROLOGICAL DROUGHTS. Options Méditerranéennes, Series A, 80.

30. Rossi, G., A. Cancelliere, 2012. Managing Drought risk in water supply systems in Europe: a review. International Journal of Water Resources Development.
31. Zaharieva, V., I. Niagolov, I. Ilcheva, 2012. Determination and provision of ecological river flow in case of climate changes. BALWOIS 2012 – Ohrid, Republic of Macedonia – 28 May, 2 June 2012.

## **DECISION SUPPORT TOOLS FOR DROUGHT RISK MANAGEMENT OF WATER SUPPLY UNDER CLIMATE CHANGE CONDITION**

**I. Niagolov<sup>1</sup>, I. Ilcheva<sup>2</sup>, A. Yordanova<sup>3</sup>, V. Zaharieva<sup>4</sup>, D. Georgieva<sup>5</sup>**

***Keywords:** vulnerability, climate change, drought risk management, water supply, decision support system, reservoir operation*

***Research area:** water supply*

### **ABSTRACT**

Water resources are subjected to a growing pressure due to climate and land use changes. The report presents the methodological approach, applied models and decision support tools for drought risk management for water supply under climate change. The approach is based on the simulation modeling and analysis of the operation of water resources systems in combination with the stochastic Monte-Carlo modeling (by ARMA models), short-term and long-term strategy for risk management, taking into account various scenarios for climate change, extreme conditions – droughts, variants for development of the social-economic and ecological systems, alternative schemes and different management solutions. The role of the prevention and adaptation measures increases under conditions of extreme events. For this purpose, the development of stages of a Decision Support System (DSS) with the respective modules, calibrated for the complex and important reservoirs, has been launched in NIMH. The models provide the possibility of evaluating the current situation, the expected demands and inflow and the relevant recommendations for solutions – from operation at high water to operation under conditions of drought and water shortage. The methods and tools are applied in the practice in aid of MOEW and River Basin Directorates.

---

<sup>1</sup> Igor Niagolov, Assoc. Prof. Dr. Eng., NIMH, 66 Tzarigradsko shose Blvd., Sofia, e-mail: igorbg@bas.bg

<sup>2</sup> Irena Ilcheva, Assoc. Prof. Dr. Eng., NIMH, 66 Tzarigradsko shose Blvd., Sofia, e-mail: ireniwp@yahoo.com

<sup>3</sup> Anna Yordanova, Assoc. Prof. Dr. Eng., NIMH, 66 Tzarigradsko shose Blvd., Sofia, e-mail: yordanova61@gmail.com

<sup>4</sup> Vesela Zaharieva, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: vesela\_fhe@uacg.bg

<sup>5</sup> Denislava Georgieva, PhD student, NIMH, 66 Tzarigradsko shose Blvd., Sofia, e-mail: georgievadenislava@gmail.com

