

## ХИДРОЛОЖКИ И ВОДНОСТОПАНСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ПРИ НАДГРАЖДАНЕ НА ЯЗОВИРНИ СТЕНИ И ИЗБОР НА УПРАВЛЕНСКА СТРАТЕГИЯ

Игор Няголов, Анна Йорданова, Ирена Илчева

НИМХ – БАН

[igorbg@bas.bg](mailto:igorbg@bas.bg), [yordanova61@gmail.com](mailto:yordanova61@gmail.com), [ireniwp@yahoo.com](mailto:ireniwp@yahoo.com)

## HYDROLOGICAL AND WATER RESOURCES STUDIES IN THE DAM UPGRADING AND CHOICE OF A MANAGEMENT STRATEGY

Igor Nyagolov, Anna Yordanova, Irena Ilcheva,

NIMH - BAS,

[igorbg@bas.bg](mailto:igorbg@bas.bg), [yordanova61@gmail.com](mailto:yordanova61@gmail.com), [ireniwp@yahoo.com](mailto:ireniwp@yahoo.com)

### ABSTRACT

Hydrological and water resources studies are the basis for justification and selection of long-term strategic measures in case of shortage of water supply. Upgrading the dam is an effective solution, which increases the regulating possibilities of the dams and is an alternative to costly projects and vulnerable to drought water sources. The basis of the developed approach is the imitation modeling of the water resources systems operation and the mathematical modeling of the random processes by Monte Carlo method. Developed methodical approach gives a solution for stochastic formulation of the problem by looking at the various options of dam upgrading, various alternative schemes and solutions resource scenarios and variations of the present and future water consumption.

*Key words:* drought, reservoir management, climate change, risk assessment, stochastic modeling

### 1. Анализ на водностопанските системи и язовири при стратегическо планиране

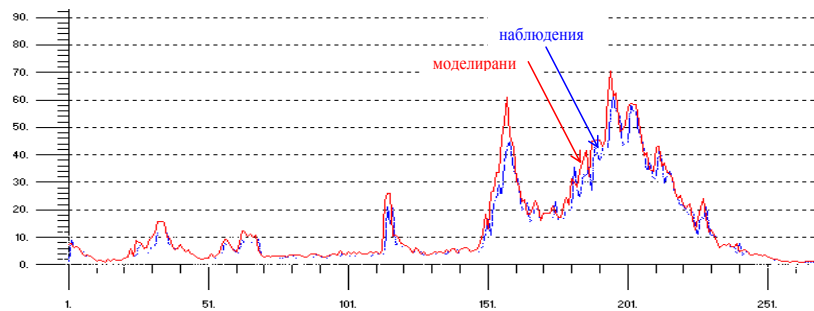
Според Европейската комисия, анализът на комплексните и значими водностопански системи и язовири (вкл. на ниво речен басейн) е основното средство за оценка в процеса на планиране и търсенето на баланс между наличния воден ресурс и потреблението в условия на засушаване (Drought Management Plan Report, ЕС, 2008; MEDROPLAN, 2007).

Планирането и управлението на язовирите е фактор за устойчиво развитие на водоснабдяването, особено в условията на недостиг и климатични промени (Няголов, И., И.Илчева, А.Йорданова, 2013). Надграждането на язовирните стени е ефективно решение, което повишава регулиращите възможности на язовирите и е алтернатива на скъпо струващи проекти и на уязвими при засушаване водоизточници. Тези мерки трябва да се включат в т.нар. стратегически планове (water shortage preparedness plan). Разработването им изисква: идентификация на уязвимите райони, оценка на дефицитите във водностопанските системи, като се вземат под внимание приоритетите при преразпределянето на водните ресурси между отделните потребители (според закона за водите), оценка на гарантиране на водопотреблението (обезпеченост, надежност), дефиниране на дългосрочни мерки, съпоставка и избор на алтернативи. Рискът от дефицит във водностопанските системи зависи не само от климатичните фактори и ресурса, но и от водопотреблението, водностопанската инфраструктура и управленската стратегия.

### 2. Хидроложки и водностопански изследвания при надграждане на язовирни стени

Надграждането на язовирни стени е стратегическа мярка, която изисква съпоставяне на алтернативи свързани с планирането и управлението на ВС. При това не трябва да се разглежда само един планиран бъдещ период. Подходът за избор на вариант на надграждане

на язовирната стена се базира на анализа 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. При тези обстоятелства единственото средство за анализ е имитационното моделиране на водностопанските системи и язовири и техните алтернативи в съчетание със стохастичното Монте-Карло моделиране (чрез ARMA Autoregressive Moving Average модели и др). (Методика за разпределение водите на язовирите, ръководител И.Няголов, договор с МОСВ, 2004г., Няголов, И., 1998; Йорданова А., 2005; Drought Management Guidelines, MEDROPLAN,2007).



Фиг.1. ARMA моделиране

Моделираните редове се основават на статистическите параметри на наблюдаваните редове, като описват процеса на колебанията на оттока в генералната съвкупност, т.е. разкриват голямото разнообразие на вътрешногодишното разпределение на оттока при различни по обезпеченост години и последователността на групировки от многоводни и маловодни години. За да се отчетат добре дълговременните цикли в процеса на оттока Бокс и Дженкинс(1970) разработват фамилия авторегресионни модели с пълзящо средно (ARMA). Дългосрочната зависимост е типична за дългите периоди на много ниски или високи води.

Стратегическите мерки следва да са част от Планове за управление на речни басейни, което поставя нови изисквания (River Basin Management In A Changing Climate, 2009). Следва да се оценят уязвимите райони, да се анализира влиянието на климатичните промени върху оттока и водопотреблението, да се извърши преценка регулиращите възможности на язовирите. За целта методичният подход се надгражда от колектив на НИМХ. Разработените модели за стохастичната хидрология се прилагат съвместно с моделирането на водния баланс, вкл. при отчитане на климатичните промени (Няголов И., и кол. 2013г ; CC\_WaterS 2012; CC-WARE 2013).

### 3. Приложение на подхода в практиката – яз.“Среченска бара”

Подход, основан на имитационното моделиране и ARMA моделирането е приложен при изпълнение на проект “Водностопански баланс на яз.“Среченска бара” със и без надграждане на язовирната стена”, договор с МРРБ, 2002 г., с ръководител доц.И.Няголов. В резултат от прилагане на този подход за оценка на риска се получават устойчиви резултати и решения. Получените резултати са валидни и днес.

Надграждането на язовирната стена е стратегическа мярка за района. Яз.“Среченска бара” е основен водоизточник за водоснабдителна система Монтана – помпажна, ВиК гр.Враца, и ВиК гр.Берковица, Вършец, Мездра и още дваветина селища и е изграден като годишен изравнител. Неговите основни параметри са: общ обем - 15,5 млн.м<sup>3</sup>, площ от 1 570 дка и височина на стената - 51,5 м.

Пълненето на яз.“Среченска бара” се осъществява основно от изтичалото на ВЕЦ „Клисура”, от където водата постъпва във водоеми 2x10 400м<sup>3</sup>, намиращи се в

непосредствена близост до ВЕЦ. От тях, водните количества се доставят до язовира по два гравитачни водопровода. Преди акумулирането на водите в язовира, същите се преработват от три водноелектрически централи (каскада „Петрохан“) за добив на енергия. Към язовира има изградени още пет речни водохващания, директно подаващи вода.

Вода до яз. „Среченска бара“ постъпва и по канал „Врещица“, което и около 3% от целия приток в него. Притокът от собствен водосбор е незначителен - около 1%.

По искане на МРРБ са проведени водностопански изследвания, които са анализирани следните 4 варианта на надграждане:

- $15,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  - настоящ общ обем, от който  $14,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  -полезен;
- $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  - увеличаван обем с  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$  ;
- $19,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  - увеличаван обем с  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$  ;
- $21,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  - увеличаван обем с  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  ,

По искане на МРРБ са анализирани и следните 5 периоди:

- редица от отработени водни обеми от ВЕЦ „Клисурса“ (период 1954 – 2001г.)
- редица от отработени водни обеми от ВЕЦ „Клисурса“ (извадка период 1980 – 2001г.)
- редица от отработени водни обеми от ВЕЦ „Клисурса“ (извадка период 1985 – 2001г.)
- изкуствена генерирана 1000-годишна редица - ARMA моделирането.
- най-неблагоприятна 50-годишна извадка от моделираната 1000-годишна редица

Водностопанските изчисления са извършени за 3 сценария на възможно развитие на водопотреблението в района, наречени както следва:

- песимистичен –  $28.016 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ .
- реалистичен –  $29.091 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ .
- оптимистичен –  $32.267 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ .

По отношение на притока в яз. „Среченска бара“ от собствен водосбор, който е минимален ( $F = 2.99 \text{ km}^2$  и  $W_0 = 0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) е възприето разпределение съответстващо на данните от наблюденията на ХМС 16120. Отражено е и пълненето от канал „Врещица“.

Така средномногогодишната стойност за периода 1954 – 2001год. е  $2.90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ ., като за подпериода 1985 – 2001год. тази стойност спада на  $2.08 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ .

Извършени са 60 имитационни експеримента. Те обхващат посочените - 5 редици с хидроложки данни; 3 възможни сценарии за водопотреблението; 4 възможности за надграждане на стената (в т.ч. и настоящият ѝ вид)

***I. Водопотребление – песимистичен вариант –  $28.016 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ . Експерименти 1-20.***

При този вариант обезпечеността по обем винаги е над 99%, по месеци винаги е над 98%, по години е над 95% с някои изключения. Надграждане на стената на водохранилище „Среченска бара“ до  $V_0 = 17.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  практически ще осигурява необходимата надеждност на водоподаването при приетият песимистичен вариант за него.

***II. Водопотребление – реалистичен вариант –  $29.091 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ . Експерименти 21-40.***

При реалистичен вариант обезпечеността по обем винаги е над 98%, по месеци винаги е над 95.5%, по години варира в широки граници. Надграждане на стената на яз. „Среченска бара“ до  $V_0 = 17.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  ще осигурява необходимата надеждност на водоподаването при приетият „реалистичен“ вариант за него.

***III. Водопотребление – оптимистичен вариант –  $32.267 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ . Експерименти 41-60.***

Обезпечеността по обем е винаги над 96.7% с изключение на случаят без надграждане на стената (95.8%). Обезпечеността по месеци е винаги над 96.6% с изключение на: случаите без надзиждане на стената, както и тези, в които се ползва т.н. критичен период от моделираната редица. При водопотребление т.н. „оптимистичен“ вариант, годишна

обезпеченост от 95%, практически не може да се постигне при нито един от разгледаните варианти на надграждане.

**Общи изводи от водобалансовите изчисления:**

Най-добро компромисно решение за надграждане на стената на яз.”Среченска бара”:

- да се надгради стената до обем  $V_0 = 17.5 - 18 \times 10^6 \text{ m}^3$  и водопотребление от  $30.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$  междинен вариант между „реалистичен” и „оптимистичен”;
- да се положат усилия водопотреблението от язовира да не надхвърля  $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- преустройството на системата да се насочи към ефективното ползване на наличните води и най-вече намаляване на загубите от водопреноса.

Таблица 1. Обобщени резултати от имитационни експерименти при  $V_0 = 18 \times 10^6 \text{ m}^3$

общ обем $V, 10^6 \text{ m}^3$	хидрологи	напълване в началото на	обем на приток $10^6$	потребление $10^6 \text{ m}^3$	дефицит $10^6 \text{ m}^3$	загуби $10^6 \text{ m}^3$	неизползвани води $10^6 \text{ m}^3$	обезпеченост			
								по обем	години	месец	индекс
18	1	12927	51,634	30,000	0,048	1,350	20,46	99,84	97,92	99,65	0,012
18	2	10969	42,863	30,000	0,105	1,282	11,923	99,65	95,45	99,24	0,027
18	3	10352	40,816	30,000	0,136	1,266	9,981	99,55	94,12	99,02	0,035
18	4	12595	49,725	30,000	0,193	1,333	18,62	99,36	93,90	98,50	0,145
18	5	8735	37,587	30,000	0,462	1,175	6,992	98,46	78,00	95,67	0,192

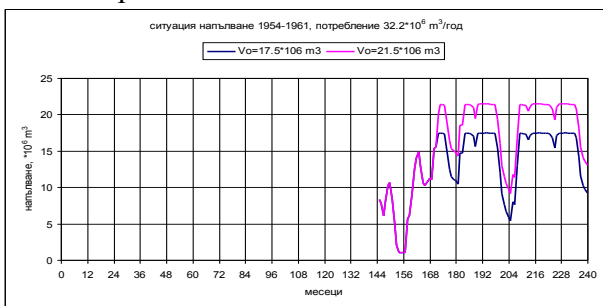
\*1-естествена редица 1954-2001 2- естествена редица 1980-2001 3- естествена редица 1985-2001  
4-моделнирана 1000-годишна редица 5-извадка”критичен период” от 1000-год.моделнирана редица

Изборът на вариант на надграждане: обем  $V_0 = 17.5 - 18 \times 10^6 \text{ m}^3$  и водопотребление от  $30.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$  се обосновава с:

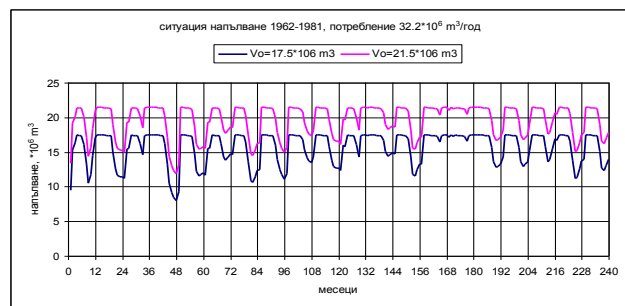
1. По отношение на обема – постига се само с повдигане на нивото с 2 м. в рамките на резерва между кота НВРВН и корона (парапет).
2. По отношение на водопотреблението  $30.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{год}$ . е средна стойност между “реалистичен” и “оптимистичният” варианти.

Увеличението на полезния обем с  $2-2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  ще спомогне за недопускане на възможен дефицит, който се наблюдава при модела веднъж на 10-15, дори 20 години. В останалите години наличният обем ще гарантира висока надеждност на водопотреблението.

На фиг. 3-4 се вижда ясно минималният ефект от по-голямото надграждане на стената на водохранилището.



Фиг. 3. Напълване на водохранилището – съпоставка варианти



Фиг.4. Напълването на водохранилището – съпоставка варианти

**Обобщения и изводи.**

Планирането и управлението на язовирите е фактор за устойчиво развитие на водоснабдяването. Надграждането на язовирните стени е ефективно решение, което повишава регулиращите възможности на язовира и е ефективна алтернатива на скъпо струващи проекти и на уязвими при засушаване водоизточници. Това са мерки, които трябва да се включат в т.нар. стратегическите планове за развитие.

Изборът на вариантно решение при надграждане на язовирни стени изисква анализ на риска. Най-мощният механизъм за оценката на риска за водоснабдителните системи и

язовири е съчетанието на имитационно моделиране и моделиране на случайните процеси чрез метода Монте Карло.

Проведените експерименти при тази постановка дават устойчиви във времето решения, които са актуални и днес.

Проблемът на яз. Среchenска бара остава все още ненапълно решен. На 30.04.2013 г язовирът е пълен на 15,5 млн.м<sup>3</sup> и прелива, а само преди 2 месеца обемът е 3,5 млн.м<sup>3</sup>, Монтана и Враца са на режим.

Залегналите в разработката резултати и препоръчаните решения са валидни до голяма степен и днес. В рамките на проект CC\_WaterS и неговото продължение CC-WARE, колектив на НИМХ оценява климатичните промени и влиянието им върху водоснабдяването (CC\_WaterS Monograph, 2012; Niagolov, I., et al. 2013; Alexandrov, V., V.Spiridonov, 2012). Една от избраните тест-площи е яз. „Среchenска бара”. Актуализираната информация показва, че водопотреблението от язовира 2007 – 2013 г. е в границите  $33,3 \cdot 10^6 \text{m}^3$  -  $30,8 \cdot 10^6 \text{m}^3$

Това означава, че понастоящем се реализира вариант между „реалистичен сценарий” и „оптимистичен”, залегнал в препоръчаното решение. Анализирани в разработката на НИМХ варианти включват и такъв с намаляване на 25% загубите в мрежата. Системата все още е в риск за водоснабдяването. Усилията са към намаляване водотнемането от язовира.

Вече се инвестира във водния цикъл на Враца. При тези обстоятелства увеличение на обема на язовира с 2 млн.м.куб. в рамките на резерва между кота НВРВН и корона (парапет) е едно добро решение. Опасност от преливане няма - пълненето е от управляем източник. Нужно е да се анализира уязвимостта на водните ресурси в района, вкл. климатичните фактори и водопотреблението (което се случва в рамките на проекта CC-WARE) и да се преоценят регулиращите възможности на язовира (Няголов И., и кол. 2013г).

### Литература

1. Балабанова Сн., 2010, Дисертационен труд: Оперативно хидроложко моделиране на речния отток и ресурсни оценки с приложение на ГИС
2. Водностопански баланс на яз. "Среchenска бара" със и без надграждане на язовирната стена”, по договор с МРРБ, 2002г
3. Йорданова А., 2005, Приложение на ARMA моделите за прогнозиране на речния отток, Водни проблеми, кн.35
4. 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, 2012
5. Методика за съставяне на водностопански баланси на речни басейни, Договор с МОСВ, 2004 г.
6. Методика за разпределение водите на язовирите, по договор с МОСВ, 2004
7. Няголов, И., Модел и изследвания за избиране на рационално управление на сложни водностопански системи при стохастична и многокритериална постановка, сп.Водни проблеми, кн.28, БАН, 1996г.
8. Няголов, И., И.Илчева, А.Йорданова, Д.Георгиева, 2013, Управление на водностопанската система на Дунавските притоци при екстремни условия, ден на р.Дунав, София, 28 юни 2013
9. Няголов, И., И.Илчева, А.Йорданова, 2013, Водоснабдителните язовири в условията на климатични промени, Научна конференция, "Язовирното строителство – фактор за устойчивото развитие на водния сектор", УАСГ, София, 8 ноември, 2013
10. CC\_WaterS Monograph, 2012, Climate Change and Impacts on Water Supply, Editor Roland Koeck.