

ESTIMATING RESILIENCE FOR WATER RESOURCES SYSTEMS

Abstract: This report reviews existing approaches to consider and express system resilience, and discusses possible directions of quantifying and maintaining resilience of water resource systems. Because of the dynamic and evolving nature of water resource systems, consideration of uncertainty and associated information are essential for better understanding and proper management of such systems' resilience. This report gives a brief overview of the existing uncertainty theories which could potentially be applied to the modelling and resilience assessment of water resource systems. The water resource systems of Tundzha River is used to illustrate the concept of resilience in practice.

Author information:

Donka Shopova

Assistant

Atmospheric, Climate and Water Research Institute – BAS

✉ dshopova@gmail.com

🌐 Bulgaria

Keywords:

resilience, water resource systems

1. Въведение

Използването на водните ресурси се извършва чрез водностопански системи (ВС), които представляват съвкупност от водоизточници, съоръжения за отнемане, съхраняване, транспортиране, разпределяне на води, за използване на водната енергия и водопотребители (водоползватели) [12]. В процеса на тяхното функциониране те са подложени на различни въздействия, които влияят както на капацитета, така и на елементите им. Промени се случват при водоизточниците, при съоръженията и при водопотребителите. Заплахи като изменението на климата и промените вземеползването представляват предизвикателства за управлението на ВС. Настоящата практика има за цел да предостави надеждна услуга, въпреки това става все по-очевидно, че фокусирането само върху надеждността е недостатъчно. Когато се появят неизбежни повреди в работата на системата, е важно тяхното въздействие да бъде сведено до минимум, възстановяването да е бързо, а функционалността да се поддържа в дългосрочен план, като се отчитат последствията за обществото, икономиката и околната среда. При анализ рискът от провал във функционирането ВС, обикновено те се класифицират в две категории - поправими или невъзстановими. Невъзстановимите ВС се описват от тези хидравлични съоръжения, които имат сериозна повреда в конструкцията. След като възникне такава структурна повреда, тези съоръжения не могат лесно да бъдат възстановени във функционално състояние и в практически смисъл отказът се счита за постоянен. В ремонтируемите системи основният режим на повреда е отказ от експлоатационни характеристики, като например в случай на нарушения на качеството на водата, събития от суша или наводнение или недостиг на водоснабдяване. Такава ВС може да се върне във функционално състояние, тъй като природните условия на системата, хидрологични или метеорологични, следват естествения цикъл. Способността за възстановяване на системата от повреда до функционално състояние е важно значение при планирането, проектирането и поддръжката ВС. По принцип този капацитет може да се измери чрез еластичност.

2. Измерване еластичността на ВС

Опитът за количествено определяне на такава широка и разнообразна концепция е труден, измерването на еластичността е необходимо, за да се придадат приоритет на стратегиите за управление на водите, чрез повишаване на еластичността на ВС.

2.1 Разбиране на еластичността

Концепция за еластичност първоначално е разработена в екологичната наука и показва способността на системата да съществува в условията на форсиращи фактори [2, 9]. Екологична система може да абсорбира определени форсиращи фактори и да оцелее и след това да продължи да функционира. Концепцията е използвана и във водостопанската практика като мярка за капацитета за възстановяване на системата. Концепции и дефиниции за еластичност на ВС са обсъждани от редица автори. Hashimoto et al. [7] определи еластичността на ВС като способност за бързо възстановяване от повреда в системата. Butler et al. [1] описва способността на системата да минимизира последствията и продължителността на отказ на услугата при нарушени условия. Mehran [11] описва еластичността като способността на водостопанските системи да претърпят неочаквани смущения и да поддържат своите основни показатели. Herrera et al. [8] разглежда еластичността като способност на системата да поддържа своята работа при нарушен проектен режим в някои компоненти или необичайно състояние.

Еластичността е свойство на системата [11], която е съставена от взаимодействащи части работещи заедно за постигане на определена цел. Еластичността се използва за описание на работата на системата, а не на отделните ѝ компоненти. Вместо просто да измерва производителността на един компонент, еластичността измерва състоянието на цялата система.

2.2 Подходи за измерване на еластичността

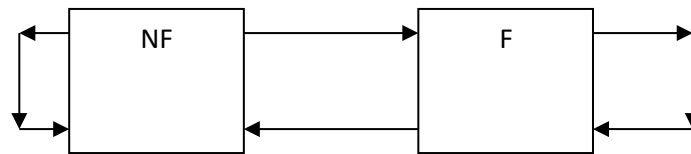
В прегледаната литература се препоръчва всеки подход за измерване на еластичността да адресира множество опасности, да бъде адаптиран към нуждите на конкретни общности и опасностите, с които се сблъскват, и да може да се справи с множество измерения на еластичността. В допълнение се препоръчва да се изгради оценъчна система на еластичност както на качествена, така и на количествена информация, която, измерва способността на критичната инфраструктура да се възстановява бързо от бедствия. Много подходи в литературата използват подобно качествено оценяване, чрез показатели или индекси за оценка на еластичността [4, 6]. Предимството на тези подходи е, че могат да се комбинират различни видове информация, обаче са субективни и не могат да уловят динамичния характер на връзките присъщи на системите. Алтернативен подход е използването на системи за моделиране, които директно симулират опасностите и тяхното въздействие върху системите. В настоящото изследване са използвани и двата подхода.

2.2.1 Индекс за измерване на еластичността

Реалното функциониране на ВС е често пъти незадоволително в сравнение с предвижданото по проект и има вероятностен характер поради изменчивостта на водопотреблението и хидроложките условия. Обикновено тази неопределеност се отчита чрез средната стойност и вариацията на ползите, на концентрациите на замърсителите (напр. концентрацията на разтворен кислород в реката при работа на пречиствателна станция за отпадъчни води) или на някакви експлоатационни променливи показващи прекъсването в работата.

Множеството от възможни (изходни състояния на системата) решения може да се раздели на две множества: NF – задоволителни решения и F – незадоволителни решения (прекъсване). Във всеки един дискретен интервал от време системата ще бъде в едно от тези състояния.

Характеристиките на период на прекъсване работата на ВС, се описват на основата на предположението, че разглежданата система в даден момент t може да бъде или в задоволително състояние NF или в незадоволително състояние F (фигура 1). Състоянието на NF се случва, когато водоснабдяването е в състояние да отговори водопотреблението, а оттам и състоянието F е, когато водоснабдяването не може да се отговори на нуждите. В това изследване се разглеждат само незадоволителни стойности поради недостиг на вода. Преминаването от време стъпка t до $t+1$, системата може или да остане в същото състояние или да премине към друго състояние.



Фигура 1. Състояния на системата

Еластичността е мярка за това колко бързо системата ще се върне в задоволително състояние, след като е била в нежелано състояние. В [3] се предлагат единадесет различни оценки на еластичност, но най-оперативното предложение идва [7], където еластичност Res се дефинира като условна вероятност

$$Res = P\{S(t+1) \in NF \mid S(t) \in F\} \quad (1)$$

където $S(t)$ е променливата на състоянието на системата, която е в процес на разглеждане в момент t и термините F е незадоволително състояние, и NF се задоволително състояние.

Математически изразена еластичността Res е равна на реципрочната стойност на средната стойност на времето, което системата прекарва в незадоволително състояние, т.е:

$$Res = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \quad (2)$$

където отново $d(j)$ е продължителността на събитието с недостиг, а M е общият брой на събитията с недостиг.

Индексът на еластичност варира от 0 до 1 (0-100%). Счита се, че колкото по-голяма е неговата стойност, толкова по-еластична е ВС, т.е. тя има по-големи способности за връщане към нормален режим на работа.

2.2.2 Подход за системно моделиране

Друг подход за измерване на еластичността е използването на системи за моделиране за изчисляване на въздействието на опасностите върху конкретни системи. Моделирането на системи улавя динамичните връзки между частите на системата и помага да се разкрият непредвидени ефекти от действията в една част на системата върху други части. Такъв подход позволява да се изследват връзките между компонентите на системата и промените в системата поради вътрешни или външни сили. Системното моделиране може да демонстрира взаимодействията, страничните ефекти и неочакваните последици от действията, предназначени да повишат еластичността на системата [5].

Този подход има потенциал да бъде по-строг от качествените подходи чрез индекси, да разкрие по-голяма представа за сложните взаимосвързани части на системата и да оцени по-добре ползите и недостатъците на действията, предназначени да повишат еластичността.

В тази разработка се използва имитационно-оптимизационния модел SIMYL [15]. Имитационно-оптимизационната програма SIMYL е математическо представяне на речния басейн, обхващащ конфигурацията на главната река и нейните притоци, хидрологията на басейна във времето и пространството, както и съществуващата схема и отразеното в нея разнообразно водопотребление. Моделът е структуриран като мрежов модел, в който реките и техните притоци са представени чрез дъги и възли. Дъгите представляват отделни участъци от потока като канали, реки, тръбопроводи и др., докато възлите представляват местата където се сливат реки; места, където се извършват най-общо водни дейности или се места от където се изисква изход от модела.

Моделира се водоразпределението в рамките на цялото поречие при водоползване по съответния вариант (алтернатива, сценарий) и се определя съотношението между подадената и поискана вода за всеки водоползвател. Чрез симулиране работата на ВС може да се направи преценка за това как ще изглежда задоволяването на водоползването при различни промени както по отношение на ресурсите, така и по отношение динамиката на водопотреблението, включително и възможността за осигуряване на екологичен отток. В допълнение, моделът е съчетан с други външни приложения като EXCEL за детайлно получаване на еластичността на

ВС. С други думи крайната оценка еластичността на ВС е резултат от съчетаване на двата подхода споменати по-горе.

3. Експериментални изследвания

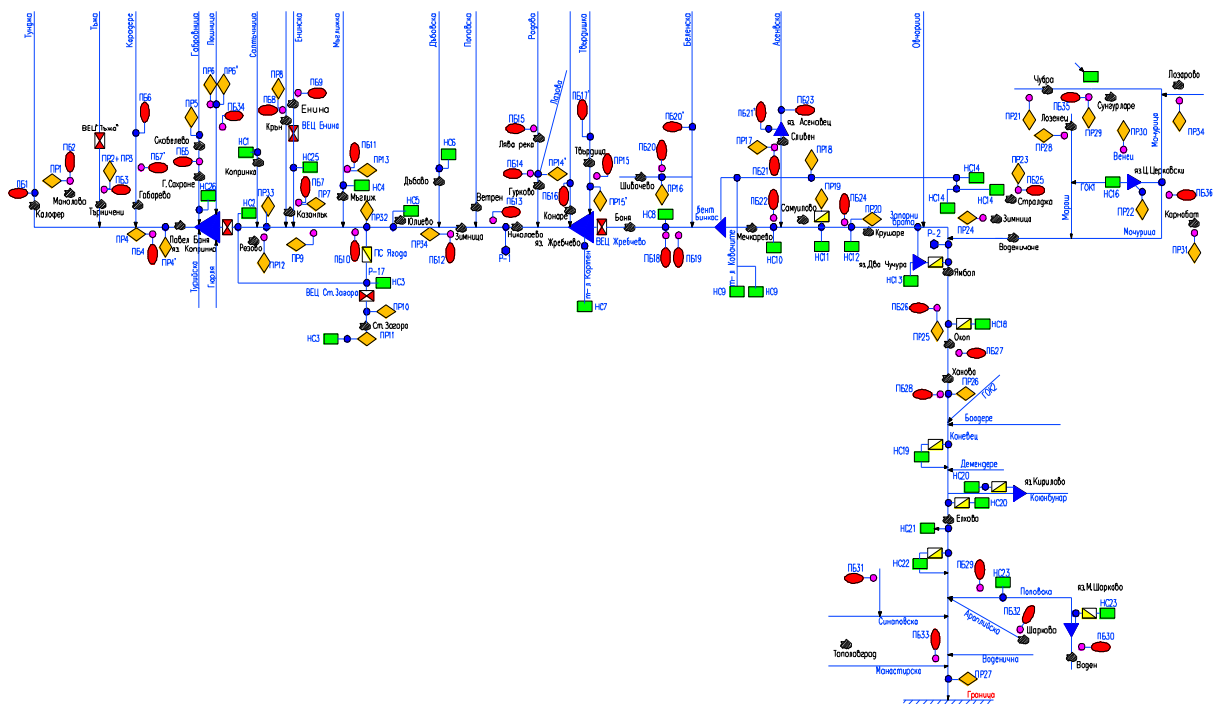
С помощта на имитационния модел SIMYL са проведени експериментални изследвания за приложение на подходите за оценка еластичността на реална ВС. За целта е избран сравнително добре изучен басейн на река Тунджа, обект на редица разработки [13, 14].

За извършване на изчисленията е необходима подготовка на значителен обем входна информация съобразно изискванията на модела, включваща данни за оттока, данни за водопотреблението, информация за водохранилищата и експлоатационните характеристики на системата при възприети допускания и опростявания. Разпределението на водите между водопотребителите и водоползвателите се извършва въз основа на заложените в програмата приоритети, съгласувани съгласно Закона за водите (чл.50).

По отношение на повърхностният отток са използвани 50-годишни редици на месечния ненарушен отток за периода 1961-2010г., а за определяне на подземния ресурс – данни от разрешителните за локалните експлоатационни ресурси.

Изчислителната схема на избраната ВС е разработвана [13, 14, 16] е показан на фиг. 2. На нея са изобразени идентифицираните посекторни водопотребители, както следва: 24 водопотребителя за напояване, 40 за питейно-битови нужди, за промишлеността са обособени в 32 потребители, 5 рибарника и 8 водноелектрически централи.

При моделирането на басейна са предвидени осем створа за екологичното водно количество (основно след язовирите Копринка, Жребчево, Асеновец, Ц.Церковски, Малко Шарково, бент Бинкос и р.Тунджа при гр.Ямбол) изчислено съгласно Заповед № 1383/18.11.2003г. на МОСВ.



Направени са изследвания на функционирането на ВС и нейните възможности при намаляване на оттока и увеличаване на напояването в различна степен. Разработени са редица варианти като съчетания между увеличено напояване и намален отток. С моделът са извършени имитационни експерименти за наблюдаваният 50-годишен период (1961-2010г.) за показаните в табл. 1 варианти, наименовани с букви от латинската азбука.

Таблица 1. Варианти на имитационните експерименти

увеличаване на напопяването с	намаление на оттока с				
	0%	5%	10%	15%	20%
0%	базов	A	B	C	D
5%	F	G	H	I	J
10%	K	L	M	N	O
15%	P	Q	R	S	T
20%	U	V	W	X	Z

Симулацията на работата на системата за даден сценарий обикновено означава предписване на набор от промени за постигане на системни цели, изготвяне на хидроложки редици от данни и пускане на модела за симулация на речния басейн. Моделът е инструктиран да записва и изчислява стойностите на определени показатели (оценки), като надеждност и индекс на надеждност, дефицити и др. Последващата пост-обработката на “продукцията на модела” може да предостави информация относно оценките на еластичността. Повторните симулации за различни сценарии за управление обаче могат значително да увеличат, респ. намалят стойността на оценките на еластичността, като по този начин се създава рамка за анализ и разпознаване на най-добрия или най-желания сценарий.

4. Анализ и резултати на експерименталните изследвания

Еластичността трябва да се разглежда като показател, който оценява гъвкавостта на политиките за управление на водите (сценариите), адаптирани към променящи се условия. За изчисляването на еластичността на ВС е използвана формула 2, а числовите резултатите на индекса на еластичност са дадени в следните таблици (2-5).

Таблица 2. Стойности на индекса на еластичност сектор ПБВ

Средна стойност на еластичността Сектор Питейно Битово Водоснабдяване за базов вариант и варианти А-Z					
увел.напопяване	намаление на оттока с				
	0%	5%	10%	15%	20%
0%	40.99	39.28	37.42	36.14	37.66
5%	44.18	41.49	34.89	35.69	38.8
10%	42.93	37.67	34.62	37.54	37.44
15%	39.79	35.7	33.98	38.76	39.46
20%	37.37	36.61	34.93	38.94	39.28

Анализът на получените резултати на индекса на еластичност по отношение на сектор за питейно-битово водоснабдяване сочат, че ВС не е с висока еластичност, макар че по закон ПБВ е с висока нормативна обезпеченост (95%). Тук трябва да се отчетат няколко фактора. Единият от тях е, че резултатите са осреднени за водопотребители от повърхностни и подземни водоземания. При поява на събития от екстремн характер, например при засушаване водоизточниците от повърхностни води могат да пресъхнат и системата да спре да функционира. Другият фактор е, че питейно-битовото водоснабдяване не се влияе пряко от увеличаване нуждите за напопяване.

Таблица 3. Стойности на индекса на еластичност сектор промишленост

Средна стойност на на еластичността за Сектор Промисленост за базов вариант и варианти A-Z					
увел.напояване	намаление на оттока с				
	0%	5%	10%	15%	20%
0%	43.13	39.28	33.26	37.98	39.44
5%	49.94	40.23	32.97	36.9	40
10%	44.52	33.71	32.28	37.1	37.56
15%	39	31.57	31.45	39.11	40.27
20%	35.81	32.28	35.55	39.71	39.28

Таблица 4. Стойности на индекса на еластичност сектор напояване

Средна стойност на на еластичността за за сектор Напояване за базов вариант и варианти A-Z					
увел.напояване	намаление на оттока с				
	0%	5%	10%	15%	20%
0%	44.75	39.18	37.01	35.12	40.28
5%	41.14	44.39	37.21	37.3	39.88
10%	46.1	37	35.03	38.53	36.8
15%	36.94	37	39.06	39.4	39.89
20%	36.47	35	37.87	38.81	39.18

За някои варианти индексът на еластичност за сектор промишленост достига възможно най-ниските изчислени стойности, повлияни както от намалението на оттока, така и увеличаване на напояването в разглежданата ВС. При резултатите за сектор напояване показват, че не е възможно да се отчете някаква тенденция за повишена или намалена способност на работата на системата. Тези резултати дават насока за нови изследвания в търсене на праг на реакция на системата.

Таблица 5. Стойности на индекса на еластичност сектор екологично водно количество

Средна стойност на на еластичността Екологично водно количество за базов вариант и варианти A-Z					
увел.напояване	намаление на оттока с				
	0%	5%	10%	15%	20%
0%	70.87	47.79	45.58	43.25	39.22
5%	70.87	54.79	45.58	38.25	40.65
10%	58.96	46	45.58	37.98	46.01
15%	46.46	46	40.58	37.63	49.58
20%	46	46	41.11	44.41	47.79

Резултатите от таблица 5 показват най-високите стойности на индекса, т.е. ВС най-чувствително реагира при сектор екологично водно количество, което се обяснява с регулиращите възможности на язовирите във ВС.

Като най-общо казано целите на едно устойчиво управление е да се осигури добро екологично състояние на повърхностни води и неизтощаване на подземни води при оптимално (съгласно нормите) задоволяване нуждите на населението и икономиката от вода. Постигането

на добър екологичен статус в т.нар. регулирани участъци също изисква запазване на екологичния отток при рационалното разпределение на водите на язовира.

5. Заключение

Настоящото изследване подчертава необходимостта от практически инструменти за цялостен анализ на социално-икономически дейности в рамките на речния басейн. То е част от научен проект за разработване на методи за оценка на степента на устойчивост на ВС в условията на антропогенното и климатично влияние върху тях и тяхното рационално управление. Ако доскоро тяхното основно предназначение беше да нагаждат неравномерния по време режим на оттока към изискванията на водопотреблението посредством регулиращите си възможности и осигуряване на икономически ефект, днес към тях се предявяват изисквания за изпълнение на нови функции като опазване на водните екосистеми и околната среда, равенство и справедливост при разпределение на водата на горе и долуразположените водопотребители, оценка на разполагаемия воден ресурс в отделни участъци на речното легло, подобряване качеството на водите и др. Тези нови функции променят предназначението на ВС. Доскоро бяха разглеждани само като инженерно-технически съоръжения и инструмент единствено за задоволяване на водопотреблението. Днес в научноизследователската дейност те се разглеждат като природно-технически системи и като средство за влияние върху живата и нежива природа. Това води до решаването на нови задачи в областта на устойчивото развитие на водните ресурси.

В по-голямата си част нашите ВС са проектирани преди 30-50 години и често техните проектни параметри не съответстват на настъпилите изменения във водното стопанство особено след преминаването на страната ни от планова към пазарна икономика – редукция на напоителните площи, отпадане на промишлени предприятия, демографски промени, наплив на хора към големите градове и обезлюдяване на селски райони), изграждане на МВЕЦ по реките, изменения във водностопанската инфраструктура и др. Затова е необходимо извършването на преоценка на регулиращите възможности на язовирите във ВС. Задължителното изискване за осигуряване на минимален отток в реките като първи приоритет променя правилата на управление на язовирите. За смекчаване на негативните въздействия се налага предвидливо, рационално, дългосрочно управление на ВС.

Отчитайки сложността на ВС, техният вероятностен, динамичен и мултифункционален характер, следва да се отбележи, че управлението на ВС е един сложен процес, чиято трудност на решение е невъзможността за даването на добра дългосрочна прогноза не само за речния отток, но и за природните въздействия, които са също така стохастични процеси.

References:

1. Butler, D.; Farmani, R.; Fu, G.; Ward, S.; Diao, K.; Astaraie-Imani, M. A new approach to urban water management: Safe and sure. *Procedia Eng.* 2014, pp. 347–354.
2. Fiering, M. B. The role of systems analysis in water program development, *Nat. Resour. J.*, 16, 1976, pp. 759–771.
3. Fiering, M. B. Alternative indices of resilience. *Water Resources Research*, 18(2), 1982, pp. 33–39.
4. Fiksel J. Sustainability and Resilience: toward a systems approach. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*. Volume 2 (2), 2006, pp.14-21
5. Fiksel J, Goodman I, Hecht A. Resilience: Navigating a Sustainable Future. *Solutions*, Vol. 5, Issue 5, 2014
6. Fisher RE et al. (2010) Constructing a Resilience Index for the Enhanced Critical Infrastructure Recovery Program. Lemont, IL: Argonne National Laboratory. ANL/DIS-10-9, 2010
7. Hashimoto, T.; Stedinger, J.R.; Loucks, D.P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resour. Res.* 1982, 18, pp.14–20
8. Herrera, M.; Abraham, E.; Stoianov, I. Graph-theoretic surrogate measures for analyzing the resilience of water distribution networks. *Procedia Eng.* 2015, pp. 1241–1248.
9. Holling, C. S. Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4 1973, pp. 1-23

10. Mehran, A.; Mazdidasni, O.; AghaKouchak, A. A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2015, pp. 7520–7533
11. Resilience Alliance. *Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners*. Version 2.0, 2010
12. Zakon za vodite
13. Proekt “Generalni shemi za izpolzване na vodite v rayonite za baseynovo upravlenie”, 2000, IVP-BAN
14. Proekt „Izpolzване na vodite i vodnostopanski balans na porechie Tundzha“ 2006, BAN-IVP po dogovor s MOSV
15. Nyagolov, I., 1999 Sredstvo za izsledване na vodnostopanskite sistemi, Doklad ot Yubileyna nauchna konferentsiya na UASG, 1999
16. Kolcheva, K. Metodicheski izsledvaniya za razrabotване na razreshitelen rezhim na vodopolzване, Disertatsiya, 2012