Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology

Национален институт по метеорология и хидрология

National Institute of Meteorology and Hydrology

Bul. J. Meteo & Hydro 30/1 (2026)

Real-time reservoirs water allocation management

Ohanes Santourdjian*

National Institute of Meteorology and Hydrology
Tzarigradsko shosse 66, 1784, Sofia, Bulgaria

Abstract: In the normal case the reservoirs volume, as well as the regulated size of the inflow, are not sufficient to provide all water users with 100% reliability. Periods of low inflow lead to the lake being emptied and as consequence to water shortage to meet their needs. In the case of multi-purpose reservoirs, the different types of water users ought to be provided with different reliability. The latter is related to their vital importance, also reflected in the Water Act of the RB, and determines the order of their priorities. They must be taken into account in reservoirs water allocation during periods of water shortage, which means that the water use from them should be ruled.

In 2012, ordered by the Ministry of Environment and Water, an original engineering methodology for dam water management was developed at the NIMH, which in 2022 was supplemented with many practical examples and completed under the name "Methodology for dams water allocation and use of their water resources". It comprehensively examines the problems of reservoirs water management, including their retention role of flood inflow and includes software for computing their water balance under different management options. The main tool for this is the division of their operation volume into water users' zones according to their priorities, with the lowest zone being for the water user with the highest priority. The volumes of the zones guaranteeing the users necessary reliability are determined by simulating the reservoirs monthly water balance with historical inflow data and the users' consumption outflow over a multi-year period. The boundary lines between the zones in the annual period are called rule curves. When the reservoir filling is in a given zone water is supplied to the user of the zone and to all other users with a higher priority.

As an example illustrated is the definition of the management rules for the "Ticha" Dam, with 311.10^6 m^3 on the Golyama Kamchia River in Bulgaria and three significant water users with different priorities - drinking and domestic water supply, irrigation and electricity generation.

Keywords: reservoirs water allocation, priority zoning, rule curves

* * santurdjian@yahoo.com

Accepted for Publication

Управление на водоползването от язовирите в реално време

Оханес Сантурджиян

Национален институт по метеорология и хидрология
Цариградско шосе 66, 1784, София, България

Резюме: В нормалния случай обемът на язовирите, както и регулирания размер на притока не са достатъчни да осигурят 100% обезпеченост на всички водоползватели. Периоди на нисък приток довеждат язовира до изпразване и воден недостиг за задоволяване на нуждите им. При многоцелеви язовири различните видове водоползване трябва да се обезпечат в различна степен. Последната е свързана с жизнената им важност, отразена и в Закона за водите на Република България (ЗВ на РБ), което определя реда на техните приоритети. Разпределението на водоподаването от язовирите трябва да се управлява и съобразява с тези приоритети, особено в периоди на воден недостиг.

През 2012 г., по поръчка на МОСВ, в НИМХ беше разработена оригинална инженерна методика за управление на водите на язовирите, която в последствие беше допълнена с много практически примери и завършена под наименованието "Методика за разпределение на водите на язовирите и използване на водните им ресурси". Тя разглежда цялостно проблемите на управление на водите на язовирите, включително и ретензионната им роля за задържане на високи води и включва софтуер за моделиране на водния им баланс по месеци при различни опции на управление. Основният инструмент за това е разделяне на полезния обем на зони на водоползване съобразно приоритетите им, като най-ниската зона е за водоползвателя с най-висок приоритет. Обемите на зоните, осигуряващи необходимата обезпеченост, се определят чрез изчисление на баланса на язовира през многогодишен период с дължина съобразно вида на водоползването или наличните данни за притока. Граничните линии между зоните в годишен период са наречени криви на управление. При напълване в дадена зона се подава вода на водоползвателя на зоната и на всички други с по-висок от неговия приоритет.

Като пример е илюстрирано определянето на правилата за управление на язовир „Тича" с обем от 311.10^6 m^3 на река Голяма Камчия в България и три значителни водопотребители с различни приоритети - питейно-битово водоснабдяване на градовете Шумен, Търговище, Велики Преслав и селища, напояване и производство на електроенергия.

Ключови думи: разпределение на водата в язовирите, зониране по приоритети, криви на управление

Accepted for publication

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При географско-климатичните условия на страни в умерения климатичен пояс и с равнинно - планински характер, каквато е България, основно предназначение на язовирите в даден речен пункт на водовземане е регулиране на сезонната и многогодишната вариация на притока във времето и привеждането му към режима на водовземане за различните водоползватели от него.

Язовирите в нашата страна в преобладаващия случай се използват за напояване, водоснабдяване за питейно-битови и промишлени цели и за производство на електроенергия. Те трябва да осигуряват екологичен отток в речното корито съгласно изискванията на ЗВ и, в повечето случаи, да предпазват от наводнения чрез пълно или частично задържане на високи вълни (ВВ) при проливни дъждове. В съответствие с годишния обем на притока в язовира се определя полезния обем на водохранилището и към него се добавя свободния обем за задържане на излишните води при пълноводие, ако такъв е предвиден. Въз основа на тези оценки трябва да се проектира и определя големината на язовира, или при вече построен такъв, се определят размера на водоползването и свободния обем.

В нормалния случай обемът на водохранилището не е в състояние да осигури 100% обезпеченост на всички водоползватели. Дори да има само един водоползвател плюс водите за оводняване на речното корито, може да настъпят периоди на много нисък приток, които могат да доведат до воден недостиг. Това е още по-вярно при многоцелеви язовири, при които различните видове водоползване трябва да се обезпечат в различна степен съобразно реда на техните приоритети, свързани с жизнената им важност, отразена и в Закона за водите на РБ. Тези приоритети трябва да се съобразяват при разпределяне на водите от язовирите в периоди на воден дефицит, което означава, че водоподаването от тях трябва да се управлява.

Управлението на водите на язовирите е проблем, дискутиран отдавна в световната литература. Голяма част от предложените решения са обект предимно на научни разработки, използващи оптимизационни методи за търсене на минимални или максимални стойности на величини, като загуби или произведена продукция и др., получени при експлоатацията на язовира в достатъчно дълъг многогодишен период (Fi-John Chang et al., 2016; Song-Ching Lin et al., 2005). В практиката, за реално управление на големи язовири се използват методи, които имат доста специфичен за конкретните случаи характер. При всички тях основна роля има отчитането на спецификата на притока и неговите стохастични или системно проявявани характеристики. Важно значение имат и типът, броят и взаимоотношенията между водоползвателите и собственика на водохранилището.

От прегледа на някои от подходите, използвани за решаване на въпроса описани в литературата (Barbagallo et al., 2006; Mohanan et al., 2020), а и на такива изпробвани у нас, се налага извода, че решенията и основаните върху тях правила за управление на язовирите в реално време нямат голяма степен на общност. Подходите трябва да удовлетворяват в голяма степен специфични за страната изисквания за приложната им целесъобразност, както и да съответстват на

Accepted for publication

размерите и вида на регулиране, на характера и степента на вариацията на притока в тях, на видовете водоползване, законовото регулиране на приоритетите, начина на управление, администативения контрол и т.н. Правилата трябва да са достатъчно опростени, разбираеми и лесни за прилагане, позволяващи текущ контрол над резултата от управленските решения.

Необходимостта от поставяне на управлението на водоподаването от язовирите под централизиран контрол и обосновка чрез научно разработени количествени оценки се появи и стана особено актуален в условията на осезателни климатични промени и екстремни явления – засушаване и наводнения след 80-те години на 20 век. Най-драстичният пример за липса на управление и вследствие на това достигане до остра водна криза у нас беше изпразването на язовир "Искър" през 1994 г. (Сантурджиян и др., 2014). Изключително водната 1995 г. спаси София от неописуема катастрофа с водоснабдяването. Това събитие фокусира вниманието на управляващите водите органи на държавата върху управлението на язовирите за питейно-битово водоползване. След приемането на Закона за водите (ЗВ) през 2000 г. и въвеждането от 2003 г. на ежемесечно определяне от МОСВ на лимити за източване от всички 52 значими язовири от списъка към Приложение 1 на ЗВ, се установи централизиран контрол над водите им.

Оттогава управлението на водите на тези язовири чрез месечни лимити се извършва въз основа на ориентировъчна преценка по наличното напълване на язовира и прогнозен размер на очаквания приток. Изключение правят 13 броя язовири, за които от 2018 г. досега от НИМХ за изготвени правила за управление. Трябва да се отбележи, че целесъобразното източване на язовирите при повече водоползватели и при условия на дефицит при ниски нива на пълнене, без теоретично обосновани и количествено оценени правила остава ненадеждно. Затова по обществена поръчка на МОСВ през 2012 г. в НИМХ беше разработена оригинална инженерна методика за управление на водите на язовирите, която през 2022 г. по искане от МОСВ беше допълнена и доразвита с добавени практически примери под названието "Методика за разпределение на водите на язовирите и използване на водните им ресурси". По-нататък в текста тя ще се адресира просто като "методиката".

2. ОБХВАТ И ЦЕЛИ НА МЕТОДИКАТА. ОСНОВНИ ПРИНЦИПНИ ПРИЕМАНИЯ.

Целта на методиката е да опише подробно, в практически приложим вид, същността и начините за оценка и определяне на обемите в язовирите, необходими за регулиране на притока за задоволяване на актуалните питейно-битови нужди на селищата, промишлеността, селското стопанство, енергетиката и др. В нея са описани методите за оценка на екстремен приток (висока вълна) с избрана годишна повторяемост и необходимите ретензионни обеми. Описани са начините за управление на източването на язовира с отчитане на приоритетите на

Асоциация ВиК

всеки водоползвател, поддържането на постоянни и променливи във времето свободни обеми за поемане на висока вълна. Определена е степента на напълване, при която може да настъпи воден недостиг за един или повече от водоползвателите по значимост. Предлаганата методика има евристично-инженерен характер и съответства на ЗВ на РБ и практиката на водното стопанство на страната.

Повечето от язовирите у нас са многоцелеви. Водите им се използват едновременно за питейно-битово и промишлено водоснабдяване, за напояване, за поддържане на речната екосистема и др. В повечето случаи има подязовирна ВЕЦ на подчинен на другите водоползвания режим, която обикновено има възможност и капацитет да работи и на независим режим, като изпълнява ретензионна роля при ВВ. Водоползването използва само част от средния приток в язовира, което означава преливане и загуба на вода, ако неизползваната част от него не се използва от ВЕЦ. Енергийните язовири, повечето от тях стъпала от каскади, имат по-специален режим на използване. При много от тях има и друг вид водоползване, но е незначително по обем. Методиката включва и тяхното управление.

Целесъобразното управление в реално време на водите от такива язовири означава основно извършването на следните оперативни дейности и оценки.

- Поддържане на постоянно свободен ретензионен обем или временно освобождаване на обеми за цялостно или частично задържане на ВВ с приета честота на повторение, най-често от 20 до 100 години (обезпеченост 5% до 1%);
- Ограничаване на водоподаването съобразно приоритетите на различните водоползватели при недостатъчно напълване на язовира;
- Определяне на напълването, над което ВЕЦ-ът може да работи на свободен режим за използване на превишаващия нуждите приток;
- Определяне на минималното напълване на язовира, слизането под което означава риск от воден дефицит за основния водоползвател, или за такъв с по-нисък приоритет, изискващо въвеждане на режими на икономии до излизането от зоната.

Тяхната реализация има нужда от правила за източването на язовира, съставянето на които изисква извършването на различни и не съвсем прости изчисления при наличие на актуални хидроложки данни и такива за водоползването. При липса на такива правила управлението на водите на язовир е задача с много неизвестни, водещи често до противоречия и водни кризи.

За преодоляването на трудностите при извършването на тези оценки и изследвания беше създадена и доразвита споменатата по-горе методика, включваща софтуер на Fortran 77 наречена RESERVOIR1. В нея са застъпени две основни концепции – (1) спазване на приоритетите според Чл. 50, т. 4 от ЗВ при разпределението на водите на язовира чрез зониране на напълването му в границите на полезния обем и (2) определяне на обемите на зоните, съответстващи на актуалното водоползване и данните за актуалния приток чрез теорията на регулиране на оттока с приложение на РС.

Accepted for publication

С приетата концепция за зониране на полезния обем на язовира става възможно контролиране на разпределението на водите му в реално време за задоволяване на нуждите на различните водоползватели според законно установените или приети в специфичния случай приоритети. Идеята за зониране на пълненето на язовира с цел управление на разпределението на водите му не е новост, но в тази методика напълно оригинални са начините на тяхното използване, методите за определяне на обемите им и на кривите на управление.

Броят на зоните зависи от броя на групите водоползватели с различен приоритет според ЗВ или органите управляващи язовира. Те са отделени помежду си чрез така наречените криви на управление, като смисълът е водоползването с по-висок приоритет да бъде обезпечавано при ниско напълване на язовира, както и да се изпускат води за освобождаване на обеми при напълване над необходимото за обезпечаване на нуждите.

Най-ниската зона (най-ниското пълнене на язовира) е предназначена за водоползвателя с най-висок приоритет. При нашите язовири в преобладаващите случаи съществени водоползватели, за които са необходими значителни регулиращи обеми и се налага зониране по реда на приоритетите са: питейно-битовото водоснабдяване (ПБВ) и поддържане на речната екосистема, напояването (НВ), промишленото водоснабдяване (ПВ) и електропроизводството (ЕВ). Като правило, за водоползването с най-висок приоритет е необходима най-висока обезпеченост, но при наличие на достатъчно обем в язовира е възможно да се осигури еднаква обезпеченост (близо до 100%) и за по-нископриоритетния водоползвател. В такъв случай за тях може да се определи обща зона. Зони се определят и за освобождаване на обеми и за въвеждане на режими за икономия на вода.

Зоните помагат при определянето на месечните лимити за източване от язовира. Наличието на напълването му в дадена зона означава източване по съответстващо на зоната правило без необходимост за реален прогнозен приток. Такъв, ако има, може да се използва основно при гранични случаи, преди всичко при изпразнен язовир или при високи нива и очакван екстремен приток. Методиката за определяне на обема на зоните, съответно кривите на управление, използва данните за притока в непосредствено изминал достатъчно дълъг период, като аналог на този, който се очаква в бъдещ такъв. Тези данни имат стохастичен характер. Реализацията на притока в бъдещия период на използване на язовира няма да съвпада с тази на притока аналог. Това въвежда елемент на несигурност в получените оценки за обема на зоните. Независимо от това методът е най-сигурния възможен ориентир при определяне на източването от язовира. Важен елемент на метода е месечното определяне на лимитите и възможността за корекция през следващия месец.

Оценките и правилата се изготвят за актуалното водоползване и приток. Корекция на зоните и правилата може да се прави през 5-10 годишен период от време при установяване на съществени изменения на характеристиките на притока или на вида и параметрите на водоползването.

Accepted for publication

От 2018 г. Методиката по поръчка на МОСВ е приложена за определяне на правила за управление на водите на 13 значителни язовира в България и тази дейност продължава, което свидетелства за нейната практическа целесъобразност.

3. ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕТЕНЗИОННАТА РОЛЯ НА ЯЗОВИРА

Тази роля е необходима, когато е преценено, че след язовира може да се преведат безвредно водни количества до $Q_{доп}$. Най-ефикасно частичната или цялостна ретензия на високата вълна може да се реализира чрез запазване на постоянен *свободен обем* (СО). Това означава този обем да се отнеме от оперативния (полезния) обем на язовира, без това да попречи да се задоволи водоползването с необходимата обезпеченост. Когато това е нецелесъобразно, запазват се сезонно временни СО, като не се допуска пълнене на язовира над определено ниво. Последното е оперативен инструмент за намаляване на заплахата от наводнение след него, към който се пристъпва и когато рискът от наводнения не е толкова съществен.

Размерът на свободния обем може да бъде необходимият такъв за побиране изцяло или частично на ВВ с обезпеченост, съгласно оценката на риска от наводнения след язовира или възможният размер, който съгласно водностопанската роля на язовира се приема като допустим.

Определянето на размера на СО в нормативно отношение не е регламентиран и се решава в зависимост от нуждите и възможностите при конкретния случай.

Честотата на повторение на оразмерителната ВВ може да се приеме по аналогия с нормативите за оразмеряване на корекции на реки между 20 и 100 години (5% и 1% обезпеченост). Тук трябва да се има предвид, че вероятността от преливане е много по-малка поради голямата вероятност язовирът да не е пълен до СО при навлизане на оразмерителната ВВ през годините.

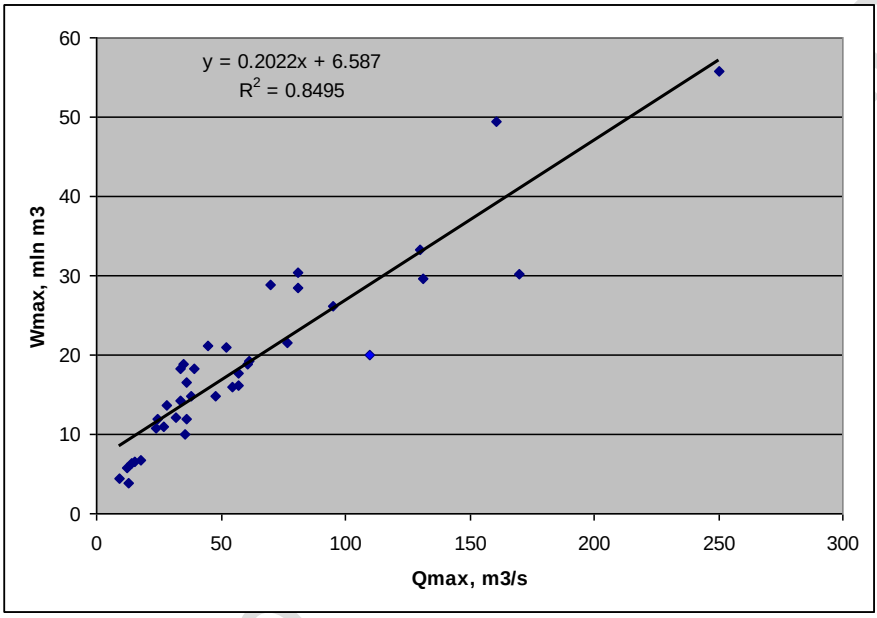
Размерът на СО се определя в зависимост от $Q_{доп}$ по итеративен път**.** Моделира се числено ретензията на ВВ в язовира така, че преливното водно количество, заедно с изпусканото през основния изпускател (ако това се предвижда), да е равно или по-малко от $Q_{доп}$. За целта към методиката е изготвена програмирана таблица в EXCEL за определяне на $Q_{прел}$ чрез моделиране на процеса на напълване на СО и преливане на язовира в два варианта – с и без спускащи се затворни органи на преливника.

Определянето на параметрите на ВВ може да се извърши въз основа на часовите измервания на водните количества на преминали такива през ХМ станция в близост преди язовира. За язовир с дълъг експлоатационен период с изчислени чрез дневния баланс данни за дневния приток в методиката е описан метод за определяне на редицата на максималните годишни ВВ и построяване на емпиричната и теоретичната й крива на обезпеченост. Показано е как може от множество случаи на екстремни дневни стойности на притока да се определят параметрите на ВВ - връх в m^3/s, обем m^3 и хидрограф. Тъй като връзката връх-обем е в определена степен размита, т.е. функционално не е строго определена, тя

Accepted for publication

се определя чрез регресионен анализ. Чрез тази връзка при известен Q_{max} се изчислява съответстващия му обем. На фигура 1 е показана тази връзка за яз. „Тополница“.

Формата на ВВ може да се интерполира по среднодневните стойности на Q, но без особена неточност по отношение на ретензирането, може да се приеме като триъгълник с връх Q_{max}.



Фиг. 1. Връзка между върха и обема на високата вълна
Fig. 1. Relationship between the peak and volume of the flood wave

Теоретичната крива на вероятността на превишение (обезпеченост) на Q_{max}, която апроксимира емпиричната крива, може да бъде задоволително екстраполирана в областта на малките обезпеченост чрез логаритмична или експоненциална функция на Trendline на софтуера Excel, с което ще се избегнат времеемките операции за определянето й въз основа на функциите на разпределение на вероятностите.

При невъзможност да се определи Q_{max} и обема на ВВ по данните от притока в язовира при отточните условия при неголемите водосбори, каквито са в България, това може да се направи приблизително, като се използват окрупнени хидроложки модели валеж-отток, подобни на модела на Алексеев. Той е подробно развит в монографията (Герасимов, 1988). Особената полза от този източник е в множеството таблици с различни коефициенти и други данни, повишаващи адаптивността на опростения модел към специфичните условия на разглеждания случай. Допълнителни пояснения за приложението му са дадени в (Сантурджиян, Йончева, 2016).

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРАВИЛА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗТОЧВАНЕТО НА ЯЗОВИРИТЕ

4.1. Основни проблеми на управлението на язовирите в реално време. Правила за водоподаване и източване

С изключение на яз. „Цанков камък“ всички значителни язовири в България са построени преди няколко десетки години. От голяма част от тях, особено от тези предназначени за напояване и в известна степен и от тези за водоснабдяване, водоползването се е променило по обем и в много случаи по вид и по брой. След 2000 г. ЗВ регламентира спазването на приоритети на видовете водоползване при издаването на разрешителни при недостатъчен воден ресурс.

От язовирите задължително трябва да се изпускат води за поддържане на минимален отток в реката. В голяма степен се е променила оценката за средния приток и неговата вариация. Събраните в този дълъг период данни от баланса на язовира за редиците на притока и особено данните от последните 15-20 години, представляват по-достоверна информация за него от времето на проектирането им. Приложението на РС дава много по-обосновани възможности за изчисление на обемите, необходими за регулиране на притока за задоволяване на водоползването от тези в миналото. При много язовири се изисква да се поддържат свободни обеми или сезонно да се освобождават обеми за ретензиране на ВВ, поради силно намаляване на проводимостта на реките след построяването им.

Предвиденият разход (общото годишно водоползване плюс загубите) трябва да е под средногодишния приток, защото иначе не е възможно постигане на висока обезпеченост, колкото и голям да е язовирът. Разликата между разхода и средния приток, за да не прелива без полза, трябва по целесъобразен начин да се изпуска през ВЕЦ-а, където има такава. Язовирите, особено тези за питейно водоснабдяване, трябва така да се управляват, че да не се стига до остър воден недостиг.

Изтъкнатите горе съображения предполагат нужда от оценка на обезпечеността на видовете актуално водоползване от експлоатираните значими язовири при спазване на правила на източване на водите им, съответстващи на новите усложнени изисквания на експлоатация. Правилата трябва да спомогнат за съблюдаване на приоритетите на различните водоползватели, за осигуряване на постоянен или временно определен СО, навременно въвеждане на режими при воден недостиг и използване на надхвърлящата нуждите част от средния приток за енергопроизводство при наличие на ВЕЦ.

Правилата трябва да определят начина на източване през конкретния месец от годината, съобразявайки се основно с наличното напълване на язовира в началото на месеца, без да има необходимост от прогнозен приток. Такъв, ако има, трябва се използва при напълвания в близост до границите на зоните, предимно в зоната на възможния дефицит или на необходимост от изпускане за освобождаване на СО. Правилата са специфични за всяка зона. Тяхната целесъобразност зависи от

Accepted for publication

правилното им определяне и вярната оценка на размера им според водоползването и водния ресурс.

4.2. Видове оценки и изследвания за определяне на правила за управление

Правилата за управление на водите на един язовир в реално време трябва да се изготвят за актуалното, като възможна опция и на разрешеното водоползване по вид и размер със спазване на приоритети, за което трябва да се извършат оценки и изследвания. Те са описани подробно в методиката. Реалната оценка на годишния размер и месечното разпределение, особено на водоползването с високия приоритет, е важно за определяне на реалистичен обем на зоните при изискваната или възможната обезпеченост. Надценяването на високоприоритетните водоползватели, съответно определяне на ненужно големи зони за тях, намалява частта от полезния обем на язовира, ползвана и от по-ниско приоритетните такива.

- Важен елемент на управлението е начина на групиране на видовете водоползвания съобразно техните приоритети. Определянето на последните се основава на Чл. 50, т.4 от Закона за водите на РБ. Трябва да се отбележи, че този член се отнася за издаване на разрешителни за водоползване, което е различно от лишаване от водоподаване на по-ниско приоритетните водоползватели от язовир в дълги периоди от време, което може да се наложи при воден недостиг и управление чрез зониране. Затова при определяне на правилата трябва да се преценява в конкретния случай доколко е реалистично той да се прилага строго.
- Съобразно броя на групите с различни приоритети се определя броя на зоните, на които трябва да се раздели оперативния обем на язовира. Софтуерът RESERVOIR1 предвижда възможност за наличие на три групи водоползватели с различен приоритет. По-големия брой зони ще усложнят прилагането на правилата. При всички значителни язовири в РБ едва ли има случай, при който ще има повече от три групи със значително водоползване и различен приоритет, изискващи съответно зониране. Голяма част от тях са проектирани за един основен водоползвател. Осигуряването на минимален отток за оводняване на речното корито се оказва неотменно втори водоползвател с първи приоритет, но най-често ползва незначителни обеми, за което е достатъчен минималният отток в реката.

Видовете водоползване се групират по приоритети в следния ред. Източването за минимално допустим отток след язовира заедно с питейно-битовото водоснабдяване (ПБВ) влизат в група с първи приоритет. Следващо по приоритет е напояването (НВ). В зависимост от важността и мащаба на промишленото водоснабдяване (ПВ) то може да се групира с НВ или да бъде след него. Електропроизводството (ЕВ) е последно по приоритет.

Зонирането на полезния обем на язовира цели да осигури водползвателите по реда на приоритетите им в зависимост от напълването му, което зависи от размера на притока. Зоната, в която се подава вода само на водоползвателите с най-висок приоритет, съответства на най-ниското напълване, налице при нисък приток.

Accepted for publication

Съответно, по същата логика, според нарастващото напълване на язовира, се подреждат зоните, в които се подава вода и на водополвателите с по-нисък приоритет. Граничните линии, разделящи зоните са наречени криви на управление. Те свързват максималните стойности на зоната в началото на месеците в годината.

4.3. Определяне на размера на зоните

Под размер на зона ще се разбира максималното й напълване необходимо според оценките, за да изпълнява своето предназначение, най-често да обезпечава съответния водополвател. Определянето на обема на зоните се извършва чрез числено симулиране на месечния воден баланс на язовира при приток, измерен в минал многогодишен период, оценен като представителен, и водополване съгласно приетите правила. Правилата съответстват на напълването на язовира. Когато то е в границите на първата зона вода се подава само на групата с първи приоритет, когато е в зона 2 - на групите с приоритет 1 и 2, а когато е в третата зона - на всички водополвати. При използване на временен СО той се освобождава до горната граница на зоната за всички водополвати на язовира.

Логиката на определяне на размера на зоните и съответно кривите на управление, възприета като основа на управление на язовирите, при наличие на три групи водополвати, е следната:

* Обемът на зона 1 над мъртвия или санитарния обем трябва да е достатъчен да регулира притока в язовира, съответстващ на водопополването на групата с първи приоритет плюс всички загуби така, че да осигурява това водополване с желаната обезпеченост за групата. В тази зона може да се определи подзона на минималните напълвания. Слизането в тази зона означава възможност за дефицит, ако притокът бъде по-малък от такъв на годишен приток равен на водополването със средностатистическо месечно разпределение. Такава зона е особено необходима при водопотребление за ПБВ.

* Обемът на зоните на групите с втори и трети приоритет се определя в зависимост от оперативния обем на язовира без зона 1 и СО. В нормалния случай водополвателят с трети приоритет е независимо енегопроизводство с подязовирна ВЕЦ и обемът на третата зона се определя с цел създаване на буферен обем за избягване на преливане чрез максимално използване на капацитета на нейните турбини. Обемът на втора зона се определя в размер, който осигурява водополването с втори приоритет с необходимата обезпеченост или определя размера на водополването, което може да е достатъчно обезпечено при възможните размери на втора зона. Обезпечеността в софтуера се определя чрез деление на броя на годините с пълно задоволяване на броя на тези с частично задоволяване.

Определянето на големината на зоните се извършва последователно чрез числено симулиране на месечния воден баланс на язовира в многогодишен минал период с приток, оценен като представителен и разход равен на водополването и загубите на вода при водоподаване, съгласно правилата за управление до

Accepted for publication

достигане на необходимата или максимално възможната обезпеченост на водоползвателите.

Първо се определя обемът на подзоната 1' на *минималните месечни напълвания* (ММН), регулиращ сезонно годишен приток равен на водоползването с първи приоритет със средномесечно разпределение и се получава първата крива на управление. Това е линията свързваща ММН в язовира в края на месеца. По същата логика се определят всички криви на управление, като в някои случаи те се приемат като прави линии, равни на максималното напълване на зоната. Обемът на Зона 1 се определя итеративно чрез водобалансово изчисление при водоползване с първи приоритет до достигане на необходимата му обезпеченост. Така се получава кривата на управление "ограничителни месечни напълвания" (ОМН1) ограничаваща водоползвателите с втори и трети приоритет при изпразване на язовира до зона 1. Обемът на Зона 2 и съответно кривата на управление ОМН2 се получава чрез същата изчислителна процедура, като язовирът се оценява като съставен от две зони, с водоползване с приоритет 1 и 2 при напълване в Зона 2 и само с приоритет 1 при напълване в Зона 1. Обемът на третата зона е равен на разликата между оперативния обем и зоните 1 и 2 и СО. Цялостна водобалансова оценка по месеци се прави при целия оперативен обем на язовира, включващ трите зони и СО с отчитане на правилата на водоползване, съгласно приетите опции и на избрания представителен приток. При тази оценка може итеративно да се оптимизира обема на Зона 1, която при описаната по-горе процедура често се получава малко преоразмерена. Всъщност с цялостна оценка може итеративно да се определят обемите на всички зони при задаване на начални стойности за тях до постигане на желаните обезпеченост на водоползвателите.

Описаните оценки и изчисления се извършват посредством софтуера RESERVOIR1, който изчислява месечния баланс на язовир с до три групи независими водоползватели и оценява тяхната обезпеченост. В методиката е дадено подробно описание на възможностите и входните данни на софтуера в оразмерителна и тестваща опция. Чрез този софтуер при зададени нужди на водоползвателите може да се определят в приет многогодишен период месечните стойности на реализираното водоползване и постигнатата обезпеченост при зададен месечен приток.

Срокът за оценка на обезпечеността на водоползването, когато последното се оценява като безсрочно, зависи от разполагаемата дължина на многогодишната редица на месечния приток. В случаите, когато водоползването се променя във времето - от срока на планиране и прогноза. Последния случай се отнася преди всичко за ПБВ, което може да се планира с достоверност до 10-15 години. Така оценената обезпеченост за приет прогнозен срок, се приема като детерминирана величина. В действителност, средната стойност и вариация на притока в бъдещия период се различават от тези на приетия. Следователно обезпечеността е вероятностна величина и трябва да се оценява с доверителни интервали и вероятност.

Access for publication

Строгият математически метод за нейното определяне изисква въз основа на емпиричната крива на обезпечеността на редицата на годишния приток да се построи неговата теоретична крива на вероятността на превишение (функцията на генералната съвкупност). На тази основа, чрез стохастично моделиране, с или без отчитане на авторегресия, да се построят достатъчно голям брой М редици (реализации) на годишния приток с дължина равна на срока за оценка. Чрез тях да се извършат водобалансовите оценки и се определи обезпечеността на водоползвателите. Така от М броя реализации на притока се получават М стойности на обезпечеността. На тяхна основа се оценяват доверителните интервали на отклонение от средната ѝ стойност.

В RESERVOIR1 е включен доста по-опростен начин за частично отчитане на вероятностния характер на очаквания в срока за оценка приток без стохастично моделиране (Santourdjian&Shopova, 2006). Определянето на различни реализации се извършва чрез редици-извадки с дължина равна на срока за оценка от много по-дълга многогодишна редица на измерения приток наречена „базова“. Тази базова редица може да бъде и много дълга, ако бъде получена чрез стохастично моделиране по описания по-горе начин. Предимство на този метод е, че се запазва автокорелацията на годишните и особено на месечните стойности на притока. Докато за годишната автокорелация може да се каже, че е незначителна, то месечната има подчертана сезонна зависимост.

И двата подхода дават възможност за отчитане на вариацията на притока в язовира в прогнозния срок при определяне на възможните отклонения на оценката на обезпечеността. Основният им недостатък, наред с доста по-голямата сложност и обем на изчисленията, е неголямата надеждност на измерения годишен приток в язовира при наблюдаваните климатични промени, както и липсата на регламентиран критерий за избор на решение относно допустимия размер на доверителните интервали и вероятност. Затова може да се приеме, че описаната по-горе по-сложна изчислителна процедура, целяща отчитане на вероятностния характер на водностопанските оценки, е повече оправдана при проектни проучвания и оразмеряване на новостроящи се язовири. Тогава изборът на базова хидроложка редица по дължина и статистически характеристики ще изисква повече внимание и преценки.

Досега при практическото приложение на методиката с цел съставяне на правила за управление на съществуващи язовири, размерът на зоните се е определял на основата на една единствена многогодишна редица на притока, регистриран през последните 15-20 години. При язовири с многогодишна експлоатация данните се взимат от водния им баланс, който е най-точния източник за тази цел. Оценяват се статистическите характеристики на тези данни. Счита се, че хидроложката редица е представителна за ресурсни оценки, ако стандартното отклонение на средногодишната ѝ стойност е под 10% от последната. Това означава, че се очаква средният приток в бъдещ период със същата дължина на редицата да има отклонение до този размер в 68% от случаите.

Accepted for publication

Описанието дотук представя накратко същността на основните части на методиката. В своята цялост тя подробно описва пътя за извършване на всички оценки, а чрез RESERVOIR1 необходимите изчисления, за съставяне на правилата за управление на язовири. Те улесняват експлоатацията им, поставяйки я на количествено оценена, съобразно актуалното водоползване и актуалния приток основа. Тези оценки са приблизителни, след като основните компоненти на системата приток, напълване на езерото и даже водоползването, имат повече или по-малко вероятностен характер. Оценките и правилата, изготвени на тяхна основа, имат достатъчно надеждно насочващо значение.

Като демонстрация на приложение на методиката е показано определянето на правилата за управление на яз. "Тича".

5. ПРАВИЛА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЯЗОВИР "ТИЧА"

5.1 Технически характеристики и цели на използването на обема на язовира

Язовир "Тича" е построен на река Голяма Камчия в землището на с. Виница. Въведен е в експлоатация през 1973 г. Водосборът му е 981 кв. км със средна надморска височина 447 м. Общият му обем е $311{,}8.10^6$ м^3 при 40.10^6 м^3 мъртъв обем. Построен е с цел напояване на земи в района на гр. Търговище и гр. Шумен. Впоследствие той се превръща в основен водоизточник за водоснабдяването на градовете Шумен, Търговище,Велики Преслав и околните села. Обемите подадени за напояване от 54. 10^6 м^3 през 2003 г. се редуцират до 21.10^6 м^3 през 2019 г. За водоснабдяване се подават годишно около 35.10^6 м^3 . През 2011 г. се въвежда в експлоатация като отделен консуматор МВЕЦ „Моста" с максимално месечно потребление 12.10^6 м^3, който дава възможност да се оползотворява излишната част от средния приток, доста превишаващ нуждите за водоснабдяване и напояване.

От анализа на данните и графиците за притока, разхода и изменението на обема на язовира в периода 2003-2019 г. от тези данни и графици може да се извлекат следните, важни за управлението на язовира, изводи:

а) Месечният и годишният приток варират в изключително големи граници, характерно не само за разглеждания период, а и за периода от 1977 г. досега. Например, годишният приток в 2005 е над 14 пъти по-голям от този в 2019 г.

б) През разглеждания период в години с приток под и близо до средния, напълването на язовира се изменя с неголеми разлики – между 40.10^6 и 80.10^6 м^3. Само в години с приток над средногодишния язовирът се пълни до нивото на преливника и прелива. Такива преливания през 2006 причиниха наводнения при с. Бели бряг.

В разглеждания период напълването варира в горната половина на обема на язовира, т.е. използва се малко повече от половината на полезния му обем - 271.10^6 м^3. Това показва, че той е доста по-голям от необходимия за осигуряване на водоползването.

Accepted for publication

в) Сравнително малкият необходим обем за регулиране на притока с оглед на водоползването и големият полезен обем на язовира, съчетано с голяма вариация на месечния и годишен приток, водят до извода, че с цел създаване на по-равномерен режим на течението в реката след язовира и предпазване от наводнения, е целесъобразно значителна част от обема му да се използва за ретензиране на големи високи вълни, втичащи се в него в пълноводни години.

Описаното по-горе показва, че целта на управлението на язовира освен задоволяване на водоползвателите трябва да бъде и осигуряване на максималния възможен ретензионен обем за редуцирано преливане или изпускане на големи водни количества за избягване на наводнения в реката в месеци и години с голям приток**.**

Водоползването от язовира се извършва с цел:

- Осигуряване на водоснабдяването на градовете Шумен, Търговище и Велики Преслав с околните селища и оводняване на речното корито с близка до 100% обезпеченост;
- Осигуряване на напояването според годишната заявка с над 75% обезпеченост;
- Използване на свободната част от средния приток за енергопроизводство чрез МВЕЦ „Моста“.

Воднобалансовата му оценка трябва да отчита техните приоритети по реда на подреждането им по-горе.

5.2. Оценка на необходимия свободен обем

Яз. „Тича“ при големите екстремуми на месечния приток е причинявал наводнения и трябва да се вземат мерки за цялостно или частично поемане на ВВ чрез свободен обем. За определяне на размера на СО е необходимо да се направи някаква, ориентировъчна оценка на възможните значителни ВВ с повтаряемост през 100 години. Размерът и формата на ВВ с различни обезпеченост могат да се определят от дневния баланс на язовира през 42 годишния период на експлоатация, което не е направено поради липса на тези данни.

За да се добие представа за възможностите, които размерът на СО и площта на язовирното езеро на кота ръб преливник предоставят за ретензия на ВВ и редуцирането на нейния връх до максималното преливащо водно количество ($\mathbf{Q_{прел,макс}}$), е извършено моделиране на процеса на навлизане на значителна ВВ в язовира при различни размери на СО и оценка на $\mathbf{Q_{прел,макс}}$ с времева стъпка 0.5 ч, т.е. моделиран е процесът на ретензия на ВВ.

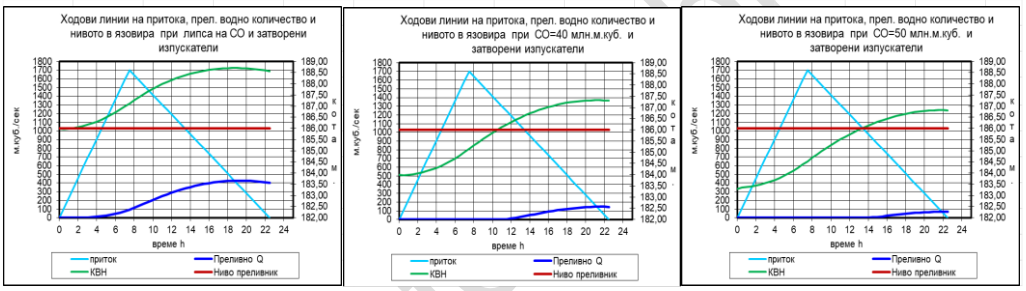
ВВ е оценена според Ръководството на Стр. Герасимов (Герасимов С., 1988) с използване на формулата на Алексеев при денонощен дъжд 138 мм, при коефициент на оттока 0.5, дължина на дотичане 70 км (отчитайки частично меандрите на реката) при среден наклон 9‰ Тя служи за груба ориентация, като се има предвид големината и сложния ландшафт на водосбора. Приетият размер на дъжда, съгласно таблиците в това ръководство, е с обезпеченост 1%. За

Accepted for publication

коефициента на оттока е приета максималната според таблиците стойност за водосбор с площ 1000 км^2.

Параметрите на ВВ, опростено представена с триъгълна форма са: връх Q_{max}=1700 м^3/сек, време за подем – 7,5 часа, време за спад 15 часа и обем 69.10^6 м^3. Това е ВВ със сериозни размери, протекла в кратък интервал от време – под 24 часа. Оценката на $Q_{прел,макс}$ при такава ВВ може да се приеме за достатъчна гаранция за сигурността срещу опасно преливане на язовира.

Изчислено е $Q_{прел,макс}$ при липса на СО и при наличие на такъв с размери 40.10^6 и 50.10^6 м^3 при преливник с ширина 50 м (фигура 2). При липса на СО повишението на водното ниво над преливния ръб е 2.50 м, а $Q_{прел,макс}$ = 420 м^3/сек, което е близо до проектната оценка преди 50 години на максималното $Q_{прел,макс}$ за 1000 годишната ВВ. Съгласно данните от баланса, язовирът е бил близо до тези стойности през м. март 1984 г. От същите графики се вижда, че при СО=40.10^6 м^3 и СО=50.10^6 м^3 съответно $Q_{прел}$ = 140 м^3/сек и $Q_{прел}$ = 90 м^3/сек.



Фиг. 2. Ходови линии на притока, $Q_{прел}$ и водното ниво при: (a) без СО, (b) СО=40.10^6 м^3 и (c) СО=50.10^6 м^3

Fig. 2. Time curves of the inflow, Q_{spil} and the reservoir level with (a) without retention volume (RV), (b) RV=40.10^6 m^3 and (c) RV=50.10^6 m^3

Изследването показва, че за да се избегнат големи наводнения е целесъобразно размерът на СО да бъде поне 40. 10^6 м^3. С прибавянето към тях на ретензионния обем над преливния ръб на язовира се постига значително смекчаване на заплахата от опасно преливане на язовира.

5.3. Водобалансова оценка и правила за управление на язовир „Тича”

Управлението на яз. „Тича“ трябва да обезпечава водоползвателите по реда на приоритетите им при воден недостиг като поддържа оценения по-горе СО за поемане на ВВ по всяко време на годината. За целта полезният обем на язовира трябва да се раздели на зони чрез криви на управление, въвеждащи специфични правила за източване на водите му.

Обемът на тези зони се определя чрез числено симулиране на водния баланс на язовира в многогодишен минал период при приток, който се приема за представителен. Той трябва да осигурява водоползването с желаната или възможната при ограничение на обема обезпеченост.

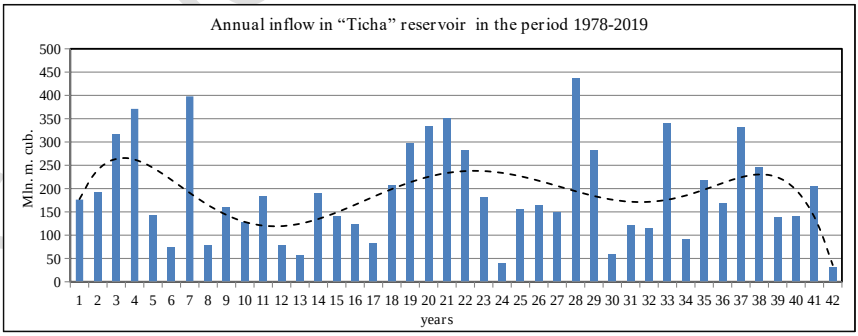
Accepted for publication

Налични са данни за притока в 42 годишен период от 1978 до 2019 г. с характеристики показани в Таблица 1. Средният годишен приток е $189.9.10^6$ м^3 при C_v= 0.55. Този коефициент на вариация е над два пъти по-голям от обичайните му стойности при толкова дълги редици на годишния приток при повечето язовири у нас. Данните показват ясно изразена изключителна неравномерност на месечния приток през всички месеци в годината с максимуми в отделни години, рязко отличаващи се с характера на разпределение на стойностите им в останалите години. В това отношение най-много изпъкват месеците януари, юли, септември, ноември и декември. Представителността (устойчивостта) на хидроложката редица за ресурсни оценки на нейна основа е задоволителна, когато отношението на стандартното отклонение на средната стойност $\boldsymbol{\sigma_{\bar{x}}}$ на редицата към самата средна стойност $\bar{x}$ е под 10% - $\sigma_{\bar{x}} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq 0,1\bar{x}$. В представена редица в Таблица 1 това съотношение е 8,4%, което означава, че редицата при тази дължина е представителна.

Таблица 1. Статистики на притока в яз. "Тича" в периода 1978-2019 г.
Table 1. Inflow statistics of the "Ticha" reservoir in the period 1978-2019

average	20,02	39,81	39,62	18,14	14,54	12,90	12,16	2,74	3,59	3,89	8,73	14,32	189,9
st.dev.	15,6	31,4	35,7	10,6	12,3	14,1	26,6	3,2	7,0	4,3	14,9	22,2	103,7
Cv	0,78	0,79	0,90	0,59	0,84	1,10	2,19	1,18	1,95	1,09	1,70	1,55	0,55
Cs	0,15	1,10	1,57	0,72	1,25	1,77	2,49	1,79	3,35	1,69	2,69	3,02	0,62
unit hydrogr.	0,105	0,210	0,209	0,096	0,077	0,068	0,064	0,014	0,019	0,020	0,046	0,075	1,00
W97%	4,5	9,0	9,0	4,1	3,3	2,9	2,8	0,6	0,8	0,9	2,0	3,2	43,1
W87%	12,2	24,3	24,2	11,1	8,9	7,9	7,4	1,7	2,2	2,4	5,3	8,7	116,3

От фигура 3 се вижда, че регресионната линия има синусоидален характер, без видим тренд на устойчиви промени във времето и тенденция на намаление на притока в последните две десетилетия. Това показва, че цялата редица и всяка част от нея може да бъде използвана, като хидроложка база за ресурсни оценки.



Фиг.3. Годишен приток в периода 1978-2019 г.
Fig. 3. Annual inflow in the period 1978-2019

Логично е за основна водобалансова оценка да се приеме притока през последните 15 години – от 2005 до 2019, показан на таблица 2а, макар че при тази

Accepted for Publication

дължина редицата няма да удовлетворява критерия за представителност. В този срок може да се допусне постоянство на ПБВ и е от значение то да се обезпечи с близо 100%.

Таблица 2a. Статистики на притока в яз. "Тича" в периода 2005-2019 г.
Table 2a. Inflow statistics of the "Ticha" reservoir in the period 2005-2019

average	17,9	39,7	42,9	18,7	15,3	13,1	13,6	2,9	3,8	4,1	9,2	13,9	195,0
st.dev.	15,3	36,3	36,3	10,8	13,4	15,1	31,6	3,9	9,6	4,7	15,7	23,2	126,0
Cv	0,86	0,92	0,85	0,58	0,88	1,16	2,32	1,34	2,54	1,15	1,71	1,66	0,65
Cs	0,61	1,10	1,41	0,82	1,09	1,90	2,38	1,75	3,25	1,54	2,57	3,03	0,62
unit hydrogr.	0,092	0,204	0,220	0,096	0,078	0,067	0,070	0,015	0,019	0,021	0,047	0,071	1,00
W90%	5,7	12,7	13,7	6,0	4,9	4,2	4,4	0,9	1,2	1,3	2,9	4,5	62,5
W81%	7,5	16,7	18,0	7,9	6,4	5,5	5,7	1,2	1,6	1,7	3,9	5,9	82,0

Това дава възможност оценката да се провери при две други 15 годишни редици с различен приток, съдържащи се в 42 годишната редица – от 1978 до 1992 и от 1990 до 2004 г. с доста различни средни стойности и коефициенти на вариация, показани в Таблици 2b и 2c.

Таблица 2b. Статистики на притока в яз. "Тича" в периода 1978-1992 г.
Table 2b. Inflow statistics of the "Ticha" reservoir in the period 1978-1992

average	18,82	28,37	26,57	39,62	15,48	9,97	4,15	3,60	10,04	6,54	6,93	13,66	183,76
st.dev.	16,2	27,1	15,8	33,1	10,5	8,3	3,0	4,0	21,1	6,7	6,2	10,0	98,0
Cv	0,86	0,96	0,59	0,84	0,68	0,83	0,73	1,12	2,10	1,02	0,89	0,73	0,53
Cs	1,20	1,47	0,08	1,59	1,66	1,13	0,55	3,02	3,48	2,02	1,66	0,98	0,38

Таблица 2c. Статистики на притока в яз. "Тича" в периода 1990-2004 г.
Table 2c. Inflow statistics of the "Ticha" reservoir in the period 1990-2004

average	11,39	23,16	40,07	31,69	26,67	13,87	6,29	5,66	3,61	3,54	5,14	7,86	178,94
st.dev.	8,4	23,0	42,2	28,9	22,0	8,1	2,6	3,1	2,8	2,5	4,2	5,3	102,1
Cv	0,74	0,99	1,05	0,91	0,82	0,58	0,41	0,55	0,79	0,70	0,82	0,67	0,57
Cs	1,17	1,89	2,28	2,18	1,14	0,64	0,18	0,65	1,95	2,31	2,05	0,69	1,04

Правилата за управление са определени и съответстващата ѝ водобалансова оценка е извършена при отчитане на приоритетите на три независими водоползватели. В група с първи приоритет са включени водоснабдяването на селища и оттока за оводняване на речното корито с прибавени неизбежните загуби от изпарение и филтрация, означени с ВОДОП1. С ВОДОП2 е означено напояването, което се разглежда в три опции по размер – ВОДОП2.1 с 20.10^6 м^3, ВОДОП2.2 с 30.10^6 м^3 и ВОДОП2.3 с 40.10^6 м^3. Правилата за управление всяка година трябва да се приемат за опцията, приблизително отговаряща на размера на годишната заявка на ЕАД „НС" в началото на годината. С най-нисък трети приоритет е водоползването на МВЕЦ „Моста" - ВОДОП3 с 12. 10^6 м^3 месечно. В Таблица 3 са показани месечните стойности на тези водоползвания в млн. м.куб.

Месечните загуби от филтрация и изпарение зависят от притока, нивото в язовира и други фактори. Взети са като средни стойностите за периода 1984-2014г., оценени от ЕАД „Напоителни системи".

Accepted for publication

Таблица 3. Месечни стойности на водоползването от яз. “Тича” в млн.м.куб.
Table 3. Monthly water consumption values from the “Ticha” reservoir in mln.m.cub.

месеци	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год.
водоснабдяване	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	34,8
еководи	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	19,0
загуби	0,04	0,03	0,34	0,74	1,18	1,38	1,69	1,48	0,98	0,55	0,27	0,04	8,7
ВОДОП1	4,52	4,51	4,82	5,22	5,66	5,86	6,17	5,96	5,46	5,03	4,75	4,52	62,5
Нап. ВОДОП2.1	0,00	0,00	0,00	0,80	2,60	3,90	5,00	4,20	2,70	0,80	0,00	0,00	20,0
Нап. ВОДОП2.2	0,00	0,00	0,00	1,20	3,90	5,80	7,50	6,40	4,00	1,20	0,00	0,00	30,0
Нап. ВОДОП2.3	0,00	0,00	0,00	1,70	5,00	7,60	10,00	8,60	5,40	1,70	0,00	0,00	40,0
МВЕЦ ВОДОП3	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	144,0

За управление на източването на язовира със спазване на приоритетите на трите независими водоползвания и запазването на СО, полезният му обем от 220.10^6 $м^3$ се разделя чрез кривите на управление на 4 надстоящи в язовира зони. Зона 1, ограничена отгоре с кривата ОМН1, е зоната обезпечаваща ВОДОП1. Когато напълването е в тази зона, вода се подава само за ПБВ. В нейните граници при най-ниското напълване е разположена подзона 1’, ограничена отгоре с кривата за управление ММН. Слизане на напълването в тази подзона означава възможност за воден дефицит и въвеждане на ограничение на водоподаването, ако годишният приток бъде по-малък от нуждите.

Зона 2 над зона 1, ограничена отгоре с кривата ОМН2, е зоната в язовира, напълването до която, осигурява ВОДОП1 и ВОДОП2.i с приетите обезпеченост. Когато напълването е в тази зона, се задоволяват нуждите на ВОДОП1 и ВОДОП2i.

Зона 3 над зона 2, ограничена отгоре с кривата ОМН е зоната, в която се водоподава на всички ползватели - ВОДОП1, ВОДОП2.i и МВЕЦ „Моста“. Обемът на тази зона е равен на разликата между полезния обем 220. 10^6 $м^3$ и сумата на зона 1 и 2 и СО.

Зона 4 е зоната на СО. Когато напълването навлезе в тази зона тя трябва да се изпразни до кривата ОМН възможно най-бързо, при съблюдаване на безопасността от наводняване след язовира. Това може да се постигне, като към водоподаването, съгласно правилата за зона 3, се изпуска допълнително вода през основния изпускател.

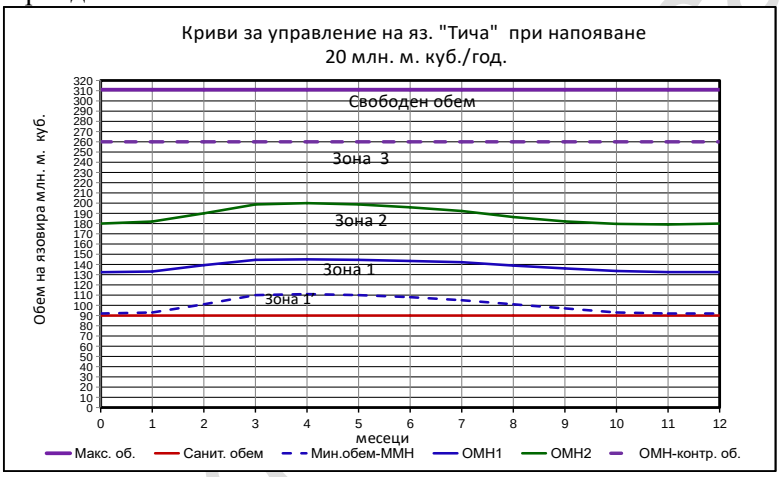
Размерите на зоните, съответно напълванията на ограничаващите ги криви на управление, са определени последователно съгласно методиката чрез числено симулиране на водния баланс на язовира при притока в 15 годишния период 2005-2019 г., показан в Таблица 2а. Това е извършено в три опции на нуждите на напояването в $м^3$ - 20.10^6 , 30.10^6 и 40.10^6.

При тези симулации се достигат следните размери на необходимите обеми на тези зони. За Зона 1 за постигане на 100% обезпеченост на ВОДОП1 - 55.10^6 $м^3$, като подзоната 1’ в нейните граници е 20.10^6 $м^3$. За Зона 2 - при постигане на обезпеченост 87% по години са необходими в м. куб. обеми 55.10^6, 65.10^6 и 75.10^6 съответно при трите показани по-горе опции на нуждите за напояване. Размера на СО се приема 50.10^6 $м^3$ при 20.10^6 $м^3$ за напояване и 40.10^6 $м^3$ при останалите

Accepted for publication

опции. При тези размери на зоните 1 и 2 и СО размерът на Зона 3 се получава равен на 50.10^6 м^3 при 40.10^6 м^3 за напояване и 60.10^6 м^3 при останалите опции. Тези размери са максималните стойности на тези зони, достигани през летните месеци. Стойностите им през останалите месеци отчитат сезонното изменение на притока. Те определят кривите на управление на язовира.

В Таблица 4 и фигура 4 са показани стойностите и кривите на управление на яз. "Тича" при водоползване за напояване 20.06 м^3. Трябва да се отбележи, че обемите на зоните 1 и 2, необходими за обезпечаване на ВОДОП1 и ВОДОП2.i, отнесени към размера на годишното водоползване, са доста по-големи от тези получени при други язовири у нас при същия вид водоползване. Основна причина за това е голямата вариация, както на месечния, така и на годишния приток в яз. „Тича" в периода 2005-2019 г.



Фиг. 4. Криви на управление на яз. "Тича"
Fig. 4. Rule Curves of the "Ticha" reservoir

Таблица 4. Стойности в млн.м.куб. на кривите за управление при напояване 20.10^6 м^3
Table 4. Rule curves values in mln.m.cub. with 20 mln.cub. m. of irrigation area

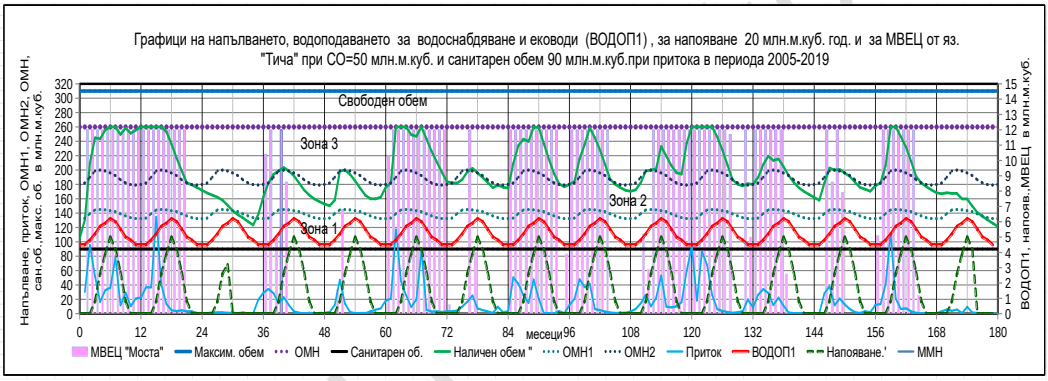
месеци	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
санитарен обем	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
миним. об. ММН	92	93	101	110	111	110	108	105	101	97	93	92	92
ОМН1	132,4	133,1	139,3	144,5	145	144,5	143,4	142,2	138,9	136,1	133,6	132,5	132,4
ОМН2	180	182	190	198,7	200	198,7	195,9	192,3	186,4	182,1	179,7	179,1	180
ОМН	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Макс.обем	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311

На фигура 5 са показани графиците на напълването, притока, подадените обеми за ПБВ, напояване и енергопроизводство чрез МВЕЦ "Моста", получени при симулацията на водния баланс на язовира при притока през периода 2005-2019 г.

Accepted manuscript

От тях се вижда, че ПБВ е задоволено изцяло, напояването в две от годините изпитва недостиг, а за МВЕЦ се подава вода през половината от периода, когато пълненето е в Зона 3. Язовирът се пълни до ниво СО в седем от годините с по-голям приток. Използваният софтуер не предвижда оценяване на пълненето при навлизане в СО и дали се стига до преливане.

Водоподаването за ПБВ не прекъсва даже и в 2019 г. с приток равен на половината от нуждите на ВОДОП1 поради акумулирания обем в Зона 1. При редуване на още една подобна безводна година, очевидно ще има голям дефицит. МВЕЦ „Моста“ работи, когато напълването е над ОМН2. Обезпечеността му по обем е 51%. Изпуснатите води през целия период са 591.10^6 м^3 – 20% от целия приток. При приетия регулиращ обем $170.\ 10^6$ м^3 (СО = $50.\ 10^6$ м^3) се използва средногодишно $156.\ 10^6$ м^3 – 80% от средния приток 195.10^6 м^3.



Фиг. 5. Графики на напълването (зелена) и водоподаването за ПБВ (червена) , напояване (зелена прекъсната) и енергопроизводство (розова) от яз. “Тича” при притока в периода 2005-2019г.

Fig. 5. Graphics of the reservoir filling (green)) and water releases for water supply (red), irrigation (green broken) and energy production (pink) with the inflow in the period 2005-2019

За установяване на влиянието на размера на СО върху използването на водите на язовира е извършена подобна симулация при липса на такъв (СО = 0) и със същата хидрология. В този случай намаляват изпуснатите води с 30%, увеличава се обезпечеността на напояването с 10% и на МВЕЦ „Моста“ с 20%. Използва се 86,6% от средния приток. В 5 от годините на периода при пълноводие язовирът се препълва и прелива, което поради ретензионния ефект, само на площта на язовирното езеро, води до големи преливни водни количества, от порядъка на 200-300 м^3/сек. С въвеждането на СО от 50.10^6 м^3 при този язовир използването на водите му не влошава осезаемо и с оглед на сигурността срещу причиняване на наводнения надолу по реката е силно препоръчително да се поддържа празен ретензионен обем от порядъка на $50\text{-}40.10^6$ м^3.

Размерите на зоните, т.е. кривите на управление, са тествани при притока в периодите 1978 - 1992 г. и 1990-2004 г. ПБВ е задоволено 100% и в двата периода,

а напояването 93,3% през първия и 100% през втория период. Резултатите от тестването показват, че най-неблагоприятният приток при оценката се оказва в периода 2005-2019, поради голямата му годишна вариация - $C_v = 0.65$. В другите два тествани периода с до 8% по-нисък приток, но с близо 16% по-ниска вариация, спазването на зоните и правилата за източване на язовира води до целесъобразно използване на водите му и спазване на обезпеченостите на отделните водоползватели, заложени при определянето им. Това дава основание да се приеме, че управлението на язовира по тези правила и зониране ще има устойчив резултат и в бъдещи периоди, освен при съществено намаление на средния приток.

6. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За да не се стига до остър воден недостиг и да се отчитат приоритетите на водоползвателите от язовирите при недостатъчно напълване, както и да се предпазят земите след тях от наводнение чрез задържане на част или изцяло на високата вълна при пълноводие, е необходимо управление на разпределението на водите им. Контрол над източването на значителните язовири в България чрез определяне на лимити за водоползване в началото на всеки месец се извършва от МОСВ. Изготвената от НИМХ за МОСВ през 2012 г. и резюмирана в този ръкопис оригинална инженерна методика дава научна основа и включва всички описания, математически решения, изчислителни процедури и компютърен софтуер за определяне на правила за управление на източването на оперативно контролираните язовири, изпълняващи и ретензионна роля в България. Методиката е приложена от МОСВ досега за определяне на правилата за управление на 13 язовира, което доказва нейната практическа приложимост.

ЛИТЕРАТУРА

Song-Ching Lin, Ray-Shyan Wu, Shih-Wei Chen (2005) Study on Optimal Operating Rule Curves Including Hydropower Purpose in Parallel Multireservoir Systems, https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/RM05/RM05015FU.pdf

Fi-John Chang, Yu-Chung Wang, Wen-Ping Tsai (2016) Modelling Intelligent Water Resources Allocation for Multi-Users, Water Resources Management, V. 30 (1395-1413), 2016.

Mohanan P., Ninan S., Iswarya V. (2020) Reservoir Management by Rule Curve. https://www.cbip.org/ISRM-2022/ICOLD2021/Data/Workshop/ Reservoir%20Operation%20for%20handling%20of%20Extreme%20Events/ICOLD_paper 09-01-2020-15-22-45.pdf

Barbagallo S., Consoli S., Pappalardo N., Greco S., Zimbone S.M. (2006) Discovering Reservoir Operating Rules by a Rough Set Approach, Water Resources Management, V. 20: 19–36, 2006.

„Методика за определяне на обеми в язовирите по Приложение 1 от Закона за водите за поемане на очакван приток“. 2012. МОСВ.
https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/file/Water/Povarhnostnivodi/Metodika/YazoviriPrilojenie_1/.1.pdf

Accepted for publication

Герасимов С. (1988) Методично ръководство за определяне на максималния приток на реките в България. ИХМ, БАН 1988.

Сантурджиян О., Йончева В. (2016) Определяне на връзката валеж - оток за целите на управлението на риска от наводнения в реално време, Водно дело, бр.1-2 и 3-4, 2016.

Santourdjian O. & Shopova D. (2006) Probability Estimation of Water Supply Reliability Assessment, Conf. on Water Observation and Information System for Decision Support, Balwois, 2006.

Accepted for publication