



*Получена: 20.12.2019 г.*

*Приета: 22.01.2020 г.*

## МАЛКИ НАСИПНИ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ – ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ

**И. Гълъбова<sup>1</sup>**

*Ключови думи: язовири, малки язовири, насипни стени, ремонт, реконструкция*

### РЕЗЮМЕ

За съществуването и строителството на язовири има доказателства отпреди 5000 години. Основните причини за изграждането на тези хидротехнически съоръжения не са се променили съществено, като основно са били използвани за напояване, водопой на добитък и рибовъдство, а днес служат и за задоволяване на питейно-битови нужди, добив на електроенергия, рекреация и други.

В световен мащаб малките язовири представляват по-голямата част от язовирите като цяло. Според Бюлетин №143 на ICOLD те са около 90% от всички язовири.

Конструкцията на първите язовири може да се определи като тази на земно-насипните или каменно-насипните язовири в днешно време и бихме ги класифицирали като малки язовирни стени.

За добрата и надеждна експлоатация на язовирите са установени и са се наложили някои методи и практики. Те се изменят и развиват с по-добрата изученост на процесите, явленията и взаимовръзките, протичащи в тези съоръжения.

С напредването на годините на експлоатация на язовирите се налага да се извършват различни ремонти, а в някои случаи и реконструкция, за да се удължи животът им.

Настоящият доклад е фокусиран върху малките насипни язовирни стени и основните принципи за ремонт и реконструкция. Представени са и някои от съвременните методи, техники и материали за извършване на тези дейности.

---

<sup>1</sup> Илина Гълъбова, докторант, инж., кат. „Хидротехника и Хидромелиорации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ilinagalabova@gmail.com

## 1. Въведение

В световен мащаб малките язовири представляват около 90% от всички язовири [1]. Доказателства за строителството на язовири има отпреди 5000 години. В началото изгражданите земни диги били с неправилна форма и голяма дължина, но с малка ширина и височина. Използвани са за защита от наводнения, напояване, водопой на добитък и рибовъдство, а днес се използват и за задоволяване на питейно-битови нужди, добив на електроенергия, рекреация и други. С напредване на живота и експлоатацията, както при големите, така и при малките язовирни стени и съоръженията към тях, е необходимо да се извършват ремонти, а в някои случаи и реконструкция. Целта на тези дейности е удължаване на живота на тези хидротехнически съоръжения.

## 2. Основни проблеми при малките насипни язовирни стени

При експлоатацията на язовирите възникват различни по вид и характер проблеми. Навременното установяване и следене на процесите, случващи се при тези съоръжения е от основно значение за определяне на проблема, за избора на действия и методи за отстраняването му. Проблемите при малките насипни стени могат да се разделят в две групи:

- проблеми при тялото на насипните стени;
- проблеми при съоръженията към язовирната стена.

### 2.1. Проблеми при тялото на насипните стени

Липсата на последователност и заниженото ниво на експертност при поддръжката на малките насипни язовирни стени в България в продължение на десетилетия е видимо. В повечето случаи те са обрасли с храстовидно-дървесна растителност. Това води до трудно следене на състоянието на язовирната стена. Често след премахване на растителността се забелязват значителни течове, усилена филтрация и суфозия, както през тялото на стената, така и в основата след нея, в резултат на образували се пукнатини от кореновата система. Друг съществен проблем е ерозията по водния откос вследствие на вълново въздействие. Вълновата ерозия се проявява в границите около най-високо работно водно ниво (НВРВН) и най-високо водно ниво (НВВН). В някои случаи ерозията е развита в толкова голяма степен, че е възможно да започне преливане през короната на язовирната стена. По насипните стени се наблюдават и пукнатини надлъжно и напречно на короната. Тези пукнатини, както и свличане по водния или въздушния откос, са показател за недобрия подбор на материалите, използвани в строителството на язовирната стена и представляват предпоставка за разрушаването ѝ. Нарушения по стената могат да бъдат предизвикани и от животните. Преминаването на добитък и стада през съоръженията и язовирната стена често нанасят значителни щети. Земеровните животни представляват опасност, тъй като прокопават дупки от въздушния до водния откос, вследствие на което е възможно да се образуват течове през стената.

### 2.2. Проблеми при съоръженията към язовирната стена

При малките язовирни стени най-често срещаните съоръжения към тях това са облекчителните съоръжения – основен изпускател (ОИ) и преливник. Преливниците обикновено са изградени без да има достатъчно добро хидроложко изучаване на река-

та, на която се изгражда хидротехническото съоръжение и капацитетът им не е достатъчен. Друг проблем е начинът, по който те са изградени. В голяма част те представляват свободно оформени по терена земни канали, без облицовка и енергосигурни съоръжения, като пропускателната им способност допълнително се намалява при свличането и натрупването на земна маса в тях. Повишаване котата на преливния ръб чрез поставяне на дървени, метални, бетонни и други прегради увеличава риска от преливане през короната на язовирната стена. При основния изпускател най-често се наблюдава частично или пълно запушване като резултат от липсата на извършване на пробни манипулации със затворните органи и промиване на част от наносите. Друг проблем е самото състояние на тръбата на ОИ (метални или азбесто-циментови), поради факта, че тези язовири са построени преди повече от 50 години. При тези видове тръби връзката между отделните елементи се осъществява трудно. Компрометирането на тези връзки води до течове и вътрешна ерозия в тялото на стената. При металните тръби износването може да бъде толкова голямо, че на места да се наблюдават пробиви в конструкцията на тръбата. Резултат от такова износване е образуването на концентрирани течове около тръбата на ОИ. Водовземните съоръжения често са блокирани от наноси, тинести отложения и отломки. Липсата или неправилно проектираните и изградени енергосигурни след преливниците и ОИ водят до изравяне на речното корито и подкопаване на бетонните елементи около затворните органи на ОИ. Това е предпоставка за компрометиране и разрушаване на тези съоръжения и води до тяхното неизправно състояние.

### **3. Реконструкция и рехабилитация**

Предвид гореизложените проблеми в настоящия доклад са представени някои основни принципи за ремонт и реконструкция на насипните язовирни стени и съоръженията към тях. По-голямо внимание е отделено на съвременните методи и техники.

#### **3.1. Методи за ремонт и реконструкция на основния изпускател**

Извършването на ремонт на основния изпускател може условно да се раздели на три категории: рехабилитация за съществуващата тръба, монтиране на нова тръба в старата и изграждане на изцяло нов основен изпускател.

##### **3.1.1. Отпушване на тръбата на основния изпускател**

Както вече беше споменато, един от най-често срещаните проблеми при основните изпускатели на малките язовирни стени е запушването или липсата на пълната им проводимост. В определени случаи основният изпускател може да се приведе в изправно състояние като се използва механично устройство за отпушване на тръби. Според вида на избраното устройство то може да използва силата на водата или на съгъстен въздух или газ за пробиване на наслоения материал в тръбата. Друг вариант е използването на пружина, задвижвана от електродвигател, която да разбие наслоения материал. Недостатък при тези устройства е дължината, до която може да се достигне, тя е ограничена от 40 – 80 m, а диаметърът на тръбите до 250 mm.

##### **3.1.2. „Тръба в тръба“**

Методът „тръба в тръба“ е един от най-разпространените и стари методи за рехабилитация на съществуващи тръбопроводи, без да се налага направата на открит изкоп.

Техниката включва поставяне на нова облицовъчна тръба със стандартен диаметър в съществуващата тръба. Нова тръба с външен размер, по-малък от вътрешния размер на основната тръба, или се издърпва, или се изтласква в основната тръба [6]. При този метод е важно да се има предвид, че старата тръба трябва да е с осигурена пълна проводимост, не трябва да има чупки и изпъкналости. При избор на метода „тръба в тръба“ е необходимо да се съобрази, че при намаляване на диаметъра на основния изпускател ще се намали и неговият капацитет, като това може да бъде компенсирано от малката грапавина на тръбите, използвани в днешно време.

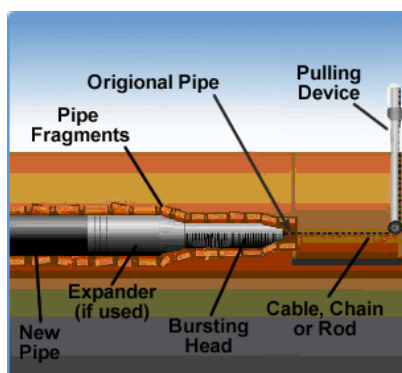
### **3.1.3. Вътрешно обновяване на тръбите чрез полагане на еластична двукомпонентна епоксидна смола**

За да се полага този вид облицовка, е необходимо предварително тръбата да бъде добре почистена, да бъдат премахнати всички отломки, тинести материали и наноси. Полаганият материал трябва да бъде нанесен равномерно. По този начин се осигурява защита от корозия и се намалява грапавината [5].

### **3.1.4. Втвърдена на място тръба (CIPP – CURED IN-PLACE PIPELINE)**

Един от най-новите методи за ремонт на тръби е CIPP. При метода се използват материали, подходящи за импрегниране със смола. Избраният материал се поставя в тръбата и се издърпва, като обикновено това се прави от горната точка за достъп. Обшивката може да бъде разположена с помощта на вода или въздушно налягане, а за ускоряване на втвърдяването може да се използва гореща вода, пара или ултравиолетова светлина, в зависимост от това какъв материал е използван. Предимство при метода е, че обновяването на тръбопровода може да се осъществи чрез минимално намаляване на съществуващия диаметър, като в същото време се подобрява коефициентът на хидравлично съпротивление. Друго предимство е преодоляването на чупки в хоризонтално и вертикално направление. Този метод е подходящ при влошено състояние на тръбопровода, но със съществуваща носеща способност [2].

### **3.1.5. Разрушаване без премахване на съществуващи тръби и монтиране на нови с по-голям диаметър**



**Фиг. 1. Разрушаване без премахване на съществуващи тръби и монтиране на нови [9]**

Това е метод за подмяна на тръбопроводи без направа на изкопи. Използва се разширяваща глава с по-малък диаметър в предния край и с достатъчно голям заден край, за да се побере новата тръба. Старата тръба се напуква и разрушава, остатъците от нея остават около новоположената. Този метод може да се използва за увеличаване на капацитета на съществуващия изпускател чрез замяна на по-малки тръби с по-големи. Недостатък при него е, че не може да се използва при армирани и подсилени тръби, както и трудното осигуряването на водоплътността между старата и новата тръба.

### 3.1.6. Разрушаване и премахване на тръбите

Подобен на предходния метод с разликата, че старата тръба се разрушава и премахва с помощта на шнек и хидравличен конвейер. Също може да се използва за увеличаване на капацитета на съществуващия изпускател чрез замяна на по-малки тръби с по-големи. Недостатък и при този метод е, че не може да се използва при армирани и подсилени тръби [2].

### 3.1.7. Хоризонтален сондаж

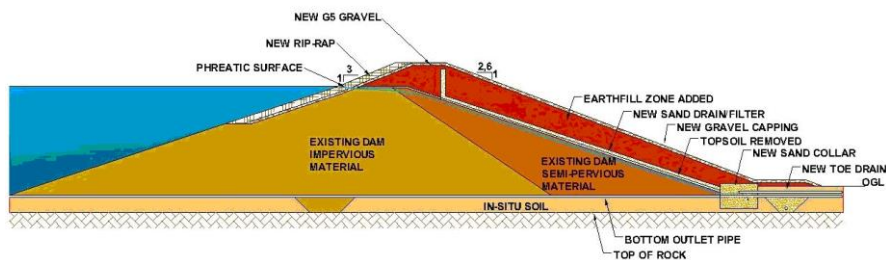
Този метод е подходящ за изграждането на нов основен изпускател. Тази техника е най-полезна за гъвкав тип тръба, като стоманена или полиетиленова. Обикновено процесът започва с пробиване на малък пилотен отвор по желаната средна линия на предложен профил с непрекъснатата струна от стоманена бормашина. Когато главата на отвора и пръта се появят на противоположната страна, обикновено се прикрепя специален резач, наречен „задан райбер” и се изтегля обратно през пилотния отвор. Райберът пробива пилотния отвор, така че тръбата да може да се изтегли [6].

### 3.1.8. Изграждане на микротунели

Тази техника е полезна в ситуации, при които монтажът на тръба с открит изкоп не е икономичен или възможен. Освен това е много подходящ за изграждане на гравитачни тръбопроводи, които изискват строг контрол на наклона и посоката [3]. Микротунелните пробивни машини са много подобни на нормалните машини за пробиване на тунели (ТВМ), но в по-малък мащаб. Машината за пробиване на микротунел (МТВМ) трябва да се управлява дистанционно от контролен пулт поради малките си размери [7].

## 3.2. Методи за осигуряване на стената срещу преливане

### 3.2.1. Повишаване на височината на язовира с оглед на по-високо максимално водно ниво



Фиг. 2. Повишаване на височината на стената [2]

Надграждането на земно-насипни язовирни стени започва от петата на стената. Полага се нов пласт от земен насип. Изборът на материал за надграждането на язовирната стена трябва да бъде съобразен с материала, от който е изградена съществуващата стена, като между нея и новия пласт е необходимо да се изгради дренажна система. Подобрата връзка между съществуващия и новия насип се осигурява чрез настъпяване на първия. За осигуряване на водоплътност старият водонепропусклив елемент трябва да се свърже с този, избран за надграждането.

### 3.2.2. Изграждане на една или повече допълнителни преливни секции

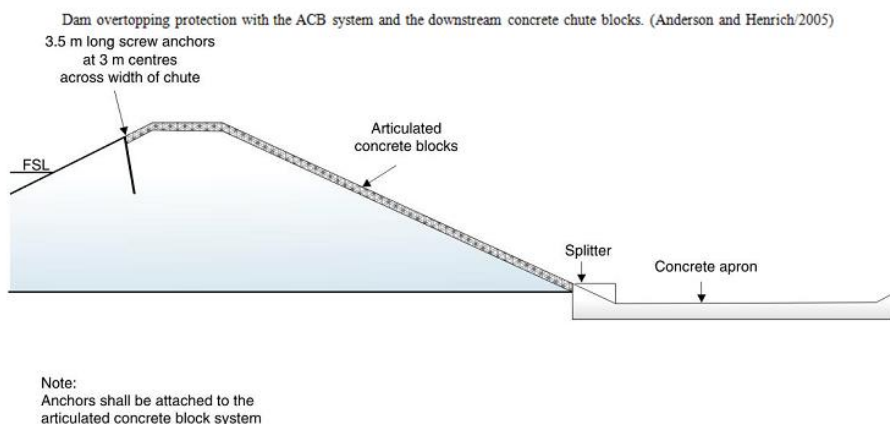
Повечето преливници на земно-насипните язовирни стени са извън тялото на самата стена. При подходящи условия реконструкцията на преливника може да се осъществи чрез увеличаване на неговия капацитет, като се добавят допълнителни преливни полета. Когато това не може да бъде изпълнено, е възможно да се изгради втори допълнителен преливник. Местоположението трябва да бъде съобразено с теренните условия.

### 3.2.3. Изграждане на масивен парапет

Изграждането на масивен парапет върху короната на язовирната стена е метод, чрез който се повишава най-високото водно ниво в язовира. Важно да се вземе предвид начинът, по който ще се осъществи водоплътността между водонепропускливия елемент на съществуващата стена и самия парапет. Парапетът трябва да бъде така проектиран, че да може да поеме натоварванията от водата, вълните и водния подем [10].

### 3.2.4. Укрепване на короната и на въздушния откос, за да може да се осигури при евентуално преливане през нея

Преливането през короната на язовирната стена е една от основните причина за разрушаване на стената. Предотвратяването на преливане през короната на съществуващите язовири може да бъде скъпа инвестиция и често изисква модифициране на преливника или надграждане на язовирната стена. Друго решение може да бъде укрепването на стената, за да се позволи преливане през нея. За тази цел могат да се използват съчленени блокове или валиран бетон. Този вид облицовка трябва да бъде така проектиран, че да се гарантира предотвратяването на ерозия, разместване на отделните сегменти и разрушаването им [2].



Фиг. 3. Укрепване на короната и въздушния откос със съчленени блокове [2]

### **3.2.5. Изграждане на устройства за задържане на водни обеми по време на наводнения или дори язовир нагоре по течението**

Конструирани и изграждани на други хидротехнически съоръжения нагоре по течението е на практика изграждане на нов язовир или друго водохранилище за задържане на водни обеми. Към този метод може да се пристъпи, когато всички други методи са недостатъчни. Необходимо е да се направи и икономическа обосновка.

## **3.3. Методи за реконструкция на стената – повишаване на устойчивостта на откосите**

### **3.3.1. Затежняване на откосите**

За подобряване на устойчивостта на земно-насипните язовирни стени е възможно да се направи затежняване на въздушния, водния или и на двата откоса. Често се извършва затежняване на въздушния откос. При този метод е необходимо да се направи оценка на характеристиките на съществуващия насип. Задължително се избира подходящ материал за изпълнение на насипа за затежняване и се правят изчисления за определяне на наклона и устойчивостта на откосите. Обикновено преди започване на затежняването се премахва най-горният хумусен пласт. При затежняване на въздушния откос се предвижда и изграждането на допълнителен дренаж, като най-често прилаганият тип е вертикален дренаж, положен върху стария насип и свързан с новата дренажна система.

### **3.3.2. Затежняване в петата на язовирната стена (изграждане на опорна призма)**

Определяща роля за вида и местоположението на затежняването на откосите имат меродавните хлъзгателни повърхнини с недостатъчни коефициенти на сигурност срещу хлъзгане. Когато те са дълбоки и „излизат“ зад петата на изследвания откос, вместо да се затежнява целия откос, е възможно да се изпълни контранасип само в петата на язовирната стена. Необходимите параметри на затежняването (височина, дължина, откосни отношения и вид на материала) се определят след изчисления. Принципът на затежняване е същият като при предходния метод.

### **3.3.3. Полагане на водопълтен елемент по водния откос**

Подобряването на водопълтността може да окаже значителен ефект върху устойчивостта на земно-насипните стени. По водния откос могат да бъдат изпълнени различни екрани. Благодарение на тяхната водопълтност се понижава нивото на депресионната повърхност в тялото на стена, а с това и хидродинамичното налягане, което от своя страна повишава сигурността на самата стена. Най-широко разпространени са глинените екрани. С напредването на развитието и откритието на непочвени водопълтни материали започват да се използват корави бетонни екрани и гъвкави стоманобетонни екрани, метални и асфалтобетонни екрани. През последните години все по-често се използват различни синтетични екрани. В настоящия доклад са разгледани само три геосинтетични материала, подходящи за подобряване на водопълтността при малките насипни язовирни стени.

- **Геомембрани от полиетилен с висока плътност (High density polyethylene – HDPE)**

HDPE представлява синтетична геомембрана с много ниска пропускливост. Полимерните листове, от които са направени геомембраните, са непрекъснати и сравнител-

но тънки. Те могат да бъдат произведени от импрегнирането на геотекстили, еластомер или полимерни спрейове. По-новите материали за направа на HDPE геомембрани се състоят от полиетилен с висока плътност, произведен от нови смоли и несъдържащи запълнители, пластификатори или модификатори от всякакъв вид с изключение на въглеродни сажди. Непрекъснатите полимерни геомембрани са сред най-разпространените. Недостатък при геомембраните е тяхното бързо стареене при излагане на ултравиолетова светлина. При някои видове геомембрани устойчивостта на температурни влияния е подобрена и е в границите от -3 до +6 °C. Съществен проблем е полагането на защитен насип върху вече поставените и закрепени полимерни листове.

- **Битумни геомембрани (БГМ)**

БГМ обичайно се състоят от иглонабит, нетъкан полиестерен геотекстил, усилен със стъклени нишки, покрит с порест битум. Долната страна на БГМ може да бъде с полиестерен филм срещу проникване на корени, свързан с битума, а горната повърхност да има пясъчно покритие, също така свързано с битума. БГМ се доставят на рула.

Съединяването на отделните ивици на БГМ се извършва чрез заваряването им. Застъпването на шевове, които се изпълняват чрез газоокислородно заваряване на ширина (минимум) 200 mm с помощта на механизирани машини за горещ въздух, осигуряват заварена лента с ширина минимум 250 mm.

- **Геоглинен екран (Geosynthetic clay liners – GCLs)**

Геосинтетичните глиненни мембрани са фабрично произведени водоплътни елементи, включващи слой от бентонит или друг материал с много ниска пропускливост, защитен от геотекстил и/или геомембрани, механично свързан чрез зашиване или чрез химически лепила. Най-често общата структура се състои от два слоя полипропиленови геотекстила, защити заедно, затварящи слой от естествен или обработен натриев бентонит. Използва се тъкан и/или нетъкан геотекстил. Предимствата при GCL са малкото тегло, а бързото и лесно полагане не изисква високо квалифициран персонал, липса на скъпи снаждания (заварки) или употребата на тежко уплътняващо оборудване. Имат много добро уплътняващо свойство с предварително дефинирана проникваемост.

### **3.3.4. Подобряване на дренажната система**

В повечето случаи дренажната система на земно-насипни стени е недостъпна, което прави нейното обновяване и преустройство практически неизгодно. Един от методите за подобряване на дренажната система при земно-насипни стени е изграждането на дренажни кладенци след язовирната стена. Направата на наслоен дренаж, изграждането на допълнителна берма със система от дренажни тръби или дренажна призма също са възможни варианти.

## **4. Заключение**

Доброто стопанисване и експлоатация на малките язовирни стени са от съществено значение. Извършването на навременни ремонти, рехабилитации или дори реконструкции удължава живота им. С описаните техники и методи в настоящия доклад не се изчерпват всички възможни варианти за ремонт и реконструкция. Методите за ремонт и реконструкция на всеки язовир са строго индивидуални. Всеки един от предложените в



този доклад методи има своите предимства и недостатъци, затова е необходимо да се направи анализ, оценка и икономическа обосновка, за да се избере най-добрият вариант за конкретния случай.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Historical review on ancient dams. Bulletin 143, CIGB ICOLD, 2013.
2. Small dams – Design, Surveillance and Rehabilitation. Bulletin 157, CIGB ICOLD, 2016.
3. Central Water Commission Ministry of Water Resources, River Development & Ganga Rejuvenation, Government of India, Manual for Rehabilitation of large dams, Doc. № CDSO\_MAN\_DS\_02\_V1.0, 2018.
4. <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/Trenchless/Methods/Pipe-Rehabilitation/Slip-lining-process-with-PE100-pipe-i1306.html>, посетен на 04.11.2019.
5. <https://abergeldie.com.au/projects/pipe-relining-systems-2/spray-lining-pipe-relining/>, посетен на 04.11.2019.
6. <https://trenchlesstechnology.com/meet-the-experts-horizontal-directional-drilling-hdd/>, посетен на 04.11.2019.
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microtunneling>, посетен на 04.11.2019.
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cured-in-place\\_pipe](https://en.wikipedia.org/wiki/Cured-in-place_pipe), посетен на 04.11.2019.
9. <https://www.trictools.com/sewer-pipe-line-repair-relining-versus-pipe-bursting/>, посетен на 04.11.2019.
10. Technical Manual: Overtopping protection for dams, FEMA P-1015, 2014.
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Geosynthetic\\_clay\\_liner](https://en.wikipedia.org/wiki/Geosynthetic_clay_liner), посетен на 05.11.2019.
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/High-density\\_polyethylene](https://en.wikipedia.org/wiki/High-density_polyethylene), посетен на 05.11.2019.
13. United States Department of the Interior, Design of small dams – A water resources technical publication.
14. *Afonso Jose*. An overview of safety of small dams in Portugal, 2018.
15. *Haselsteiner Ronald*. Current methods and trends for levee rehabilitation works in Germany, 2018.
16. Rockfill dams whit concrete facing, Bulletin 70, CIGB ICOLD 1989.
17. Bituminous cores for fill dams, Bulletin 84, CIGB ICOLD 1992.
18. Watertight geomembranes for dams – Bulletin 78, CIGB ICOLD 1991.
19. *Патоков, Ив.* Хидротехнически съоръжения I част – Бетонни язовирни стени, 1995.
20. *Патоков, Ив.* Хидротехнически съоръжения II част – Язовирни стени от местни материали, облекчителни и водовземни съоръжения, 1997.
21. *Паназчев, Ив.* Ръководство за проектиране на хидротехнически съоръжения, 1987.
22. Норми за проектиране на хидротехнически съоръжения. Основни положения, 1985.
23. Норми за проектиране на насипни стени, 1986.
24. Закон за водите.
25. Наредбата за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях, както и на контрол за техническото им състояние.

# DAMS FROM ANCIENT TIMES UNTIL TODAY – DESIGN, PURPOSE, OBSERVATION, RECONSTRUCTION

I. Galabova<sup>1</sup>

*Keywords: dam, small dams, fill dams, repair, reconstruction, purpose*

## ABSTRACT

There is evidence of the existence and construction of dams from 5,000 years ago. The main reasons for the construction of these hydrotechnical facilities have not changed significantly: they were mainly used for irrigation, watering of livestock and fish farming, and today they are also used to meet drinking and household needs, power generation, recreation, etc.

Globally, small dams represent the majority of dams as a whole. According to ICOLD Bulletin # 143, they are about 90% of all dams. The construction of the first dams can be defined as that of the earthfill or rockfill dams nowadays, and we would classify them as small dam walls.

For the good and reliable operation of the dams, several methods and practices have been established. They change and develop with a better understanding of the processes, phenomena and interconnections that take place in these facilities.

As the years of operation of the dams have progressed, various repairs and, in some cases, reconstruction must be carried out to extend their life.

This paper focuses on small dams, their development over the years, their operation and methods of repair and reconstruction.

---

<sup>1</sup> Iilina Galabova, Eng. PhD student, Dept. "Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering ", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ilinagalabova@gmail.com