



Получена: 20.12.2019 г.

Приета: 22.01.2020 г.

ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕСИ, НАЛАГАЩИ РЕХАБИЛИТАЦИЯТА НА ХИДРОТЕХНИЧЕСКИ ТУНЕЛИ

И. Стефчева¹

Ключови думи: хидротехнически тунели, рехабилитация, експлоатация на ХТТ

РЕЗЮМЕ

Подземните хидротехнически съоръжения са сложни и скъпоструващи. В България са изградени стотици километри хидротехнически тунели (ХТТ) като значителна част от тях достига края на предвидения в проекта експлоатационен период. По време на експлоатацията различни явления и процеси оказват влияние върху съоръженията и са причина за предприемане на мерки по рехабилитацията им. Повредите по конструкцията на хидротехническите тунели се дължат основно на въздействието на външни влияния – планински натиск, външен и вътрешен воден напор, температурни напрежения и химичен състав на водата. Рехабилитацията на тунели цели възстановяването на проектните им характеристики или привеждането им към нормални експлоатационни условия. В доклада е отделено внимание на явленията и процесите, произтичащи от тези въздействия и определящи необходимостта от рехабилитация.

1. Въведение

Експлоатацията на водосиловите системи води до тяхната амортизация. Най-силно засегнати са откритите съоръжения и машинните части на водните електрически централи. Както установяват задължителните технически огледи, при подземните водопровеждащи съоръжения, особено тунелите, които са изложени на много по-малко външни неблагоприятни влияния, се наблюдават минимални изменения и в редки случаи възникват значими повреди.

¹ Ина Стефчева, инж. докторант, кат. „Хидротехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: cuup@abv.bg

2. Класификация на факторите, влияещи върху състоянието на ХТТ

Факторите, които влияят върху състоянието на хидротехническите тунелите са следните:

- Геоложки – предпроектните геоложки проучвания често се различават от действителния геоложки строеж на скалния масив. Това налага бърза промяна на проекта в процеса на строителство.
- Хидроложки – подобно на горните, хидроложките фактори са свързани с неправилна оценка на подземните води и/или промяна на техния режим.
- Метод и технология на изграждане – избраният метод за изпълнение на изкопните работи влияе върху състоянието на скалния масив (разхлабеност, напуканост). Технологията на облицовъчните работи влияе върху качеството на облицовката и контакта ѝ със скалния масив.

3. Класификация на ХТТ

Хидротехническите тунели се делят според начина на своето действие, според типа на крепежната конструкция и според функцията, която изпълняват. Те биват:

- безнапорни;
- напорни;
- облицовани;
- необлицовани.

4. Явления и фактори, влияещи върху състоянието на ХТТ

Най-голямо влияние върху разрушаването на тунелните облицовки и промяната в състоянието на скалния масив при хидротехническите тунели оказват водите. Неагресивните води разслояват и изнасят фини частици от обкръжаващите тунелната конструкция слаби скални породи. Вследствие на суфозията скалният масив се разхлабва, губи своята устойчивост и увеличава натоварването върху облицовката. Вследствие на високите скорости на провежданата вода и отложените в нея фини частици се проявява явлението абразия, което води до увеличаване на коефициента на грапавина на облицовките. Нерядко се появяват обрушвания и каверни под облицовката. При необлицовани тунели високата скорост на водата може да доведе до обрушване на скални късове, които се отлагат по дъното на тунела, увеличават хидравличните загуби и намаляват светлото му сечение или биват влачени и могат да нанесат щети върху тръбопроводите или турбините на водоелектрическите централи. Агресивните води, съдържащи сулфатни соли и свободна въглена киселина, предизвикват отделяне на свободна вар от бетона, излужване на свързващи вещества (цимент, хидратна вар) при зидани облицовки и влияят негативно върху водоплътността на подземните конструкции.

Поради условията на работа, водоплътността при безнапорните тунели се счита за по-малко значима, отколкото при напорните. Наблюденията показват, че в периода на експлоатация липсата на микропукнатини в тунелните облицовки е рядкост. При нато-

варване на конструкцията с работния воден напор, което е характерно експлоатационно състояние за напорните тунели, се появяват загуби на вода от тунела към скалния масив. Водопропускливостта на тунела се характеризира с водоплътността на обкръжаващия го скален масив. Когато тунелът има достатъчно скално покритие и скалният масив е относително водонепропусклив, се наблюдава формиране на филтрационна зона, формирана от просмуканата през пукнатините или недобре уплътнените работни fugи вода. Вследствие на намаляването на ефективния напор, загубите на вода от тунела постепенно намаляват и могат да достигнат стойности, които са без практическо значение. Подобен случай се наблюдава при главната напорна деривация (ГНД) на ВЕЦ „Батак“. Напорният тунел е с диаметър $D = 2,40$ m и дължина $L = 11772$ m. Премахва предимно през кристалинни шисти и риолити (табл. 1). При първия технически оглед, извършен след въвеждане на съоръжението в редовна експлоатация, се установяват множество пукнатини, през които тече вода, чийто дебит с времето намалява.

Таблица 1. Геоморфоложки строеж на скален масив при ГНД на ВЕЦ Батак

Петрографски формации	Дължина, m	Процент, %
Риолит	6562	55,50
Кристалинни шисти	3929	33,57
Мрамори	616	5,20
Риолитов туф	467	3,91
Олигоценски седименти	216	1,82

При оглед на тунела през 1997 г. се потвърждават констатациите за състоянието му след пробната експлоатация. Установено е, че основните нарушения са при контра-свода, в областта на който се наблюдават множество каверни, изравнения в торкрета, на места разкриване на армировката до основната бетонна облицовка. Пукнатините при контра-свода са отворени и представляват основните пътища на водата през облицовката. На места е наблюдавано и разместване между контра-свода и стените на тунела. Тези явления се проявяват в най-голяма степен в участъка от I до IV прозорец (снимка 1 – 4).

Водопропускливостта при безнапорни тунели може да доведе до образуване на каверни и разхлабване на скалния масив. Главната безнапорна деривация на последното стъпало на Баташки водносилов път – ВЕЦ „Алеко“ – е тунел „Алеко“, който е с дължина около 10 km и преминава през среднопланински терен, засегнат най-силно от проявите на тектонски процеси по северния склон на Родопите. Скалите в участъка на деривацията са силно натрошени, смачкани, изветрели и в много случаи глинясали. Районът се характеризира като неблагоприятен за тунелно строителство, поради инженерно-геоложките условия (табл. 2).

Поради разширяването на ВЕЦ „Алеко“ с трети хидроагрегат, се е наложило увеличаване на напречното сечение на тунела чрез удълбаване на дъното с 50 cm.

За намаление на влиянието на външния воден натиск, в свода на тунела са пробити дренажни дупки под ъгъл 45° във водоносните скали. Дупките са разположени шахматно от двете страни на свода през 3,0 до 6,0 m. От вътрешната страна на тунела по намокрения периметър е положена циментова замазка.



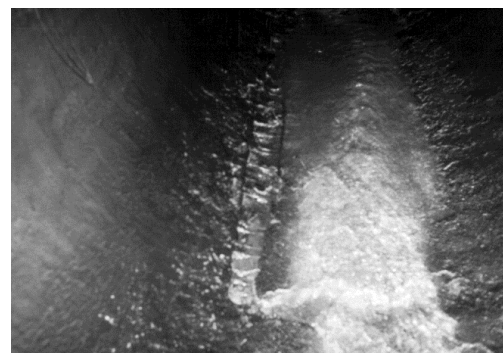
Снимка 1. Нарушение в облицовката на тунел Батак



Снимка 2. Надлъжна пукнатина в облицовката на тунел Батак



Снимка 3. Нарушение в облицовката на тунел Батак



Снимка 4. Нарушение в облицовката на тунел Батак

Таблица 2. Геоморфоложки строеж на скален масив при тунел Алеко

Петрографски формации	Дължина, м	Процент, %
Мрамори	3496	35,30
Кристалинни шисти	2711	27,30
Риолит	2394	24,10
Плиоценски глини и пясъци	558	5,60
Олигоценски седименти	473	4,70
Кварцов диорит	280	3,00

За обезпечаване на съвместно действие на облицовката със скалата при поемане най-вече на страничния планински натиск са изпълнени запълнителни инжекционни работи главно в свода, от цименто-пясъчен разтвор. Не са инжектирани участъците в мрамори и здрави шисти, тъй като не е констатиран планински натиск.

При извършения през 2006 г. оглед са забелязани множество пробиви по облицовката на контрастова по цялата дължина на участъка от IV-ти до V-ти прозорец, които са

източник на концентрирани течове. Размерът на пробивите варира от 1 cm до 30 cm в диаметър. Описани са над 100 пробива през цялата облицовка и разширяващи се в дълбочина. При някои от тях се вижда основната скала (снимки 5 – 8).



Снимка 5. Характерни нарушения по дъното на тунел Алеко



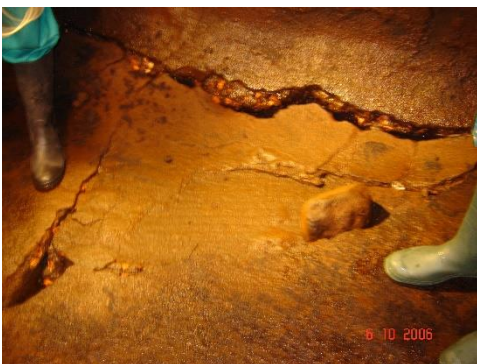
Снимка 6. Характерни нарушения по дъното на тунел Алеко



Снимка 7. Характерни нарушения по дъното на тунел Алеко



Снимка 8. Характерни нарушения по дъното на тунел Алеко



Снимка 9. Тунел Алеко km 6+440 – пропаднало дъно



Снимка 10. Тунел Алеко km 6+440 - пропаднало дъно

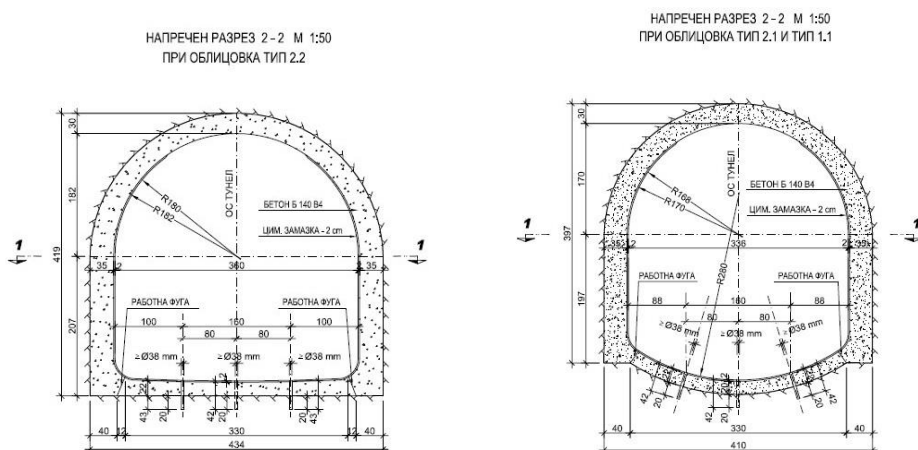


Снимка 11. Тунел Алеко km 6+440 – пропаднало дъно

В зоната на km 6+440 е открит пропаднал участък по цялата ширина на дънната облицовка. Под облицовката е установена каверна в скалата с дълбочина 40 – 50 cm. В протежение на около 30 m от двете страни, между стените и дъното са наблюдавани отворени надлъжни пукнатини. По стените и свода не са наблюдавани нарушения (снимки 9 – 11).

През 2012 г. е извършено укрепване на дъното на тунел Алеко от km 5+629 до km 5+959 и от km 6+032 до km 6+113 (участък от IV до V прозорец) (фиг. 1). Сондажно-инжекционните работи са извършени в три етапа:

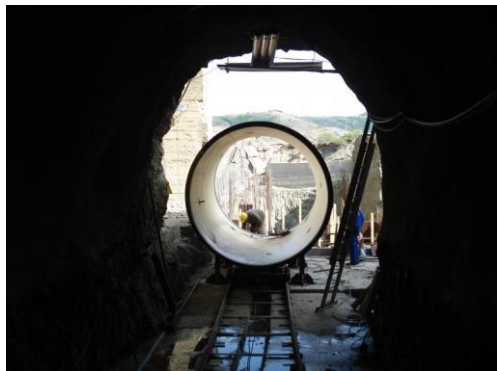
- I етап: Пробиване на дупки с минимален диаметър 38 mm и с дълбочина минимум 20 cm в скалния масив;
- II етап: Промиване на дупките с вода под налягане 0,10 MPa (1 atm);
- III етап: Изпълнение на запълнително инжектиране с максимално налягане 0,15 MPa в зависимост от типа на облицовката с цименто-пясъчен разтвор (Ц:П=1) и циментови разтвори (В:Ц=2 до 0,5).



Фиг. 1. Тунел Алеко: инжекционни работи

Сериозно внимание трябва да се обърне при загуби на вода от плитко заложи тунели в слаби скални породи. При такива условия водата, преминала от тунела в скал-

ния масив, може да се появи на повърхността и да нанесе материални щети. Пример за това е напорният тръбопровод на ВЕЦ „Студен кладенец“, който е със сравнително малко скално покритие до 40 m и преминава през натрошен базалтоиден андезит. Установено е нарушение в облицовката след поява на вода на земната повърхност с дебит от 15 – 20 dm³/s.



Снимка 12. Разширение на ВЕЦ Студен кладенец 2007 г. – монтаж на панцеровка



Снимка 13. Разширение на ВЕЦ Студен кладенец 2007 г. – монтаж на панцеровка



Снимка 14. Разширение на ВЕЦ Студен кладенец 2007 г.

През 2007 г. е извършена реконструкция за разширение на ВЕЦ Студен кладенец, като е добавен още един хидроагрегат. Тръбопроводът на ВЕЦ е панцерован за избягване на водни загуби (снимки 12 – 14).

5. Заключение

Описаните явления показват, че в системата „хидротехнически тунел – скален масив“ протичат сложни хидравлично-механични процеси на взаимодействие, които влияят на поведението и състоянието на нейните елементи. Изследването на тези процеси е важно за класифициране на факторите на влияние върху конструктивната и технологичната сигурност на хидротехническите тунели и за определяне на приоритета на мерките

за рехабилитация на тези съоръжения. Поради многообразието на проблемите, класификацията на мерките по значимост и сроковете за изпълнението им се определят за всяко съоръжение, в зависимост от конкретните условия, при които то работи и от промените в неговото състояние.

Необходимостта от рехабилитацията на хидротехническите тунели се обуславя от настъпилите съществени изменения в режима на работата им и породените от това икономически загуби.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Георгиев, Л.* Експлоатация на водосилови системи. Техника, 1970.
2. *Ташев, В.* Изводи и препоръки от ремонта на напорен тунел на ВЕЦ Батак. Юбилейна конференция „50 години Хидротехнически факултет“, том III, София, 6 – 8 октомври 1999, УАСГ.
3. *Бешевлиев, И.* Ретроспекция относно проучвания, проекти и изпълнения на тунели и пряко свързани с тях обекти в периода 1950 – 2011 г. София, 2011.
4. Комитет по енергетика. Баташки водосилов път. София, 1961.

PHENOMENA AND PROCESSES REQUIRING REHABILITATION OF HYDROTECHNICAL TUNNELS

I. Stefcheva¹

Keywords: *hydrotechnical tunnels, rehabilitation, maintenance of hydrotechnical tunnels*

ABSTRACT

Underground hydrotechnical constructions are complicated and expensive. There are hundreds of kilometers of hydrotechnical tunnels built in Bulgaria, a significant part of which reach the project maintenance time. Different effects and processes occur in the maintenance period and they are the reason for taking measures for tunnel rehabilitation. Structural damages at hydrotechnical tunnels mainly arise due to effect of external influence – rock load, internal and external water pressure, temperature tension and chemical composition of water. Tunnel rehabilitation aims to restore the project performance or to set the structure in normal maintenance conditions. The paper focuses on the phenomena and processes that result from these impacts and determine the need for rehabilitation.

¹ Ina Stefcheva, Eng. PhD student, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: cuup@abv.bg