



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ
ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ**

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

Национална научно-техническа конференция

**„УПРАВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТ
НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА”**

28 октомври 2021 г.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ

Съорганизатори



Министерство на енергетиката
Министерство на икономиката
Министерство на околната среда и водите
Федерация на научно-техническите съюзи в България
Българска минно-геоложка камара
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Университет по архитектура, строителство и геодезия
Асарел Медет АД
Аурубис България АД
Геопроект ЕООД
Геострой АД
Геотехмин ООД
Геотрейдинг АД
Дънди прешъс металс Крумовград ЕАД
Дънди прешъс металс Челопеч ЕАД
Елаците мед АД
Каолин ЕАД
КЦМ АД
Мини Марица-изток ЕАД
Минстрой холдинг АД
Хидрогеокомплект ЕООД

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

**Национална научно-техническа конференция
„Управление и безопасност на
хвостохранилища”**

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

**проф. д-р Димитър Тошев, проф. д-р Георги Михайлов,
д-р инж. Кремена Дедеянова, инж. Стоил Димитров,
инж. Георги Петров**

ISBN 978-619-90939-7-9

Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия

СЪДЪРЖАНИЕ

	Стр.
СЪСТОЯНИЕ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАТА В БЪЛГАРИЯ – МИНАЛО И НАСТОЯЩЕ	5
Димитър Тошев, Тоньо Чолаков	
ДЕЙСТВАЩА НОРМАТИВНА УРЕДБА, РЕГЛАМЕНТИРАЩА РЕДЪТ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ИНСПЕКЦИИ НА СЪОРЪЖЕНИЯ ЗА МИННИ ОТПАДЪЦИ – ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОТ КАТЕГОРИЯ „А“ И КАТЕГОРИЯ „Б“	15
Георги Дачев	
УСКОРЕНО ОБЕЗВОДНЯВАНЕ И УПЛЪТНЯВАНЕ НА ДЕПОНИРАН ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ ЧРЕЗ МЪД-ФАРМИНГ	25
Цветан Дилов, Стоил Димитров	
ОБСЛЕДВАНЕ НА СТАТИЧЕСКА И ДИНАМИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА ХВОСТОВИ СТЕНИ	32
В. Анастасов, Й. Балачева, Ст. Димитров, В. Жипонова	
УВЕЛИЧАВАНЕ НА ХИДРАВЛИЧНАТА ВОДОПЛЪТНОСТ НА ГОРНИЯ ИЗОЛАЦИОНЕН ЕКРАН ПРИ ТЕХНИЧЕСКА РЕКУЛТИВАЦИЯ НА БАЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДРЕНАЖНИ ГЕОКОМПОЗИТИ С ВОДОНЕПРОПУСКЛИВА СЪРЦЕВИНА	45
Бранимир Братоев, Юлиян Величков, Радина Славова, Йонко Добрев	
ДЕПО ЗА ФАЯЛИТОВ ОТПАДЪК – „АУРУБИС БЪЛГАРИЯ“ АД ПИРДОП	54
Марияна Върбанова	
МОНИТОРИНГ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“	71
Стоил Трошанов, Владимир Додников	
КОМПЛЕКСНИ РАЗРЕШИТЕЛНИ НА СЪОРЪЖЕНИЯТА НА МИНИ МАРИЦА-ИЗТОК ЕАД И ПРИЛАГАНЕТО НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА СЪВМЕСТНО НАСИПВАНЕ НА ОТПАДЪЦИ ОТ ТЕЦ И ГЛИНИ, ПОЛУЧЕНИ ПРИ ДОБИВА НА ЛИГНИТНИ ВЪГЛИЩА	80
Владимир Етов, Деница Славова	

СЪЗДАВАНЕ НА 3D МОДЕЛ НА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ НАЗЕМНО ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ	85
Мариян Димитров, Марко Марков, Боримира Хаджиева	
АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В ИНЖЕНЕРНИ СЪОРЪЖЕНИЯ, СВЛАЧИЩА И ХВОСТОХРАНИЛИЩА	91
Антонио Ангелов	
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА ИЗЗЕТОТО ПРОСТРАНСТВО В КАРИЕРА ЗА ИНЕРТНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ ДЕПОНИРАНЕ НА АЗБЕСТОВИ ОТПАДЪЦИ	103
Делчо Кръстев, Ивайло Копрев, Евгения Александрова, Димитър Кайков	
МЕТОДИКА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ И ОБРАБОТКА НА ПРЕЦИЗНИ ДЕФОРМАЦИОННИ МРЕЖИ ПОСРЕДСТВОМ GNSS	112
Юри Цановски	



СЪСТОЯНИЕ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАТА В БЪЛГАРИЯ – МИНАЛО И НАСТОЯЩЕ

Проф. д-р инж. Димитър Тошев

Д-р инж. Тоньо Чолаков

Катедра „Хидротехника и хидромелиорации“ при УАСГ

1. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ

Докладът е посветен на т.н. специални наливни хидротехнически съоръжения - хвостохранилища, шламохранилища, сгуроотвали и хидроотвали/насипища/. Трябва да се отбележи, че тези съоръжения съпътстват индустриалното развитие на Европа и Америка през миналия век и понастоящем са ефективна мярка за опазване на околната среда в засегнатите територии.

У нас, наливните съоръжения получават развитие през втората половина на миналия век, главно през шейсетте години с изграждането на големите индустриални предприятия като МК «Кремиковци», МДК «Медет», «Горубсо» и други за добив на концентрати от желязо, мед, олово, цинк. За складиране на минните отпадъци от тези предприятия започва изграждане на хвостохранилища, като хв. «Кремиковци» за депониране на минните отпадъци от преработка на желязо съдържащи руди, «Медет» за медодобивен комбинат Медет, Бургаски медни мини, Обогастителните предприятия на урановата промишленост в Бухово и Елешница и др.

Хвостохранилищата са съоръжения за природосъобразно и безопасно съхранение на отпадъчния материал (хвост) като краен продукт от преработка на руди. Прието е определението: "Хвостохранилище (шламохранилище)" е инженерно съоръжение за съхраняване на ситно смлени минни отпадъци, обикновено от обогатяването, наред с променливи количества свободна вода, в резултат от третирането на минералните суровини и от пречистване и рециклиране на производствени води.

В процес на строителство и непрекъсната експлоатация са най-високото у нас хвостохранилище "Люляковица", което ще достигне височина над 200 метра, хвостохранилище "Бенковски 2" с височина около 120 m, хвостохранилище "Челопеч" и други.

Сгуроотвалите са съоръжения за природосъобразно и безопасно съхранение на сгуропепелина от изгаряне на въглища в ТЕЦ. Сгуроотвалите съхраняват сгуропепелните отпадъци при топлоелектрическите централи (ТЕЦ) в Маришкия каменовъглен басейн, Бобовдол, Русе, Перник, Кремиковци и др.

Шламохранилищата имат основното предназначение да поемат отпадъчния финнозърнест материал (шлам) от индустриалните предприятия и при добив на инертни материали. Това са преди всичко наливните съоръжения към преработвателните предприятия на черната и цветната металургия, към химическата, каолиновата, въгледобивната и други промишлености. Поради конструктивната и експлоатационна близост с хвостохранилищата, въпроси касаещи проектиране, строителство и експлоатация на шламохранилищата тук не се третират.

2. ИЗГРАДЕНИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА В БЪЛГАРИЯ

Хвостът е отпадъчен продукт при извличане на минерали от руда. Процесът включва преработване на рудничната скала, включително трошене на рудата и смилане до размери под 0,1÷0,2mm. Зърнометрията на смления отпадък зависи от вида на скалата и процеса на обогатяване. Обикновено хвостът представлява маса, която по зърнометрия се характеризира от среден пясък до прах и глина, оводнен, склонен към протичане при наличие на вода.

Отпадъкохранилищата (хвостохранилища, сгуроотвали и депа за отпадъци) заедно с язовирните стени са едни от най-грандиозните инженерни съоръжения със значителен риск за опазване на околната среда и защита на населените места и инфраструктурните обекти.

Констатира се липса на картотека на хвостохранилищата в България. По данни от проверки на РИОСВ от март 2006 година действащи са 17 хвостохранилища и спрени от експлоатация са 23 броя.



По наше проучване в Р България са изградени над 40 хвостохранилища и 10 сгуроотвали. От тях консервирани са 18 броя и некултивирани – 22 броя (Таблица 1).

Аварии в конструкцията им водят до негативни, дори катастрофични за района последствия. Затова при проектирането им се прилагат и развиват надеждни технологии и методи за изграждане на тези съоръжения. Хвостохранилищата са сложни и отговорни хидротехнически съоръжения с височина 100 и повече метра и обем десетки милиони кубически метра ситно смлян минен отпадък. У нас най-високо е изгражданото хвостохранилище при обогатителен комбинат "Асарел" с височина над 190 m. В процес на консервация е хвостохранилище "Медет" 110m.

Значим бе негативният принос на нашите реки в картината на замърсяване на повърхностните води. Може би, най-показателен пример бе река Места след урановия завод в Елешница, чиито води течаха в сиво синя окраска. Силно бе замърсяването на р. Струма след Перник, на реките в Софийското поле и т.н.

През втората половина на двадесети век такива съоръжения са изградени към стоманодобивния комбинат "Кремиковци", комбинатите за добив на мед в Пирдоп, Асарел- Медет, Бургаски медни мини, Оловно-цинковия комбинат в Кърджали, Горубсо, Обогатителните предприятия на урановата промишленост в Бухово и Елешница и редица други.

Проучването, проектирането, изграждането и експлоатацията им са подчинени на съвременните изисквания за опазване на околната среда, залегнали в нормативни документи като Управление на минните отпадъци, Наредба №6 от 2013 г. за условията и изискванията за изграждане и експлоатация на депа и на други съоръжения и инсталации за оползотворяване и обезвреждане на отпадъци, Наредба за условията и реда за експлоатация на язовирните стени, както и в международни нормативи.

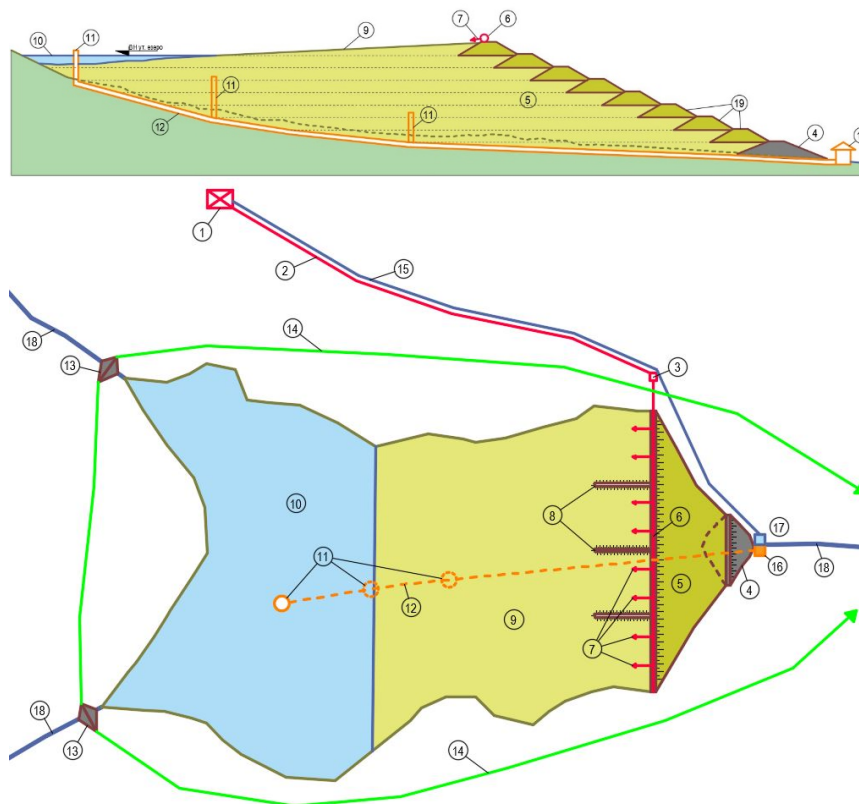
ТАБЛИЦА 1. Списък на изградените хвостохранилища в Р България

Барит	Лютаджик
Бенковски – 1 (консервирано)	Лютаджик (консервирано)
Бенковски – 2	Маджарово
Берковица	Малко Търново (не се намира)
Бухово	Медет (не се намира)
Върли бряг (не се намира)	Мечи дол
Вятово	Осогово – 1 (консервирано)
Голям Буковец	Осогово – 2 и 3
Депо за фаялитов отпадък - Пирдоп	Отвал за фосфогипс на "Неохим" АД- гр. Димитровград
Елешница (консервирано)	Преколница
Елисейна	Радка (консервирано)
Елшица	Росен – 1 (консервирано)
Ерма река	Росен – 2 (консервирано)
Злата (консервирано)	Рудозем – 1 (консервирано)
Каолиново	Рудозем – 2
Кремиковци	Сеново
Кърджали – 1 (консервирано)	Синята лагуна – Пирдоп (консервирано)
Кърджали – 2	Соди Девня
Лъки – 1 (консервирано)	Устрем – 3
Лъки – 2	Устрем – 4
Лъки – 2 (временно)	Челопеч
Люляковица (Асарел)	Чипровци

3. СЪСТАВ НА ОТПАДЪЧНОТО СТОПАНСТВО

Отпадъчното стопанство представлява комплекс от съоръжения за:

- Транспортиране на отпадъка – мокър, сух или след пастиране;
- Изграждане на основна стена, депониране на отпадък зад нея и поетапно надграждане във височина;
- Намиване или наливане на хвоста в отпадъкохранилище;
- Утаяване на суспендираните частици;
- Избистряне на използваните води и включването им в оборотен цикъл.



Фиг.1. Схема на хвостово стопанство – ситуация и напречен разрез през стената

1-РПП/ОФ; 2-главен магистрален пулпопровод; 3 - преходна шахта (зумпф); 4-основна стена; 5-стена на хвостохранилището (сгуроотвала); 6-разпределителен пулпопровод; 7-навивни отклонения (изтичала); 8-напречни диги; 9-плаж; 10-утаечно езеро; 11-водоотливно съоръжение (водоотливна кула ВК); 12-колектор за избистрени води; 13-отбивни язове (баражи); 14-поясни (скатови) канали; 15-оборотен водопровод; 16-резервоар; 17-помпена станция за избистрени води (ПСИВ); 18-дере (река); 19-вторични диги

При нормална експлоатация, водите постъпващи в хвостохранилищата се включват в оборотен цикъл за използване в технологичния процес (смятане на рудата, флотация и отделяне на отпадъка от концентрата). За безопасно отвеждане на високите атмосферни води се изграждат преливници и безнапорни колектори.

Трябва да се отбележи, че пълен оборотен цикъл е абсолютно задължителен при преработка руди съдържащи уран, олово, цинк, мед и някои други минерали.

3.1. ВИДОВЕ ТРАНСПОРТ НА ОТПАДЪЧНИЯ ПРОДУКТ

Хидротранспортът (транспорт на хвост във вид на пулп) е традиционно техническо решение с приложение в индустриалните държави през двадесети век. Също така, почти всички наши хвостохранилища са с изградени хидротранспортни системи, вкл. обратно водоснабдяване за предотвратяване на постъпването на технологични води в околните терени.



Недостатък е, че за тях е необходимо значително количество свежа вода, която след технологичния цикъл е предпоставка за замърсяване на околната среда. Наблюдава се тенденция към намаляване на транспортираните пулпови количества чрез прилагане на съвременни технологии, например пастова технология, при които рязко се редуцира обема на отпадъчните води.

Сух транспорт, чрез автомобилен или лентов транспорт, който намира приложение при транспорт на сгуропепелина от ТЕЦ. Основен проблем при този вид транспортиране на отпадъчния продукт е ветровата ерозия и необходимост от адекватни мерки срещу запрашаване на околната среда.

Лентови транспортъори са приложени при сгуроотвал „Каменик“ към ТЕЦ Бобовдол, сгуроотвала на ТЕЦ „Марица изток-2“ и др., снабдени със затварящи се гумени ленти за ограничаване на разсипване на пепелина по трасето и запрашаване на въздуха.

Пастово транспортиране на отпадъка представлява пълен затворен цикъл на преработка на отпадъка с ниско съдържание на свежа вода. Изборът на технологията на пастово депониране се реализира на базата на технико-икономически критерии и оценка на въздействието върху околната среда. Изборът на тази технология се прави на базата на сравнителен анализ между разходите за съгъстяване, транспортиране и полагане на отпадъка и тези по традиционната технология без съгъстяване на пулпа. Пулповите водни количества при съгъстяване силно намаляват, но нарастват разходите за хидравличен транспорт.

Приложението на пастовата технология е широко разпространено в Канада, САЩ, Перу, Чили, Бразилия, Австралия, Великобритания и други страни. У нас Дънди Прешъс Метал Челопеч прилага съгъстяване на пулпа до паста за обратно запълнение на подземните руднични изработки с отпадъчен хвост. Същата фирма внедри пастова технология в експлоатацията на Инженерно съоръжение за складиране на минни отпадъци от преработка на златосъдържащи руди край Крумовград.

3.2. ИЗГРАЖДАНЕ НА ОСНОВНА СТЕНА, ДЕПОНИРАНЕ НА ОТПАДЪК ЗАД НЕЯ И ПОЕТАПНО НАДГРАЖДАНЕ ВЪВ ВИСОЧИНА

В практиката, в зависимост от начина на депониране на отпадъка, различаваме следните типове хвостохранилища – наливни, наливни (язовирен тип) или наливни с хидроциклонизиране. У нас основният тип са наливните хвостохранилища и сгуроотвали. В конструктивно отношение те се състоят от основна (стартова) стена, която прегражда речната долина и формира необходимия обем за депониране на отпадък. В процеса на експлоатация тази стена постепенно се надгражда с т.н. вторични хвостови или земни диги до необходимата височина. Депонирането на отпадъка се извършва чрез наливане от билото на вторичните диги (upstream method), прилагайки технология, при която се поддържа плажна ивица с дължина 3 – 4 пъти височината на формирания въздушен откос. Този тип на изграждане осигурява добро дрениране на наливния масив, ниска депресионната повърхност и добра устойчивост на въздушния откос. По този начин са изградени най-високите хвостохранилища у нас.

3.3. ХВОСТОХРАНИЛИЩА ЯЗОВИРЕН ТИП

При ситно смлян отпадък със съдържание на шлам под 0,075 mm над 80%, в съответствие с технологичните изисквания на обогатяването се формира намит масив с ниска якост, който не е подходящ за участие в структурата на хвостохранилището. Тогава се прилага наливен тип, при който хидротранспортната система излива пулпа директно в утаечното езеро. Необходимият обем за депониране се формира чрез преграждане на долината с язовирна стена. Това са т.н. хвостохранилища язовирен тип. Примери за хвостохранилища от язовирен тип са следните две хвостохранилища:

Хвостохранилище „Ерма река“, на река Ерма река при Златоград е в експлоатация от 60-те години на миналия век. Пулпът от ОФ изтича в реката, където водното ниво се подприщва с насипна язовирна стена и служи за утаяване на хвоста и избистряне на водите. Избистрените води преливат през шахтов преливник и заустват в река Голяма, приток на р. Върбица. Недостатък на това

технологично решение е, че при високи води в реката не се достига добро утаяване на хвоста и нормативно избистряне на водите, които преливат (Фиг.1 и 2).



Фиг.2. Хвостохранилище „Ерма река“ - утаечно езеро с преливна шахта за избистрени води

Хвостохранилище „Лъки“, на р. Юговска при гр. Лъки. Технологията включва язовир „Лъки“ с основни функции утаяване на хвоста и избистряне на водите. Важно е да се отбележи, че язовирът попада върху силно окарстен скален терен, през който се губи вода, което е довело до пълно изтакане на язовира.

3.4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ХИДРОЦИКЛОНИ ЗА ДОБИВ НА МАТЕРИАЛ, ПОДХОДЯЩ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА СТЕНАТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕТО

Хидроциклоните са съоръжения, които използвайки центробежни сили, отделят пясъчната фракция от фините частици (шлам) в пулпа. Те притежават проста конструкция и широко се използват за отнемане на шлам от почвените смеси. Като негатив може да се посочи, че се изисква разход на енергия.

Идеята е едрият материал (пясък) да се отложи върху плажа, а най-финия (шлам) под 0,075 mm – в утаечното езеро. От пясъчния материал се изграждат етапни диги, оформящи външната зона на стената (въздушния откос). Понякога този материал се използва за полагане на пясъчни слоеве, разположени на различни коти, с цел дрениране и ускоряване консолидацията на намития отпадък. В зависимост от процентното съдържание на пясък в отпадъка, вторичните диги формират по-тънка или по-дебела външна устойчива зона на въздушния откос.

Показателни за внедряване на хидроциклонирания материал в конструкцията на хвостохранилищата са следните положителни примери:

- Хвостохранилище „Бенковски 1“ е изградено по схемата „от воден към въздушен откос“, при което хидроциклонираният хвост се полага върху въздушния откос. Понастоящем по тази технология успешно се изгражда Хвостохранилище „Бенковски 2“.



Фиг.3. Изграждане на хвостохранилище с хидроциклониран хвост

- Хвостохранилище „Челопеч“ – в ранен етап на изграждане е вложен хидроциклониран хвост между две основни стени, формиращи пропусклив насип за дрениране на стената в петата на въздушния откос.
- Хвостохранилище „Люляковица“ при Асарел Медет – хидроциклониран хвост е положен на няколко нива върху плажа за формиране на площи дренажи под въздушния откос.

4. ПРОЦЕСИ И ВЪЗДЕЙСТВИЯ СЪПЪТСТВАЩИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА

През дългогодишното изграждане/експлоатация на хвостохранилищата аналогично на земните язовирни стени се проявяват редица източници на негативни процеси в следните направления:

- Директни въздействия върху устойчивостта на стената (атмосферни условия като дъжд, сняг, ниски температури, земетресения, геоложки изненади и други);
- Индиректни въздействия, включително неадекватни проектни концепции, аварии в конструкциите и конструктивните материали, лошо поддържане и липса на контрол.
- Последствия от тези негативни въздействия – водни и шламови потоци, химична токсичност и радиоактивност.

Тези въздействия са израз на конкретни неблагоприятни явления:

- Филтрация през стената, основата и в обход на стената;
- Вътрешна ерозия на скелета на почвения масив;
- Суфозионно разрушаване;
- Филтрационен прорив в контакта със съоръжения;
- Контактен размив при бетонните съоръжения;
- Колматация на дренажите;
- Сеизмични въздействия.



Филтрационна якост и устойчивост

Филтрацията при хвостохранилищата се проявява като просмукване на вода от утаечното езеро, през наливния масив, скатите и основата към долния участък (петата на въздушния откос). Филтрационните изследвания, задължителни при проектирането при наливните съоръжения са аналогични на тези при язовирните стени от местни материали. Същевременно, тези изследвания се отличават чувствително по отношение на изчислителните случаи и поради значителна нееднородност и наличие на анизотропия на отложения отпадък.

Негативни въздействия върху якостта и устойчивостта:

Минните отпадъци са силно податливи на разрушение. Едно от негативните въздействия е **вътрешната ерозия**, която съгласно определението на Бюрото по мелиорации на САЩ, е ерозия и разрушение на почвения скелет под въздействието на водното течение преминаващо през скелета на почвата. Различаваме два вида суфозия – механична и химична.

Механичната от своя страна бива вътрешна, която се развива вътре в почвения масив и външна, при която почвени частици се изнасят извън почвата. Проява на вътрешна ерозия е суфозията, присъща на несвързаните почви

Контактен филтрационен прорив е присъщ на глинестите почви. Проявява се в контакта с едрозърнестите материали, които се разрушават от филтрационния поток перпендикулярно на линията на контакта. Частен случай на прорив е изнасянето на почвени частици на изхода на потока в долния участък или на откоса, където се формира зона на изтичане във вид на „пясъчен кипещ“.

Контактен размив е процес, при който филтрационният поток разрушава дребнозърнестата почва в контакта с едрозърнестата или с масивните съоръжения.

Колматация е процес на отлагане от филтрационния поток на дребни частици в порите на почвата (вътрешна колматация) или на повърхността на почвения масив (повърхностна колматация). В резултат на колматацията се редуцира пропускателната способност на дренажните пластове и се повишава депресионната повърхност.

Сеизмични въздействия

Обичайно стените на хвостохранилищата и сгуротвалите са изградени от земен насип, с полегати откоси, устойчиви срещу свличане и слабо податливи на бомбени атаки. Съгласно действащите нормативи се залагат такива откоси, които да са устойчиви на земетръс с повтаряемост веднъж на 1000 години и се проверяват да запазят своята цялост дори при силно земетресение, което би се случило 1/10000 години, характерно за съответния район.

5. КОНТРОЛ НА ФИЛТРАЦИОННИТЕ ПРОЦЕСИ ПО ВРЕМЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИЯТА

Изключително важен проблем при наливните съоръжения са филтрационните процеси, които се наблюдават и измерват през целия експлоатационен живот на хвостохранилището - проектиране, изграждане и експлоатация, включително и след консервация. Контролът на филтрационните процеси включва:

- Филтриращи водни количества и приток към дренажната система;
- Депресионна повърхност в тялото на хвостохранилището, респ. сгуротвала;
- Хидродинамична мрежа (еквипотенциални и токови линии) на филтрацията от утаечното езеро и инфилтрация от плажа в процеса на наливане на отпадъка;
- Филтрационно налягане в отделните части от тялото и основата на хвостохранилището;
- Градиенти на филтрационния поток;
- Местоположение, размери и ефективност на дренажите.

Допълнително, след консервация се извършва определен кръг от наблюдения и измервания в продължение на десетки години, изготвят се периодични анализи на състоянието и оценка на риска от неблагоприятни въздействия, като високи води, почвена ерозия и земетръс.



6. БЕЗОПАСНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ И АВАРИИ ПРИ ХВОСТОХРАНИЛИЩАТА И СГУРООТВАЛИТЕ

В съответствие с международните стандарти за управление на минни отпадъци и Наредбата за язовирите, два пъти годишно комисия, назначена от собственика, с представители на оператора, проектанта, общината, органите по опазване на природната среда, пожарна безопасност и др. организира оглед на хвостохранилищата, дава оценка на техническото и експлоатационното състояние на стената и съоръженията и препоръчва мерки за подобряване на сигурността и безопасността на цялото хвостово стопанство.

Освен за обичайните дълготрайни натоварвания, стената и съоръженията се оразмеряват така, че сигурно и безопасно да провеждат високите води в долината, да запазят цялост и устойчивост при земетръс и при външно и вътрешно въздействие на водата, да са устойчиви при целенасочени действия на злосторници, взрив, технологични аварии и редица други вероятни негативни въздействия. Периодично, през пет до десет години, собственикът възлага преоценка на сигурността на хвостохранилището на базата на актуализирани хидроложки, земномеханични и сеизмични данни, както и анализ и оценка на риска от разрушения и повреди по стената и съоръженията.

Пример за безопасна експлоатация понастоящем са хвостохранилищата "Бенковски 2", "Челопеч", "Люляковица" и Депо за фаялитен отпадък "Аурубис Пирдоп". При тях се поддържа ниско ниво на водата в насипа, с което се гарантира стабилитета на откосите, вземат се мерки срещу запрашаване на околния въздух, с обратно водоснабдяване се редуцират излишните води, предпазват се от замърсяване природните води и околните терени.

Добро ниво на експлоатация се констатира също при хвостохранилища "Ерма река", "Рудозем-2 и други. Изостава се с рекултивация и консервация на хвостохранилища "Медет", "Кремиковци", "Гюешево" и други. Добро решение за опазване на околната среда е консервираното ураново хвостохранилище "Елешница", където е създаден пълен оборотен цикъл на водите дренирани от тялото на хвостохранилището.

Всеки случай на изграждане/експлоатация е различен и конкретен. Затова в планове за действие в аварийни ситуации се оценяват и записват възможните последици според конкретната ситуация в долния участък. С числени модели се уточняват заливаемите зони – площите, които биха залети при преминаване на високи води с определена обезпеченост, при преливане през стената, при частично или пълно разрушаване и т.н.

Изгражда се система за предизвестяване, която спомага за евакуация на населението надолу по долината. Важно е да се отбележи, че е неправилно да плашим гражданите от прилежащите територии, а да вземаме подходящи превантивни мерки за повишаване на сигурността по време на изграждането и ежедневната експлоатация, включително обучение на населението относно опазване на околната среда в прилежащите територии.

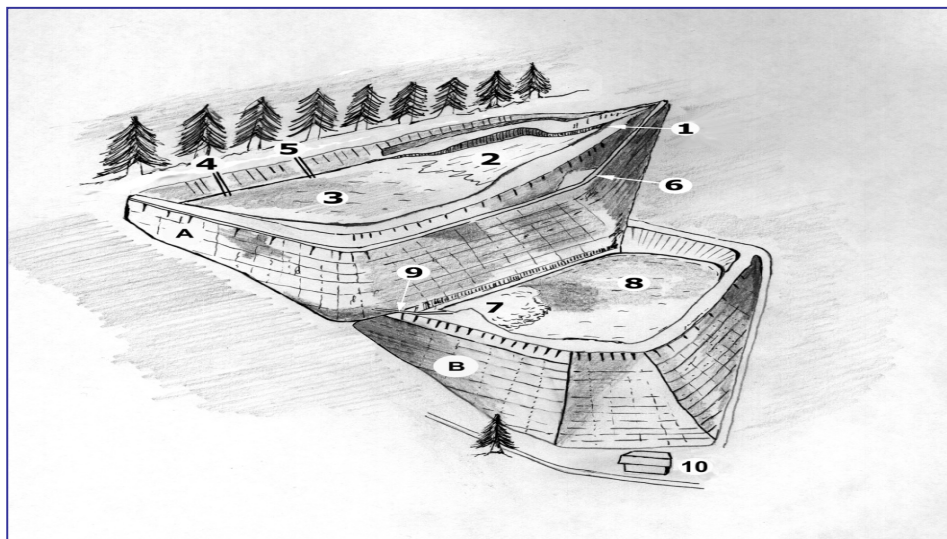
Най-честите аварии са от преливане през короната на стената поради недостатъчен капацитет на преливните съоръжения. Такъв е случаят на катастрофата на хвостохранилище "Згориград" на 1 май 1966г. довела до загуба на 107 животи (някои източници сочат дори над 500 човешки загуби).

Честа заплаха за стабилитета на откосите и стената е податливостта на хвостовия насип на вътрешна ерозия. За контрол на водонасищането на насипа се изпълняват дренажни съоръжения. Следи се положението на депресионната повърхност под плажа, количеството и качеството на филтриращите води. Допуска се дренажните води да се изпускат в речната долина само и единствено след съответно пречистване. Не се допуска цялостно заливане на плажа, което би застрашило сигурността на стената. Можем да посочим следните два примера за разрушаване:

1) Скъсване на дига на сгуроотвала при ТЕЦ Марица изток 1 след цялостно заливане на плажа, като мярка за намаляване на запрашаването. Това е опасна практика, който факт налага изводът, че винаги трябва да се спазва проектната дължина на плажа. В противен случай се формира висока депресионната повърхност застрашаваща устойчивостта и целостта на стената на хвостохранилището.

2) Пример за разрушение причинено от вътрешна ерозия, втечняване и загуба на устойчивост е хвостохранилище "Става" – Италия, скатов тип, изградено от две секции, една над друга (Фиг.4.). През

1985 година, при наливане на горната секция се достига до момент, когато стената на горната секция се разрушава след недопустимо покачване на водата в него, втечняване на насипа в основата и суфозионно изнасяне на хвост. Това е типичен случай на статично втечняване на хвоста претоварен при изграждане на горната секция. Резултатът е загуба на 268 човешки животи, разрушение на 53 къщи, 3 хотела и 8 моста.



Фиг.4. Хвостохранилище „Става“ - Италия

Хвостохранилищата са плод на техногенната дейност на човека. Тяхното изграждане и експлоатация в продължение на десетки години е значимо негативно въздействие върху околната среда в района. Възстановяването на околната среда включва следните два етапа:

- **Етап 1** – консервация на отпадъкохранилището и рекултивация на засегнатите терени – проверка на стабилитета, анализ и оценка на риска;
- **Етап 2** – дългогодишен мониторинг върху състоянието на консервираното съоръжение, филтрация и състав на дренажните води в прилежащите терени, което е особено важно за хвостохранилищата с опасни отпадъци.

Най-често консервационните дейности са:

- Изтакане на утаечното езеро и отводняване на повърхността му за консервация и рекултивация;
- Полагане на консервиращи пластове, техническа и биологична рекултивация на хвостохранилището и прилежащите терени;
- Проверка на статичната и сеизмична устойчивост с актуални изчислителни данни;
- Осигуряване на трайна устойчивост на откосите;
- Извършване на противоерозионни мероприятия;
- Предпазване от проникване на външни води и тяхното замърсяване.

Могат да се посочат няколко примери от изпълнени решения:

1. Консервация на хв. „Росен 2“ – изпълнен е горен изолационен екран армиран с геомрежа и затежен с насип от дренажен материал;
2. Изпълнен отвеждащ канал за повърхностните води върху табана на хв. „Елешница“ и неговото покритие с дебел изолационен слой от чиста почва, Пречиствателна станция и лагуна за замърсени отпадъчни води;
3. Проект за защита от разрушение на водния откос на стена „Жеков вир“- предпазна броня;
4. Технологично решение за ускоряване на консолидацията на отпадъка в Синята лагуна с вертикални дренажни тръби и затежняване.



7. ИЗВОДИ

На базата на тези анализи се налагат следните изводи:

1) Редица хвостохранилища в България са с преустановено депониране на отпадък без да е проведена техническа и биологична рекултивация и трайно консервиране. Тези съоръжения са потенциално опасни, с риск от неконтролирано преливане през стената, без доказана статическа и динамична устойчивост при земетръс, при евентуално втечняване на отложения хвост и други негативни въздействия, вкл. радиационно замърсяване на прилежащите терени. В тази връзка е необходимо да се активират дейностите по рекултивация на хвостохранилищата, като например „Медет“, „Бухово“ и редица други.

2) За намаляване на запрашаването при силни ветрове и укрепване на откосите срещу повърхностна ерозия последователно, в синхрон с нарастването на стената по височина да се извършва текуща рекултивация на откосите.

3) След обстоен анализ и оценка на риска от високи води, земетръс, радиационно замърсяване и актуализация на геотехническите показатели на насипа, периодично, през 5-10 години да се изготвя анализ на якостта и устойчивостта на съоръженията в експлоатация на базата на актуални геотехнически, хидроложки и сеизмични данни, филтрационни показатели и с отчитане на стареенето на материалите, нови нормативни изисквания за якост и устойчивост и други.

4) С оглед опазване на околната среда да се внедряват съвременни методи за транспорт и депониране на отпадъка, визиране пастовата технология и приложение на нови материали, включително геосинтетика в конструкциите на действащите хвостохранилища.

5) Да се предприемат мерки за ограничаване на изтичането на мътни води от хвостохранилищата от язовирен тип („Ерма река“ и „Лъки“).



ДЕЙСТВАЩА НОРМАТИВНА УРЕДБА, РЕГЛАМЕНТИРАЩА РЕДЪТ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ИНСПЕКЦИИ НА СЪОРЪЖЕНИЯ ЗА МИННИ ОТПАДЪЦИ - ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОТ КАТЕГОРИЯ „А“ И КАТЕГОРИЯ „Б“

Д-р инж. Георги Дачев
дирекция Природни ресурси, концесии и контрол при Министерство на енергетиката

Въведение

На територията на Република България има 11 бр. активно действащи хвостохранилища, от които 2 бр. са от язовирен тип и 9 бр. са от наливен тип. От всички 11 бр. хвостохранилища, 2 бр. хвостохранилища са категория „А“ и 9 бр. хвостохранилища са категория „Б“. От упоменатите единадесет броя седем броя хвостохранилища генерират отпадъци от преработка на руди и четири от преработка на индустриални минерали. Съществуват и такива съоръжения за минни отпадъци „хвостохранилища“ които се класифицират под различно наименование и които не са включени в упоменатите по-горе единадесет на брой съоръжения за минни отпадъци, но следват същия ред при извършване на инспекциите. Друга група от хвостохранилища са тези които са „закрити“ и не упражняват дейности по депониране на минни отпадъци в тях (въпросните съоръжения са рекултивирани и са изведени от експлоатация. В доклада са представени нормативните и поднормативни документи с които се борава при извършване на проверки, инспекции на място на съоръженията за минни отпадъци – хвостохранилища от категория „А“ и хвостохранилища категория „Б“. Необходимо е да се обърне внимание, че в настоящия доклад не е разгледана една другата група от съоръжения за минни отпадъци т.е. шламохранилищата. Въпреки това тези съоръжения за минни отпадъци също подлежат на контрол и реда при провеждане на инспекциите при тях е необходимо да бъде същия както при хвостохранилищата.

Закон за подземните богатства (ЗПБ)

Първият нормативен документи е Закона за подземните богатства (ЗПБ) съгласно последното му изменение и допълнение с Държавен Вестник - бр.17 от 26 Февруари 2021г. – съгласно чл. 22к. в ЗПБ е регламентирано, че: С **наредба** на Министерския съвет съгласно т. 1 и т. 6 се определят: **т. 1.** специфичните изисквания за управление на минните отпадъци, строителството, експлоатацията и закриването на съоръженията за минни отпадъци, **техният технически надзор и мониторинг; т. 6. редът за извършване на инспекции на съоръженията за минни отпадъци;**

Съгласно ЗПБ в § 107. (1) Операторите на съоръжения за минни отпадъци по действащи към момента на влизането в сила на този закон разрешения за търсене и проучване или за проучване или концесии за добив, както и всички физически или юридически лица, в чието държане се намират съоръжения за минни отпадъци, представят в Министерството на икономиката, енергетиката и туризма в срок до една година от влизането в сила на този закон искане за утвърждаване на план за управление на минните отпадъци или издаване на разрешително за управление на минни отпадъци, съхранявани в съоръжения от категория "А".

(2) За утвърждаване на плана за управление на минните отпадъци операторите представят:

1. план за управление на минните отпадъци по чл. 22д;
2. доклад за оценка на риска от минните отпадъци и съоръженията за тяхното съхраняване по чл. 22б, ал. 5.

Наредба за управление на минните отпадъци (НУМО)

Първият поднормативен документ регламентиращ реда за извършване на инспекции е Наредба за управление на минните отпадъци (НУМО).



Съгласно **Глава седма** от Наредбата за управление на минните отпадъци (НУМО) - мониторинг и контрол, инспектиране на съоръжения за минни отпадъци, съгласно **чл. 39. (1) Операторът провежда мониторинг и контрол и инспектира съоръжението за минни отпадъци** в съответствие с предвиденото в плана за управление на минни отпадъци.

(2) **Операторът инспектира съоръжението за минни отпадъци** по време на строителството, експлоатацията, закриването и периода след закриване с цел да се гарантира, че:

1. съоръжението се експлоатира, поддържа и управлява по безопасен начин и в съответствие с условията на плана за управление на минните отпадъци и когато е приложимо – с издаденото разрешително;

2. се вземат необходимите мерки за предотвратяване или намаляване на неблагоприятните въздействия върху околната среда и човешкото здраве.

(3) **Резултатите от проведените мониторингови процедури и от направените инспекции се обобщават в протоколи и се:**

1. съхраняват заедно с документацията по одобрения план за управление на минните отпадъци и когато е приложимо – с издаденото разрешително, с оглед надлежно предаване на събраната документация за съоръжението в случай на смяна на оператора;

2. използват за предприемане на действия в случаи на констатиране на признаци на нестабилност на съоръжението и/или замърсяване на почвата, въздуха и водите;

3. използват при изготвянето на информацията съгласно чл. 43;

4. предоставят на компетентните органи, извършващи проверки.

Чл. 40. (1) При необходимост операторът възлага инспектирането на съоръжението на независими експерти.

(2) За съоръжения от категория "А", хвостохранилища и шламоохранилища операторът ежегодно възлага на назначена от него **експертна техническа комисия** извършването на експертиза на съоръжението, която включва най-малко следното:

1. **оглед на място;**

2. проверка на годишните отчети, данните от измерванията, наблюденията и опробванията;

3. заключение за техническото състояние и инженерната сигурност на съоръженията;

4. потвърждение за годността на съоръженията да работят нормално през следващия експлоатационен период.

(3) Резултатите от инспекцията по ал. 1 и експертизата по ал. 2 се обобщават в доклади, екземпляр от които се предоставя на министъра на енергетиката.

Чл. 41. (1) Министърът на енергетиката или оправомощени от него длъжностни лица инспектират всяко съоръжение за минни отпадъци:

1. преди пускането му в експлоатация с цел запознаване с готовността на оператора да спазва условията по издаденото разрешително и да изпълнява плана за управление на минните отпадъци;

2. по време на експлоатацията, закриването и периода след закриването му.

(2) Инспекциите по ал. 1, т. 2 са:

1. **планови;**

2. **извънредни.**

(3) Планови инспекции се провеждат на **редовни интервали от време**, определени в зависимост от вида и категорията на съоръжението, но **най-малко веднъж годишно**, като част от програмата за планирани инспекции.

(4) Извънредни инспекции се провеждат:

1. във връзка с жалби относно издаване, подновяване или промяна на разрешително;

2. при разследване на аварии и злополуки;

3. при неспазване на условията по издадено разрешително;

4. в други случаи – по преценка на министъра на енергетиката.

(5) **Резултатите от инспектирането по ал. 1 се обобщават в протоколи, екземпляр от които се предоставя на оператора за съхранение и използване съгласно чл. 39, ал. 3.**



(6) Положителните констатации от проведените инспекции не намаляват отговорностите на оператора, произтичащи от условията на плана за управление на минните отпадъци, и когато е приложимо – на разрешителното за управление на минни отпадъци.

В Закона за подземните богатства (ЗПБ) са налични Релевантни актове от Европейското законодателство - **Директиви:** ДИРЕКТИВА 2006/21/ЕО НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 15 март 2006 година относно управлението на отпадъците от миннодобивните индустрии и за изменение на Директива 2004/35/ЕО.

Директива 2006/21 ЕО

Вторият поднормативен документ даващ основни насоки при инспектирането на съоръжения за минни отпадъци е Директива 2006/21 ЕО.

Директивата от 21 февруари 2020 година като е в сила решение за изпълнение (ЕС) 2020/248 на комисията за определяне на технически насоки за инспектирането в съответствие с член 17 от Директива 2006/21/ЕО на Европейския парламент и на Съвета (нотифицирано под номер С(2020) 889).

В член 17 от Директива 2006/21/ЕО се изисква да се извършват инспекции на **всяко съоръжение за отпадъци**, обхванато от член 7 на същата директива, за да се гарантира, че то отговаря на съответните условия на разрешителното. За да бъдат тези инспекции ефикасни и ефективни, компетентните органи следва да бъдат подходящо обезпечени с ресурси, да са независими от операторите на съответните съоръжения за отпадъци, да разполагат с необходимите функции и правомощия и **да имат правото да изискват от операторите да ги подпомагат**.

Тъй като съоръженията за отпадъци, обхванати от член 7 от Директива 2006/21/ЕО, включват съоръжения за отпадъци, които трябва да имат разрешително, и тъй като в член 7 се предвижда, че никое съоръжение за отпадъци не следва да работи без разрешително, е необходимо в плановите за инспекции да се вземат предвид тези съоръжения за отпадъци, които трябва да имат разрешително, но не притежават такова.

- (6) С цел да се гарантира ефективността на инспекциите, е необходимо определена част от инспекционните дейности, по-специално от посещенията на място, **да не се обявяват предварително**.
- (7) За да може да се направят заключения от инспекционните дейности, по-специално от посещенията на място, и да се предостави емпирична основа за бъдещи инспекции и други свързани мерки, е важно всички инспекционни дейности да са **надлежно документиранни, включително чрез доклади за редовните посещения на място**.
- (8) Предвид факта, че рисковете варират в зависимост от стадия на съществуване на съответните съоръжения за отпадъци, е необходимо техническите насоки **да съдържат подробни разпоредби за различните етапи на жизнения цикъл на съоръженията за отпадъци**, обхванати от член 7 от Директива 2006/21/ЕО.

2.1. Технически насоки за инспекции на съоръжения за отпадъци

Техническите насоки се разделят на отделни части включващи - Част А - Цели, Част Б – Определение, Част В - Провеждане на подробни проверки, разследвания и събиране на информация, Част Г - Акцент при инспекциите при различните етапи на жизнения цикъл на съоръженията за отпадъци и Част Д - Допълнителни елементи за инспекциите на съоръжения за отпадъци от категория А. Отделните части съдържат отделни точки и подточки които дават дефиниции при инспектирането на съоръженията за минни отпадъци.

Част А – Цели - Целта на тези инспекции е да се гарантира, че всяко съоръжение за отпадъци е получило необходимото разрешително и отговаря на неговите съответни условия. Инспекциите са свързани с различните етапи в жизнения цикъл на съоръженията за отпадъци.



Тези насоки се отнасят до общата рамка за извършване на инспекции (част В), акцента при инспекциите при всеки от различните етапи в жизнения цикъл на съоръженията за отпадъци (част Г) и специфичните елементи, свързани с инспекциите на съоръжения от категория А (част Д).

Част Б – Определение За целите на настоящите насоки „инспекция“ означава всички дейности, предприети от компетентен орган или от името на компетентен орган, имащи за цел да се гарантира, че съоръженията за отпадъци, обхванати от член 7 от Директива 2006/21/ЕО, отговарят на условията на разрешителното, което те са задължени да получат. Тези дейности могат да включват по-специално:

- оценка на съответни въпроси, свързани с околната среда и безопасността, и на рисковете, произтичащи от съоръженията за отпадъци;
- извършване на посещения на място с цел проверка на помещенията, условията на обекта, съответното оборудване, включително дали то се поддържа по подходящ начин, съответните документи и електронни данни, вътрешните мерки и системи, както и работните процеси;
- провеждане на разговори със служители, работещи в съоръжението за отпадъци;
- затвърждаване на знанията на операторите относно съответните правни изисквания и въздействието на техните дейности върху околната среда;
- вземане на проби;
- прилагане на техники за наблюдение на Земята и други форми на дистанционно наблюдение, включително тези с използване на датчици *in situ*, когато е целесъобразно;
- проверка на самонаблюдението на операторите;
- проверка на документи и електронни данни, включително на доклади на операторите, която не се извършва в рамките на посещение на място;
- проверка на вътрешните мерки, системи и работни процеси на операторите, която не се извършва в рамките на посещение на място;
- проверка на финансови гаранции или техен еквивалент;
- записване на фактологична информация относно неспазването;
- установяване на причините за констатирано неспазване, както и на възможните видове въздействия на това неспазване върху околната среда и здравето на човека;
- описание на установено неспазване, по-специално на обстоятелствата (включително лицата), довели до това неспазване, с цел да се установи, доколкото е възможно, какви действия са необходими за гарантиране на спазването и да се създадат благоприятни условия за прилагането им, включително чрез сътрудничество и споделяне на констатациите от инспекциите с други съответни компетентни органи.

Инспекциите, включително посещенията на място, могат да бъдат редовни, т.е. извършвани като част от редовен набор от дейности, и извънредни, т.е. извършвани в отговор на сериозни жалби или с цел разследване на тежки аварии, инциденти и други случаи на неспазване на условията.

ЧАСТ В - Провеждане на подробни проверки, разследвания и събиране на информация

1. Компетентни органи

- а) наличието на компетентни органи, отговарящи за инспекциите
- б) независимостта на компетентните органи и тяхната способност да изпълняват всички задачи, необходими за извършване на инспекциите;
- в) правомощията на компетентните органи да извършват инспекции;
- г) наличието на достатъчно ресурси, персонал и оборудване на разположение на компетентните органи за извършването на инспекции;
- д) механизмите, с които разполагат компетентните органи, за сътрудничество и координация на действията с други съответни органи;



- е) равнището на знанията, опита и компетентността, което трябва да имат инспекторите, за да извършват инспекциите, по-специално по отношение на проектирането, изграждането, експлоатацията и закриването на съоръжения за отпадъци;
- ж) организацията на обученията за актуализиране на знанията на инспекторите;
- з) необходимата помощ, която операторите трябва да предоставят на компетентните органи, за да могат те да извършват инспекциите, включително посещенията на място, вземането на проби и събирането на информацията, необходима за изпълнението на задълженията им в съответствие с член 17 от Директива 2006/21/ЕО.

2. Организация на инспекциите

2.1. Инспекционни планове:

- а) планирането на инспекциите чрез изготвяне на план или планове на подходящото административно равнище въз основа на обща оценка на съответните проблеми и рискове, свързани с околната среда и безопасността на съоръженията за отпадъци
- б) периодичният преглед и, когато е целесъобразно, актуализирането на инспекционния план или планове;
- в) включването в инспекционния план или планове на всяко съоръжение за отпадъци, обхванато от член 7 от Директива 2006/21/ЕО;
- г) включването във всеки инспекционен план на:
 - i) обща оценка на съответните проблеми и рискове, свързани с околната среда и безопасността;
 - ii) географския район, обхванат в инспекционния план;
 - iii) списък на съоръженията за отпадъци, обхванати от инспекционния план, който притежава разрешително;
 - iv) средствата за идентифициране на съоръженията за отпадъци, обхванати от член 7 от Директива 2006/21/ЕО, които работят без разрешително;
 - v) процедури за извършване на редовни инспекции;
 - vi) процедури за извършване на извънредни инспекции;
 - vii) процедури за извършване на предварително обявени и необявени посещения на място;
 - viii) когато е необходимо, механизми за сътрудничеството и координацията между различните компетентни органи, отговарящи за инспекциите, както и между тези органи и други органи, имащи роля в правоприлагането на режима на разрешителни, изисквани съгласно националното законодателство или законодателството на Съюза в областта на околната среда, което е приложимо или от значение за съоръженията за отпадъци, обхванати от член 7 от Директива 2006/21/ЕО;
 - ix) информация за човешките, финансовите и други ресурси, необходими на компетентния орган за изпълнението на инспекционния план.

2.2. Редовни инспекции

- а) извършването на редовните инспекции на редовни интервали;
- б) подходяща честота на посещенията на място;

Двата по-горе упоменати критерия са на база оценка на риска.

2.3. Извънредни инспекции Взема се предвид следното:

- а) извършването на извънредни инспекции, включително посещения на място, възможно най-бързо, след като компетентният орган е получил сериозни жалби във връзка с неспазване на изискванията на разрешителното или по друг начин е узнал за сериозни аварии,
- б) при необходимост, вземане под внимание от страна на инспектора на съответните констатации от инспекции, извършени съгласно друго приложимо законодателство на Съюза;
- в) възможно най-бързо извършване на извънредните инспекции във връзка с издаването, подновяването или актуализирането на разрешителното и, когато е целесъобразно, преди това.

2.4. Необявени посещения на място:



3. Документиране на инспекциите

3.1. Документиране на инспекционните дейности, включително на посещенията на място

- а) подходящото документиране на всички инспекционни дейности;
- б) изготвянето след всяко посещение на място в съоръжение за отпадъци, притежаващо разрешително, на доклад за посещението на място в писмена форма, който се съхранява във форма, позволяваща неговото идентифициране, в леснодостъпна и поддържана по подходящ начин база данни;
- в) включването в доклада за посещението на място най-малко на целта на инспекцията, събраните данни, информация и констатации, тяхната оценка и заключение дали съоръжението за отпадъци отговаря на съответните условия на разрешителното и дали е необходимо някакво последващо действие;
- г) приключването на доклада за посещението на място в срок от два месеца след посещението, освен ако по време на посещението на място са направени допълнителни сериозни констатации, в който случай може да се поиска друг срок;
- д) предоставянето на оператора, преди или след приключването на доклада за посещението на място, на възможност за представяне на коментари, когато е целесъобразно;
- е) наличието на публичен достъп до резултатите от посещението на място

ЧАСТ Г Акцент при инспекциите при различните етапи на жизнения цикъл на съоръженията за отпадъци

1. Инспекции на нови съоръжения за отпадъци преди започването на операции по депониране

2. Инспекции на съоръженията за отпадъци в експлоатация

За целите на инспекцията се взема предвид следното:

- а) неблагоприятните въздействия на съоръжението за отпадъци върху околната среда и човешкото здраве и мерките, предприети с цел да се сведе до минимум въздействието върху околната среда; по-специално пригодността на конструкцията, управлението и поддръжката на съоръжението за отпадъци за гарантиране на физическата му стабилност и предотвратяване на замърсяване или заразяване на почвата, въздуха, повърхностните или подпочвените води в краткосрочен и дългосрочен план, и за свеждане до възможния минимум на увреждането на ландшафта, както и по какъв начин тези ефекти съответстват на условията на разрешителното, а също информацията в оценката на въздействието върху околната среда, ако се изисква такава оценка;
- б) съответствието на количествата, характеристиките и класификацията на отпадъците, депонирани в съоръжението за отпадъци, с посочените в разрешителното елементи;
- в) съответствието на очаквания възникващ инфилтрат, включително на съдържанието на замърсители в инфилтратата, в депонираните отпадъци и във водния баланс на съоръжението за отпадъци с посочените в разрешителното елементи;
- г) структурни и оперативни промени на съоръжението за отпадъци: проверка на (1) управлението на водите, (2) качеството на геотехнически строителни дейности (например изграждане на повдигнат бент/насип), (3) управлението на геотехнически системи за безопасност (например повърхностни покрития, наблюдение на стабилността и безопасността), (4) количеството и характеристиките на депонираните отпадъци в сравнение с прогнозите в плана за управление на отпадъците, (5) възникващия инфилтрат, включително съдържанието на замърсител в него, в сравнение с прогнозите в плана за управление на отпадъците, (6) водния баланс на съоръжението за отпадъци в сравнение с прогнозите в плана за управление на отпадъците и (7) техниките, използвани за управление на околната среда и безопасността, и за наблюдение на околната среда, както и тяхната адекватност;
- д) приемането на мерки, препоръчани или наложени след предходни инспекции;
- е) свързаните с околната среда и безопасността одитни доклади и отчети, ако това се изисква от разрешителното;



- ж) резултати, пълнота, управление и показатели на програмата за самонаблюдение за редовен мониторинг и докладване на всички мониторингови данни, ако е приложимо, на компетентния орган;
- з) визуални аномалии на обекта;
- и) представителността на извадката и характеризирането на отпадъците от миннодобивната промишленост;
- й) ролята, отговорностите и компетентността на персонала, отговарящ за управлението на безопасността и околната среда на съоръжението за отпадъци, както и наличието на достатъчно човешки ресурси и обучения, предлагани на персонала;
- к) процедурите за уведомяване на компетентния орган за всякакви събития, които е вероятно да засегнат стабилността на съоръжението за отпадъци, както и за всякакви значителни неблагоприятни въздействия върху околната среда, установени в рамките на съответните процедури за контрол и наблюдение;
- л) адекватността на плана за закриване, посочен в член 5, параграф 3, буква е) от Директива 2006/21/ЕО, и спазването на постепенните мерки за закриване, определени в плана;
- м) адекватността на размера и формата на финансовата гаранция или нейния еквивалент по отношение на изчислените разходи за задълженията на оператора по разрешителното, включително за мерките по закриването и след закриването, както и за рехабилитацията на засегнатата земя, когато компетентният орган изисква финансова гаранция или неин еквивалент;
- н) класирането на съоръжение за отпадъци като съоръжение от категория А или извън категория А;
- о) спазването на всички други условия на разрешителното и всички други съответни изисквания, определени в Директива 2006/21/ЕО.

3. Окончателна инспекция на място на съоръженията за отпадъци, в съответствие с член 12, параграф 3 от Директива 2006/21/ЕО

4. Инспекции на съоръжения за отпадъци след закриването им, що се отнася до съоръжения, закрити след 1 май 2008 г.

ЧАСТ Д - Допълнителни елементи за инспекциите на съоръжения за отпадъци от категория А

1. Инспекция на бентове на съоръженията за отпадъци от категория А, съдържащи остатъци

2. Инспекция на отвеждащи устройства на съоръженията за отпадъци от категория А, съдържащи остатъци

Необходимо е да се отбележи, че Наредбата за управление на минните отпадъци (НУМО) борава със същата терминология, както и в Решението на ЕК.

Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние, в сила от 31.01.2020 г.

Последният поднормативен документ е Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние.

В Раздел II. Проектна документация, документация от строителството и експлоатацията, Съгласно Чл. 100. (1) Проектната документация се класира в досието на язовира по реда на нейното разработване, като се следва логическата връзка между отделните проектни разработки.

Съгласно чл. 100 (2) В досието на язовира се включва проектната документация, изготвена в съответствие с нормативната уредба, в т.ч.: доклад за инженерно-геоложки проучвания; доклад за хидрогеоложки проучвания; доклад за хидроложки проучвания; протоколи от лабораторни изследвания относно качествата на строителните материали;



Проектни разработки - проектни параметри, приети с решение на експертен технически съвет, назначен от собственика; проект за фундирането и особености на основата; изчислителни схеми, изчисления и резултати от проведени хидравлични и филтрационни изследвания, изследвания за устойчивост на откосите, изследване и анализ на напрегнатото и деформирано състояние и др.; работни чертежи на язовирната стена и на другите съоръжения към язовира, включително проекти за КИС, дренажна система, преходни зони и др.;

- д) доклад с резултати от всяко специално проучване;
 - е) доклад с резултати от проведени моделни изследвания;
 - ж) план за безопасност и здраве;
 - з) проект за транспортните маршрути;
 - и) проекти и паспорти за машинно, електрическо и хидравлично оборудване;
 - к) проект за техническа експлоатация;
 - л) инструкции за експлоатация и график за техническото обслужване и поддръжка на механизмите и оборудването;
 - м) програма за наблюдения и измервания от хидрологичния, метеорологичния и техническия мониторинг;
1. доклад за оценката на въздействието върху околната среда (ОВОС) и решение на компетентния орган;
 2. генерален план на обекта;
 3. аварийен план на обекта.

Чл. 101. Документацията от строителството се класира в досието на язовира по реда на завършване на обектите и включва: разрешението за строителството; екзекутивите (ситуации, разреза, детайли, графици, включително данни от фундирането и за основата от началото на строителството до завършването на обекта); резултатите от натурни изследвания; актове и протоколи и други документи по време на строителството; схеми, последователност на изграждане, проведени допълнителни проучвания и разработени проекти в хода на строителството; екзекутивите за КИС с детайли; протоколите с резултати от изпитване на строителни материали по време на строителството и опис на пробите, подлежащи на допълнителни анализи след завършване на строителството; докладите за извършени допълнителни работи след наводнения и земетръс; схемите, чертежите на бреговата ивица над и под съоръжението с оценка на срутищни явления и свлачища с изградена КИС и др.

Чл. 102. Документацията от експлоатацията се класира в досието на язовира последователно съобразно етапите на експлоатация и включва: акта за собственост и скицата на язовира; разрешението за ползване; проекта за експлоатация и поддръжане; програмата за техническия контрол; техническия паспорт; актуалния аварийен план на обекта; резултатите от измервания с КИС при първоначалното завиряване; резултатите от измервания с КИС и първичната им обработка в етап на редовна експлоатация; актовете за единични и комплексни изпитвания; актовете за проведени водни проби; анализите на техническото състояние и оценките на сигурността; протоколите от експертните технически съвети, от техническите съвети, от техническите прегледи, от визуалните огледи и от противоаварийните тренировки; програмите и протоколите за обучение на експлоатационния персонал; резултатите от експлоатацията на машинното и електрическото оборудване при различен режим на работа на съоръженията; документацията за извършване на основен ремонт и реконструкция; копията от констативните протоколи от проверките на контролните органи; документацията по извеждане от експлоатация или ликвидация (от началото на процедурата до приключването и).

Съгласно Раздел III. - Съхранение и ползване на документацията

Чл. 103. Проектната документация, документацията от строителството и експлоатацията се съхраняват от собственика на язовира, който носи отговорност за нейната актуализация и попълване със съответните документи.



Чл. 104. (1) Документацията за научна и изследователска работа се ползва с разрешение на собственика.

Чл. 105. Собственикът/операторът въвежда документацията в информационната система по ред, в обем и по начин, определени в Наредба № РД-04-02/25.11.2016 г.

В Наредбата се съдържа Част трета - контрол и проверки съгласно Чл. 108. (1) Контролът на техническото състояние и безопасната експлоатация на язовирите се осъществява съобразно тяхната категоризация по степента на потенциална опасност по чл. 10.

(2) За язовирите с висока и значителна степен на потенциална опасност:

1. собственикът/операторът извършва технически прегледи два пъти годишно;
2. комисията по чл. 138а, ал. 3 от Закона за водите извършва ежегодни проверки за готовността за безопасната експлоатация на язовирите;

3. Държавната агенция за метрологичен и технически надзор извършва проверки на техническото състояние и безопасната експлоатация на язовирните стени и съоръженията към тях.

(3) За язовирите с ниска степен на потенциална опасност:

1. собственикът/операторът извършва технически прегледи веднъж годишно;
2. Държавната агенция за метрологичен и технически надзор извършва проверки на техническото състояние и безопасната експлоатация на язовирните стени и съоръженията към тях веднъж на три години.

Чл. 109. (1) Собственикът/операторът провежда технически прегледи:

1. на язовирите с висока и значителна степен на потенциална опасност два пъти годишно - от 1 март до 30 април, а за високопланинските язовири, в зависимост от метеорологичните условия - и от 1 септември до 31 октомври;

2. на язовирите с ниска степен на потенциална опасност - един път годишно, от 1 март до 30 април.

(2) Прегледите обхващат всички видове дейности по поддържането и експлоатацията на язовирите.

(3) Когато в процеса на извършване на техническите прегледи се констатира обстоятелства, които не отговарят на проектната документация и на инструкциите за експлоатация, собственикът предприема мерки за основен ремонт или реконструкция съгласно действащата нормативна уредба.

(4) След извършения основен ремонт или реконструкция собственикът изготвя анализ на техническото състояние и оценка на сигурността на язовирната стена и съоръженията към нея, приет от експертен технически съвет, и уведомява Държавната агенция за метрологичен и технически надзор и съответния областен управител в 14-дневен срок.

Чл. 110. (1) Резултатите от техническите прегледи се отразяват в протоколи, които се класират в досието на язовира.

(2) Протоколите, съдържащи резултатите от техническите прегледи на малките язовири, се изготвят съгласно приложение № 3.

Чл. 111. (1) Собственикът изготвя анализ за техническото състояние на язовирите или го възлага на физическо или юридическо лице, притежаващо необходимата компетентност.

(2) Анализът по ал. 1 се изготвя въз основа на резултатите, получени от техническите прегледи и от измерванията на КИС за период не по-голям от три години за язовирите с висока и значителна степен на потенциална опасност и не по-голям от пет години за язовирите с ниска степен на потенциална опасност.

(3) Анализът на техническото състояние на язовирите се приема от експертен технически съвет, назначен от собственика, и се съхранява в досието на обекта.

(4) В състава на експертния технически съвет по ал. 3 собственикът може да привлича допълнително експерти, в случай че не притежава специалист с необходимата професионална квалификация.



Заклучение

В Допълнителните разпоредби от Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние в § 1 са дефинирани основни термини: "Авария", "Берма", "Временно извеждане от експлоатация", "Горен участък", "Долен участък", "Досие на язовира", "Извеждане от експлоатация на язовир", "Инцидент", "Контролно-измервателна система (КИС)", "Облекчителни съоръжения", "Опасност" е събитие или състояние, създаващо вероятност от настъпване на вредоносни последици за язовира и съоръженията му, за хората, материалните ценности и за околната среда, "Оператор на язовирна стена" и др. С посочената цялостна терминология е необходимо да бъде запознат всеки инспектиращ съоръжения за минни отпадъци.

В резултат на инспекцията на съоръжението за минни отпадъци се съставя индивидуален констативен протокол за всяко хвостохранилище. Констативния протокол се съставя и подписва на основание чл. 41, ал. 5 от Наредбата за управление на минните отпадъци в два еднообразни екземпляра, един за Министерство на енергетиката и един за оператора на съоръжението за минни отпадъци (хвостохранилище). Констативния протокол включва констатации по: прегледа на наличната документация на хвостохранилището, изпълнението на плана за управление на минните отпадъци и отчитането му, техническото и експлоатационното състояние на съоръжението, заключения и предписания давани на оператора.

Използвана литература

1. Закон за подземните богатства изм. и доп. ДВ. бр.17 от 26 Февруари 2021г.
2. Наредба за управление на минните отпадъци Приета с ПМС № 1 от 7.01.2016 г., обн., ДВ, бр. 5 от 19.01.2016 г., в сила от 19.01.2016 г., изм. и доп., бр. 58 от 23.07.2019 г., в сила от 23.07.2019 г
3. Решение за изпълнение (ЕС) 2020/248 НА КОМИСИЯТА от 21 февруари 2020 година за определяне на технически насоки за инспектирането в съответствие с член 17 от Директива 2006/21/ЕО на Европейския парламент и на Съвета (нотифицирано под номер C(2020) 889) (текст от значение за ЕИП)
4. Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние, в сила от 31.01.2020 г., Приета с ПМС № 12 от 28.02.2020 г., Обн. ДВ. бр.9 от 31 Януари 2020г.



УСКОРЕНО ОБЕЗВОДНЯВАНЕ И УПЛЪТНЯВАНЕ НА ДЕПОНИРАН ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ ЧРЕЗ МЪД ФАРМИНГ

инж. Цветан Дилов, инж. Стоил Димитров
„Елаците-Мед“ АД
Кореспонденция до Цв. Дилов на tz.dilov@ellatzite-med.com

ABSTRACT

The huge demand for mineral resources recently, requires ensuring more volumes for tailings deposition. Finding the appropriate area for this becomes more difficult, as limitations come from different sides – environmental, financial and political reasons, local and municipal reluctance, guaranties for safe operation and maintenance. One option for partially solving the problem is to increase the consolidation and dewatering rate of the deposited residue. A new approach for this is developed during the last 20 years – mud farming. Here, we present our experience in applying such technique at the Benkovski-2 Residue Storage Facility by using an Australian-produced amphiroll machine called MudMaster.

Въведение

В последните години неимоверно се увеличи нуждата от минерални ресурси. Производството им налага да бъдат осигурени по-големи обеми за депониране на хвостов материал. Намирането на подходящи площи за тази цел е все по-трудно. Ограничителните фактори са разностранни, като някои от тях са: финансови и политически, такива свързани с околната среда, нежелание на местните общности и администрация да преотстъпят земите си, необходими гаранции за безопасна експлоатация и поддръжка на съоръженията за депониране.

Възможност за частично решаване на проблема е да се ускори консолидацията и отводняването на прясно намит хвостов материал. Нов подход в тази насока се разработва от началото на 21 в. – мъд фарминг. След предварителните проучвания, консултации и анализи, през 2018 г. „Елаците-мед“ АД въведе в експлоатация машина за мъд фарминг, наречена MudMaster, която се произвежда в Австралия.

Какво е мъд фарминг и с какви машини се постига?

Мъд фарминг е процес на фрезование на прясно намит хвостов материал. Методът се прилага успешно в минната индустрия добиваща черни, цветни и благородни метали, изкопаеми горива или при строежа на геотехнически съоръжения.

Целта на фрезването е чувствително да се ускори процеса на консолидация на намития хвостов материал. Обработката се извършва със специализирани машини амфибии, които са способни да плават и да прорязват прогресивно уплътняващия се хвостов материал.

Фрезването или нарязването се провежда по 8-10 пъти върху една и съща площ и обем от намит материал. В процеса на работа се формира лек наклон на плажната зона, в посока към утаечното езеро, което дренира отделената вода от материала.

MudMaster от Phybion Plc., Австралия

Машината MudMaster (Фигура 1) се произвежда от Phybion Plc., австралийска компания, базирана в гр. Бризбейн. Предишното име на компанията е Residue Solutions Plc. Разработването на машината е започнало в началото на 21 в., като в момента се произвежда пета генерация.

Двигателят е стандартен, дизелов, от Caterpillar. Задвижването е чрез хидромотори от Hägglunds CA на Bosch Rexroth, които контролират двойка шнекове. Последните са два вида - подготвителни и производствени. Машината е оборудвана с платформа с две подвижни стълби, кабина за оператора, автоматична противопожарна система, мощно осветление за нощна работа, електрохимична анодна антикорозионна защита и спасително въже.

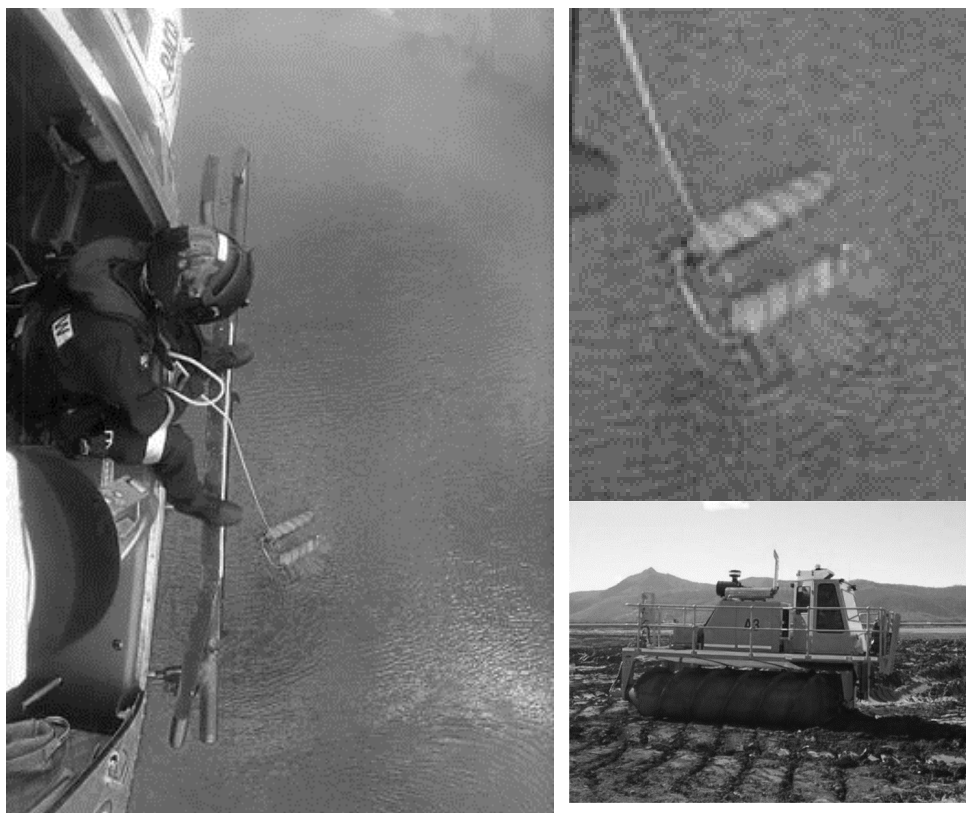
Кабината е климатизирана и разполага с комфортен стол, два джойстика за управление на всеки от шнековете, командно табло, радио, радиостанция.



Фигура 1. Общ изглед от машината MudMaster, собственост на „Елаците-мед“ АД; снимка Цв. Дилов

Технологична машина и зона на обработка

Машината е технологична, т.е. методът ѝ на управление трябва да следва предварително подготвен план за работа. Тя се управлява от специализиран оператор. Най-подходящи за работа са специалисти в управление на селскостопански машини.



Фигура 2. Преобърната машина (ляво) в материал от червен шлам и спасяване на операторите, Yarwun, Rio Tinto, Gladstone, Australia. Авариралата машина, наречена amphibious amphibol (амфибийна двуролка) (дясно, долу), е от конкурент на Phybion. (no Sawyer, S. and Winter, A., 2013).

Шнековете играят роля както за движение, така и за плаваемост. Използват се два типа шнекове – подготвителни и производствени. Подготвителните са с по-голям диаметър, по-леки са и позволяват на машината да плава в неконсолидирана суспензия от намит хвостов материал. Производствените шнекове са с по-малък диаметър, по-тежки са и позволяват на машината да потъне в контролиран слой

от суспензия, като стъпи върху консолидиран слой от хвостов материал, положен под последно намития такъв. Контролът върху машината се осъществява чрез два джойстика, по един за всеки от шнековете. Натискането на джойстиците напред води до противоположно въртене на шнековете и машината се движи напред. Дърпането на джойстиците движи машината назад. Противоположното натискане на джойстиците води до едновременно въртене на шнековете по посока или обратна на часовниковата стрелка, което задвижва машината настрани. Тя може да се движи в суспензии, течности или върху твърди повърхности. Последното се практикува предимно за преместване на машината от едно място на работа на друго.

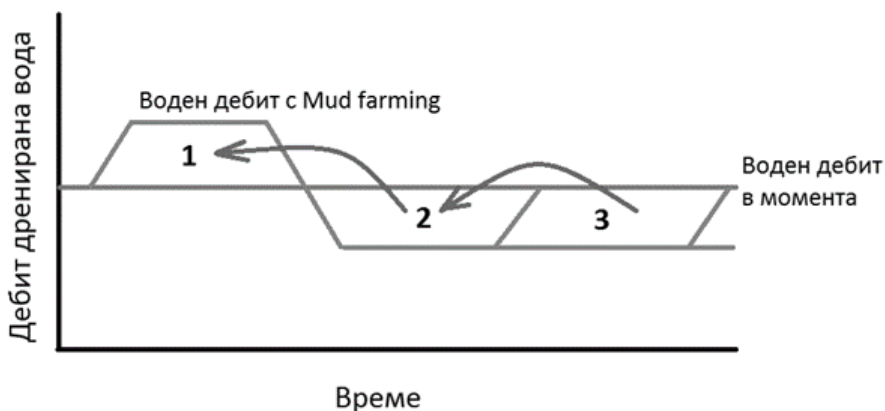
Необходимо е постоянно внимание от страна на оператора и непрекъснато усещане на взаимодействието между субстрата и машината. Кратко разконцентриране на водача, може да доведе до неприятни ситуации, като засядане или дори преобръщане (Фигура 2). Последното е възможно, ако операторът наклони машината странично повече от допустимото. Това може да се получи ако се допусне единият шнек да стъпи върху твърда повърхност а другият да остане „висящ“ в суспензията или течността.

Зоната за работа е плажът, разположен между хвостовата стена и утаечното езеро. Обработка се плажната зона с прясно намит хвостов материал. Площта за обработка зависи от близостта до утаечното езеро. Да се работи прекалено близко до езерото е безсмислено, поради напразното въртене на шнековете в много рядка суспензия.

Първо се започва се с обработка на подготвителен слой с дебелина 0.90 – 1.00 m, за достатъчна консолидация, способна да понесе движение на средно голям булдозер. Следва работа в продуктивни слоеве. Броят на нарязванията върху дадена площ е 8-10, като се цели постигане на 35 kPa якост на срязване, гарантираща незатъване на булдозер (за случая на „Елаците-Мед“ – Caterpillar D6N). След постигане на един консолидиран слой, работата продължава в последващо намити слоеве, като вече се използват производствени шнекове.

Воден баланс в хвостовото съоръжение

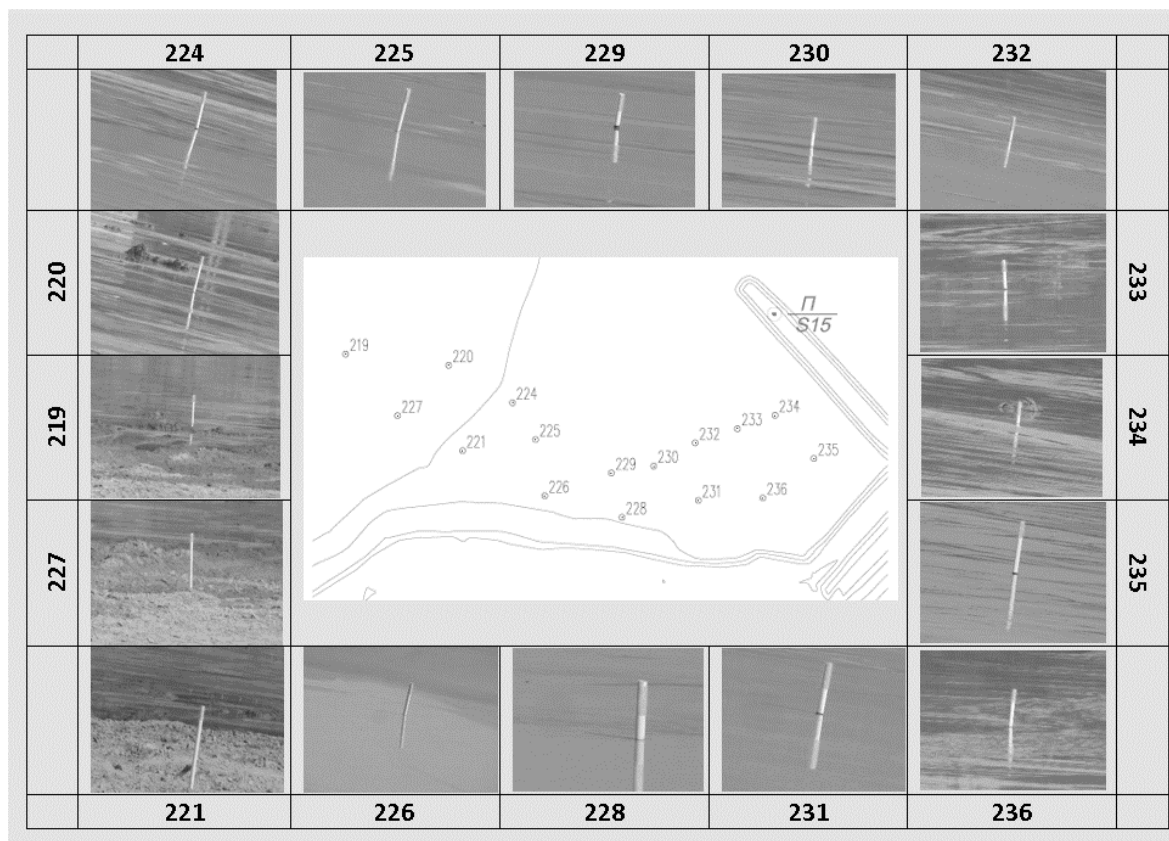
При първоначално започване на прилагане на мъд фарминг се произвежда повишено дрениране на води от хвостовото съоръжение. Отделеният обем е зает от водния баланс за характерно време в бъдещето, което е присъщо на конкретното приложение на метода. През периода след първоначалното започване, дренирания обем вода се заема от следващия период, като по този начин се запълва освободения обем от предишния период. Така след първоначалното увеличение на дренираната вода, водният баланс достига до нивата си преди започване на прилагане на мъд фарминг (Фигура 3).



Фигура 3. Промяна на водния баланс на съоръжението, вследствие на прилагането на мъд фарминг.

Метод на обработване на площта

Дебелината на намития слой се контролира с предварително поставени дървени маркери с височина във въздуха от 1 m. Горните 10 cm от маркера са боядисани в червено или оранжево за по-лесна видимост и контрол на дебелината на нашиване (Фигура 4).



Фигура 4. Контрол на дебелината на намития слой чрез дървени маркери. Позицията на поставените маркери се заснема предварително с геодезични способи (център). Всеки от маркерите се наблюдава визуално до покриване на неоцветената му горна част (околни снимки); геодезична снимка – Цв. Раков, фотографии – Цв. Дилов.

Срокът за един цикъл от 8-10 нарязвания е 1.0 – 1.5 месеца. Нарязването се осъществява приблизително перпендикулярно на основната стена (Фигура 5).

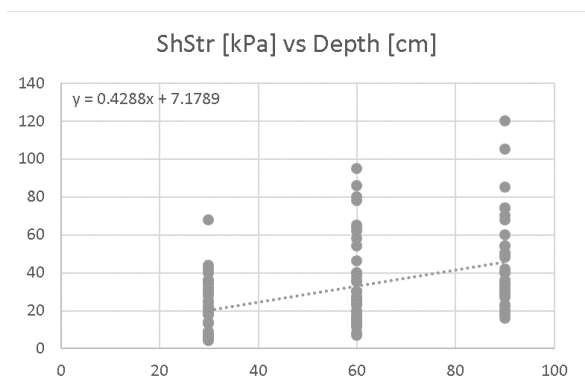


Фигура 5. Нарязване на намития хвостов материал перпендикулярно на хвостовата стена; снимка Цв. Дилов

Контролът за достигане на качеството на обработената площ се осъществява чрез ръчно измерване на якостта на срязване на обработения материал с крилчатка. Измервания се правят на дълбочини от 30, 60 и 90 cm (Фигура 6). При постигане на 35 kPa якост на срязване, обработката се прекратява, като се пристъпва към заравняване с булдозер и валиране (Фигура 7).

Контрол на постигнатите резултати

Резултатите се контролират по няколко независими начина: ръчно измерване на якостта на срязване с крилчатка (Фигура 6), събиране на шурфови проби за определяне на физични показатели и зърнометрия от нарушен и ненарушен консолидиран хвостов материал в подготвителен и продуктивен слоеве, като плътност, водонаситеност и др., щампово натоварване, стандартен пенетрационен тест, конусен пенетрационен тест и ортофото заснемане с дрон, за определяне на освободените от консолидацията обеми.



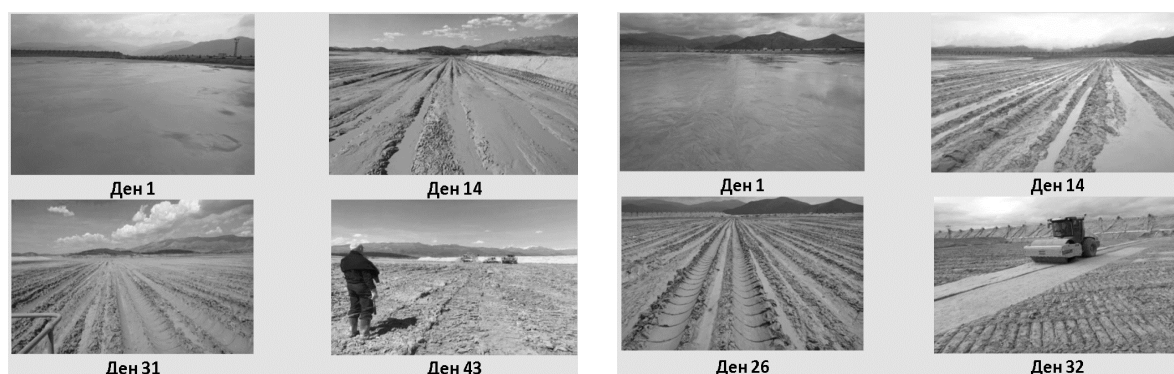
Фигура 6. Нарастване на якостта на срязване (ордината в kPa) спрямо дълбочина на обработения слой от намит хвостов материал (абциса в cm)



Фигура 7. Заравняване на обработената площ с булдозер Caterpillar C6N (ляво) и валиране с валик AtlasCopco CA2800 (дясно) (по Munro, 2017)

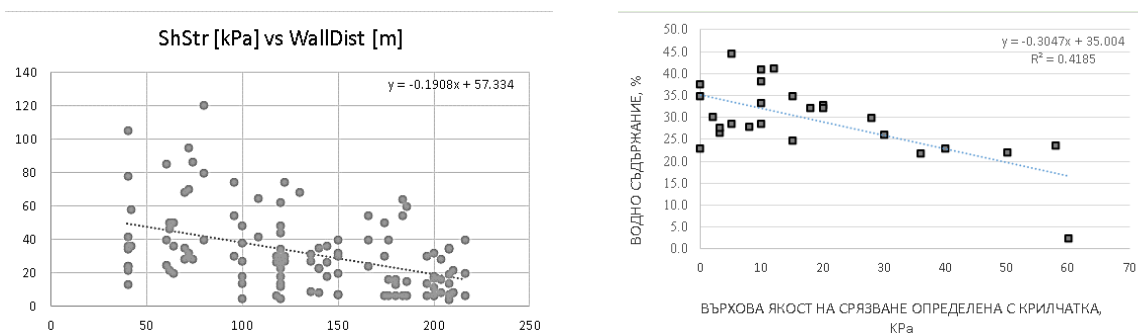
Резултати от тестова обработка

Преди закупуването на машина MudMaster, бе проведено тестово обработване на прясно намит хвостов материал с помощта на нарочно доставена машина от производителя. Резултатите са видими от снимките по-долу (Фигура 8). При еднакви условия на обработка и качество на намития материал, обработката на продуктивния слой приключи с около 10 дни по-бързо от тази за подготвителния слой.



Фигура 8. Обработка на подготвителен слой с леки шнекове, голям диаметър (4 снимки вляво) и на продуктивен слой с тежки шнекове, малък диаметър (4 снимки вдясно). Под всяка снимка е означен напредъка на обработка в дни.
(по Munro, 2017)

В процеса на работа, с помощта на съпътстващите пробовземания и измервания, бяха изведени няколко корелативни зависимости. От една страна якостта на срязване на депонирания хвостов материал се увеличава с нарастване на броя на нарязвания върху дадена площ, както и с приближаване към короната на хвостовата стена (Фигура 9). От друга – водното съдържание намалява с увеличаване на броя на нарязванията и с нарастване на якостта на срязване (Фигура 9). Посредством фотограметрични методи с дрон, бяха заснети ортофото снимки, чрез които се доказва слягане на намития хвостов материал след консолидация от 22%. Бяха проведени и други опити за търсене на корелативни зависимости, но данните са с висока степен на дисперсия, което възпрепятства надеждния анализ.



Фигура 9. Постигната якост на срязване спрямо отдалеченост от короната на хвостовата стена (ляво) и водно съдържание спрямо постигната якост на срязване (дясно)

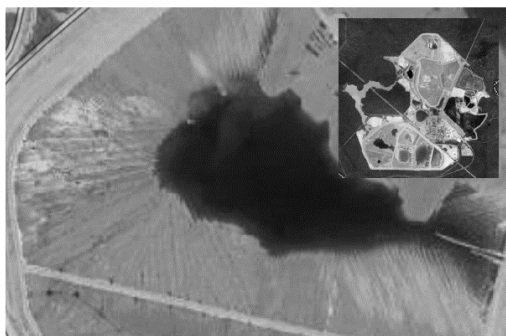
Типични приложения на мъд фарминг по света

Мъд фарминг се прилага за обработка на хвостов материал от производство на алуминий (Фигура 10а и б), при депониране на отработени нефтени пясъци в Канада, както и при минен добив на черни и цветни метали и съответните хвостови съоръжения. Най-неблагоприятните, обработвани чрез мъд фарминг материали, са отпадъчните продукти от производство на въглища (Фигура 10в) и при отвоюване на земна повърхност от морски терени, чрез депониране на драгиран материал от речни наноси (анонимен, 2013) (Фигура 10г). Трудността тук се контролира от голямото количество глинести минерали и по-бавното дрениране на води. Въпреки това приложението на метода е финансово рентабилно.

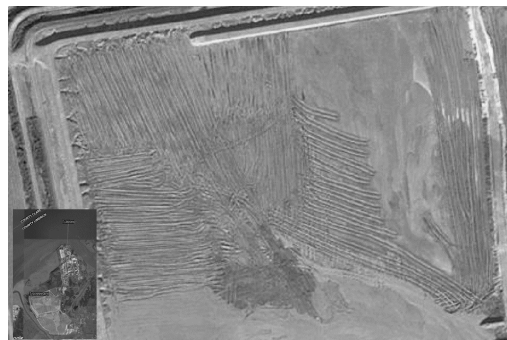
Заклучение

Мъд фармингът притежава редица преимущества. Методът ускорява консолидацията до 6 пъти, увеличава капацитета на съоръженията, като е възможно намаляване на заетия обем до 40%, увеличава устойчивостта от разрушаване в обработените зони, обезводнява обработения материал, като спомага за намаляване на поровото налягане и от там допълнително увеличава устойчивостта срещу разрушаване, създава релеф в плажната зона, което води до намаляване на кинетичната енергия на праховите частици при силен вятър. Машината е с възможности за прецизен GPS контрол на движението.

Могат да се посочат няколко недостатъци на метода. Машината MudMaster не може да работи в терени с ледена покривка по-дебела от 3 см. Тогава, задвижващата система на хидромоторите лесно се поврежда. В силно абразивни субстрати, шнековете се износват прекалено бързо и подлежат на подмяна. Необходимо е специално внимание за управление на рисковете при работа с машината, както и специализирано обучение на операторите.



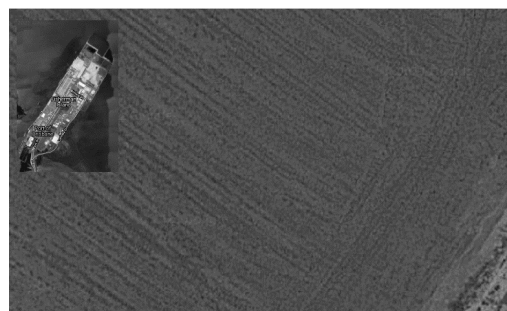
а) червен шлам от производство на алуминий, Worsley Alumina Pty, източно от гр. Бънбъри, Западна Австралия



б) червен шлам от производство на алуминий, Rusal Aughinish Alumina Ltd., западно от гр. Лимерик, Ирландия



в) въглищни хвостохранилища, North Atenienne, Glencore Liddell Coal Mine, западно от гр. Нюкасъл, Нов Южен Уелс, Австралия



г) отвоювана от морето земя, Пристанище Бризбейн, Куинсленд, Австралия

Фигура 10. Примери с прилагане на мъд фарминг при обработка на различни типове хвостов материал и отвоюване на земна повърхност от морски терени; а), б) и г) снимки от Google Maps © 2021, картна информация от TerraMetrics © 2021; в) снимка Ст. Димитров, 2016 г. Вложките показват цялото съоръжение.

Използвана литература

1. Anonymous, 2013, Brisbane port land use plan 2013, Part 7 Appendices, Map 5 Core Port lands – Development staging. Brisbane Port Pty Ltd.
2. Munro, L., 2017, Ellatzite-Med AD mud farming trial final report, Residue Solutions Plc., Brisbane, Australia
3. Sawyer, S. and Winter, A., 2013, Two rescued after machine rolls in Rio's red mud dam, *The Observer*.



ОБСЛЕДВАНЕ НА СТАТИЧЕСКА И ДИНАМИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА ХВОСТОВИ СТЕНИ

Инж. В. Анастасов, Инж. Й. Балачева, Инж. Ст. Димитров, Инж. В. Жипонова

Целите на изследването са определянето на следните величини, характеризиращи поведението на стената при различни съчетания на натоварванията и въздействията:

- Премествания в насипите в тялото на стената;
- Напрежения в насипите в тялото на стената
- Стабилитет на откоса на хвостова стена

Анализът на напрегнатото и деформирано състояние (*SDA analysis*) се извършва по метода на крайните елементи (*FEM*). Поведението на почвите, в това число и на изпълнените насипи, по отношение на тяхното напрегнато и деформирано състояние се характеризира с три основни ефекта:

- Нелинейност;
- Зависимост от нивото на напреженията;
- Нееластичност.

Анализът се извършва при отчитане на последователността на изграждане на хвостовата стена и извършване на напичане в чашата на хвостохранилището т.е. отчита се "история на натоварването".

Извършват се следните основни анализи при съответните оразмерителни случаи:

- **Филтрационни изчисления на стената по профили – програма SEEP на фирмата GEO-SLOPE International Ltd**
- **Проверка на стабилитета на въздушния откос при основно и особено съчетание на натоварването - програма SLOPE на фирмата GEO-SLOPE International Ltd**
- **НДС ПРИ ОСНОВНО СЪЧЕТАНИЕ НА НАТОВАРВАНЕТО**
 - Филтрационна устойчивост при поетапно изграждане на стената – програма SEEP на фирмата GEO-SLOPE International Ltd
 - Напрегнато и деформирано състояние – програма SIGMA на фирмата GEO-SLOPE International Ltd
- **НДС ПРИ ОСОБЕНО СЪЧЕТАНИЕ НА НАТОВАРВАНЕТО**
 - Сеизмична устойчивост на стената – програма QUAKE/W на фирмата GEO-SLOPE International Ltd
 - Напрегнато и деформирано състояние с преразпределение на напреженията от земетръса – програма SIGMA на фирмата GEO-SLOPE International Ltd, вкл. **определяне на потенциално опасни зони за втечняване на хвоста**
 - Проверка на стабилитета на въздушния откос и определяне на критичните хлъзгателни повърхнини с отчитане на потенциалните зони за втечняване на хвоста - програма SLOPE на фирмата GEO-SLOPE International Ltd
 - Изчисляване на постоянните премествания на стената по време на сеизмично натоварване - *Newmark's sliding block analysis*- програма SLOPE на фирмата GEO-SLOPE International Ltd.
- **Определяне на критична депресионна линия**

ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ НА ХВОСТОВАТА СТЕНА

Като част от дейностите свързани с набора на достоверни данни за състоянието на обекта е извършването на геоложки проучвания на хвостовата стена които в основната си част се свеждат до:

1. **Моторно ядково сондиране** – извършва се през хвостовото тяло на стената до достигане на естествения терен и навлизайки в него. По време на проучвателното сондиране се извършва описание на преминалите геоложки разновидности.
2. **Изграждане на пиезометри** - в проучвателните сондажи се спускат филтрационни колони от плътни и перфорирани полиетиленови тръби които могат да се ползват, като дълготрайни пиезометрични мониторингови пунктове.

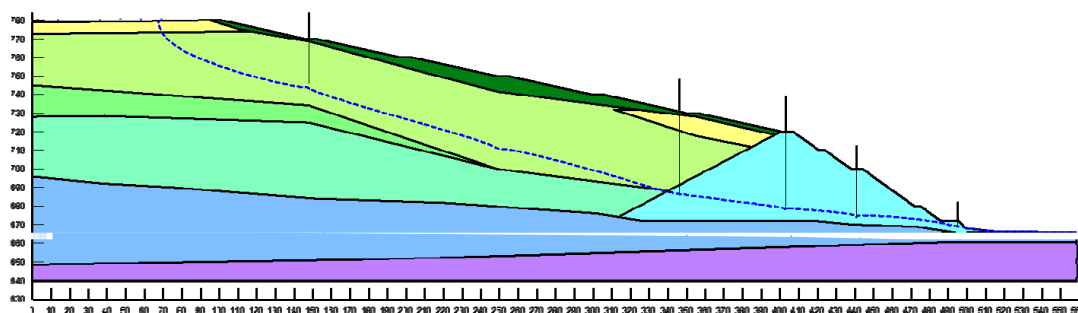


3. **Провеждане на стандартен пенетрационен тест (SPT)** за полево определяне физико-механичните свойства на хвоста. Пенетрационният тест се изпълнява във всички проучвателни сондажи на хвостовата стена.
4. **Провеждане на опитно-филтрационни изследвания в хвостовото тяло на стената**
За определяне на хидрогеоложките параметри на хвоста, в част от изградените пиезометри се правят опитни водоналивания.
5. **Провеждане на опитно-филтрационни изследвания в основната насипна стена и естествения терен**
За определяне на хидрогеоложките параметри на основната насипна стена и естествения терен се изпълняват опитни водоналивания.
6. **Провеждане на опитно-филтрационни изследвания в скалната основа**
За определяне на хидрогеоложките параметри на скалния терен в прокараните сондажи се провеждат опитни водонагнетявания с пакерна уредба.
7. **Лабораторни анализи на земни проби взети от хвостовото тяло на стената.**
На взетите проби са определени общи физико-механични показатели и якостни характеристики.
8. **Лабораторни анализи на земни проби взети от естествения терен и от насипните материали на стената.**
На взетите проби от естествения терен се определят общи физико-механични показатели и якостни характеристики.
9. **Лабораторни анализи на скални проби взети от скалната основа.**
На скалните проби са определени физико-механични показатели и якостни характеристики.

ФИЛТРАЦИОНЕН АНАЛИЗ

Филтрационните изследвания се извършват с програмния продукт *SEEP/W*, от пакета програми *GeoStudio*. Филтрационните изследвания на хвостовата стена се състоят в определяне на положението на депресионната крива и филтриралите водни количества при поетапното изграждане на стената. Това е необходимо с оглед получаването на достоверна картина на деформациите на стената. Моделират се всички геоложки зони и дренажи в тялото на стената, установени от геоложките и хидрогеоложки проучвания. Изчисленията се извършват по метода на крайните елементи, с равнинни (2-D) модели в условията на стационарна или нестационарна филтрация.

Филтрацията в крайния етап на изследване се определя при зададена екзекутивна депресионна линия, от натурните измервания с цел да се създадат желаните филтрационни условия, които ще окажат влияние върху напрегнатото и деформирано състояние на хвостовата стена.



Екзекутивна депресионна линия при стационарна филтрация

СТАБИЛИТЕТНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

Изчисленията за устойчивост на въздушния откос се основават на теорията за граничното равновесие на сили и моменти. Коефициентът на сигурност се дефинира като коефициент, с който трябва да се редуцира якостта на срязване на почвата, за да се доведе почвената маса до състояние на гранично равновесие по зададена хлъзгателна повърхнина.

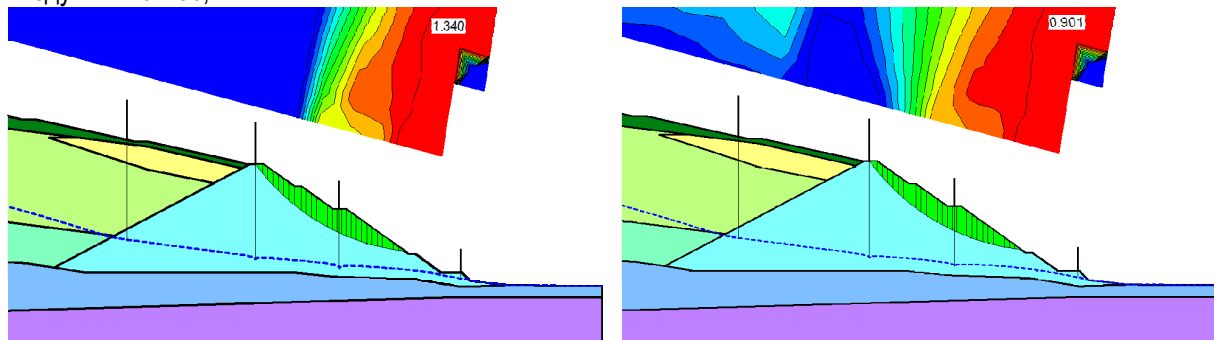
За получаване на хлъзгателната повърхнина с минимален коефициент на сигурност се изследват голям брой повърхнини. За тази цел над изследвания откос се дефинира област на центровете на хлъзгателните повърхнини. За всеки от центровете се определя коефициентът на сигурност за повърхнини с няколко различни зададени радиуси. В областта на центровете се изчертават изчислените изолинии на коефициентите на сигурност. Показател, че е намерена повърхнината с минимален коефициент е, когато нейният център се намира в затворени контури на изолинии.

За изследване се ползват основно: *Методът на Bishop* и *Методът на Terzaghi (Ordinary)*.

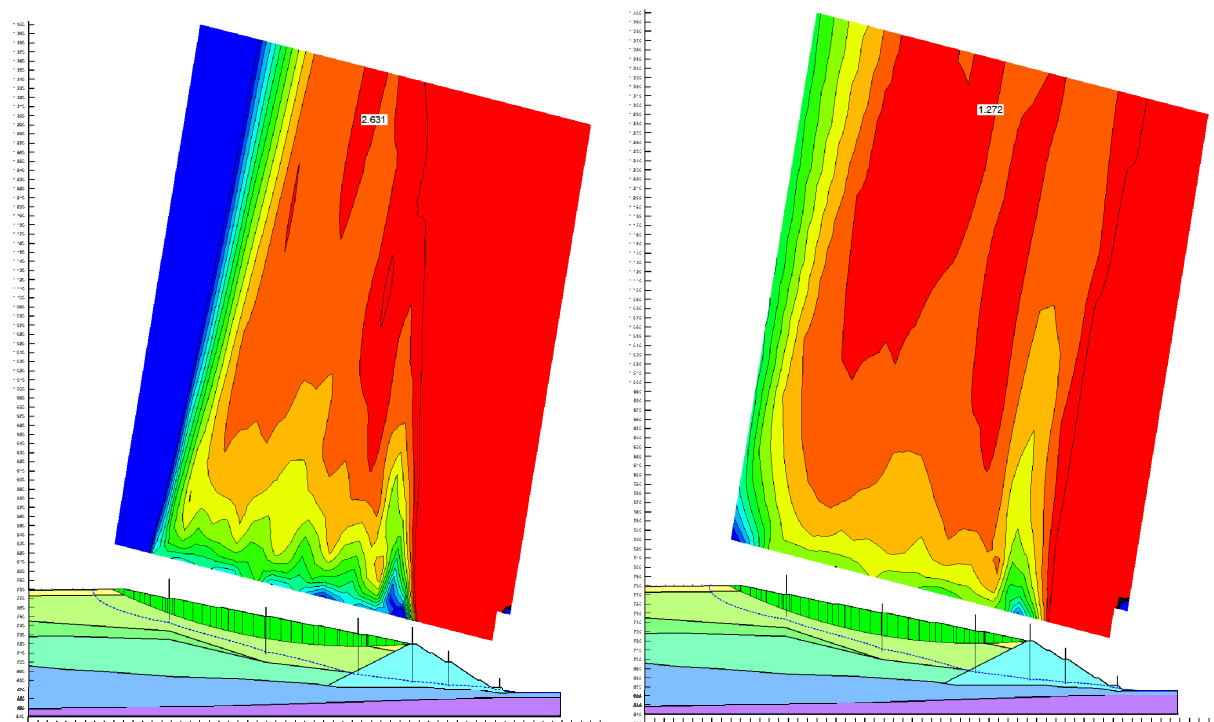
Изследването на устойчивостта на откоса се извършва за всички профили вкл. най-високия профил на стената. Изчислителните модели за определяне на минималните Коефициенти на устойчивост FoS и по двата използвани метода обхващат тялото на стената и част от основната скала. Физико-механичните параметри на отделните зони в стената съвпадат с тези, използвани в анализа на напрегнатото и деформирано състояние.

Устойчивостта на откосите се изследва с програмния продукт SLOPE/W, част от геотехническия пакет програми GEO-SLOPE Office 12 на канадската фирма GEO-SLOPE International Ltd, Calgary. Извършват се следните групи изследвания, за да се обхване максимално всички неблагоприятни случаи на загуба на устойчивост:

1. Изследване за загуба на устойчивост по кръгово-цилиндрични хлъзгателни повърхнини на въздушния откос;



Коефициент на стабилитет на долна опорна стена при основно и особено положение



Коефициент на стабилитет на хвостова стена при основно и особено положение



2. Изследване за загуба на устойчивост по избрана полигонална повърхнина според полученото разпределение на максималните премествания по X в тялото на стената в Експлоатационен случай на натоварване – въздушен откос;

За всяко изследване се разглеждат следните изчислителни случаи и съчетания на натоварванията, като за всеки един от тях се определя минималният Коефициент на устойчивост по Метода на *Bishop* и по Метода на *Terzaghi (Ordinary)*:

- Особено съчетание при Max Възможно земетресение
- Особено съчетание при Проектно Земетресение
- Основно съчетание

При особените съчетания на натоварванията сеизмичните сили при Максимално възможното земетресение (МВЗ) и при Проектното земетресение (ПЗ) са зададени както в хоризонтално, така и във вертикално направление.

КРИТЕРИИ ЗА СИГУРНОСТ

За хвостовата стена са определени следните коеф. на сигурност за ХТС съоръжение – I клас при различните видове съчетания на натоварването:

Нормативни коефициенти на сигурност

№	Съчетание на натоварването	FoS-factor of safety	
		Норми за проектиране на насипни язовирни стени	Strength of Materials for Embankment Dams, SLOPE STABILITY EM-1110-2-1902
1	Основно съчетание	1.25-1.40	1.50
2	Особено съчетание	1.10-1,20	1.10

Въз основа на проведения анализ се изготвят заключения от получените резултати с които се прави оценка на сигурността на стената.

НАПРЕГНАТО И ДЕФОРМИРАНО СЪСТОЯНИЕ НА СТЕНАТА

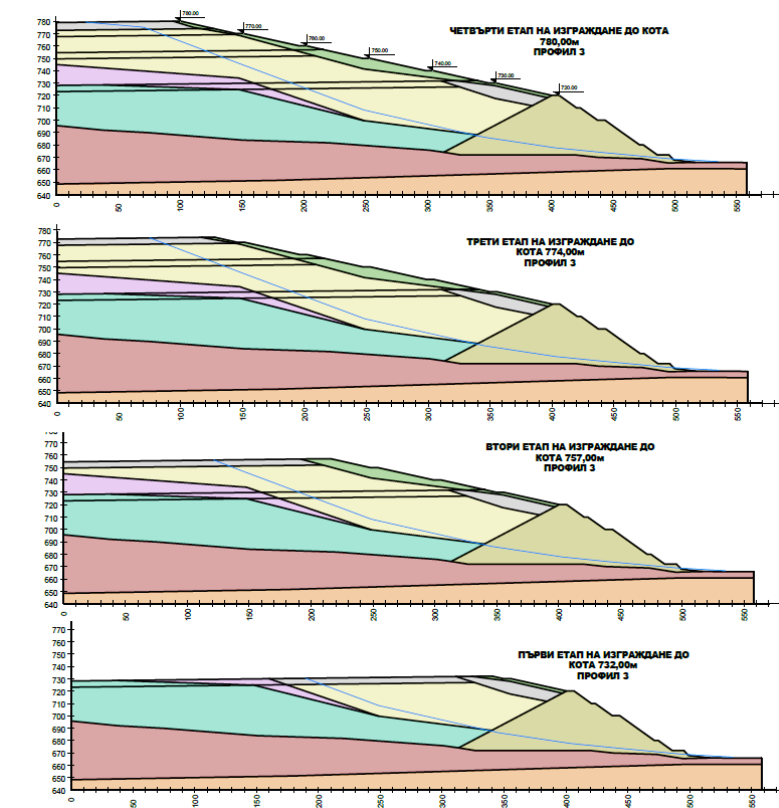
Анализът на напрегнатото и деформирано състояние на стената има за цел да установи какви са максималните стойности на напреженията и деформациите, които възникват в насипа на хвостовата стена при най-характерните случаи на натоварване и дали те не превишават носимоспособността на насипния материал. Това изследване е допълващо към изследването за определяне на Коефициента на устойчивост по Методите на Терцаги (*Ordinary*) и *Bishop*, които са основният критерий за определяне на сигурността на стената.

СТАТИЧНО НАТОВАРВАНЕ ОТ СОБСТВЕНО ТЕГЛО С ОТЧИТАНЕ ПОЕТАПНОТО ИЗГРАЖДАНЕ НА СТЕНАТА

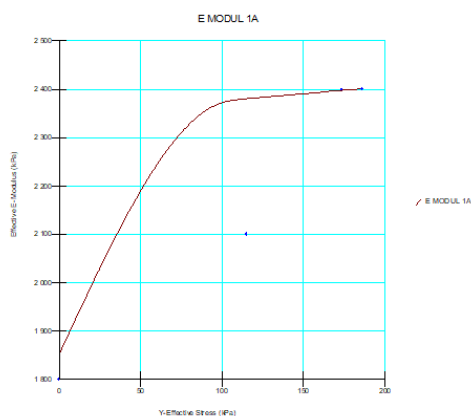
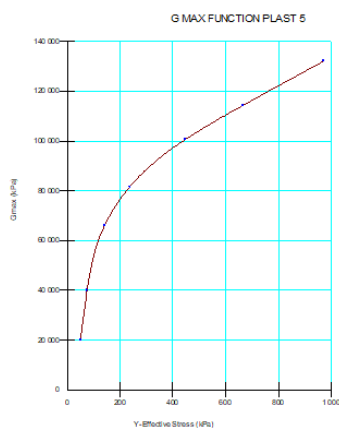
Анализът на напрегнатото и деформирано състояние на стената се извършва по метода на крайните елементи с програмата SIGMA/W върху двумерен модел на системата хвостова стена – основа. Анализът се провежда при предпоставка за нелинейно поведение на насипните материали в тялото на стената. Приема се т.нар. еласто-пластичен модел на зависимостта деформации – напрежения на насипните материали.



Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия



Етапност на изграждане на хвостова стена



Промяна на модулите на срязване и еластичност в дълбочина на хвоста

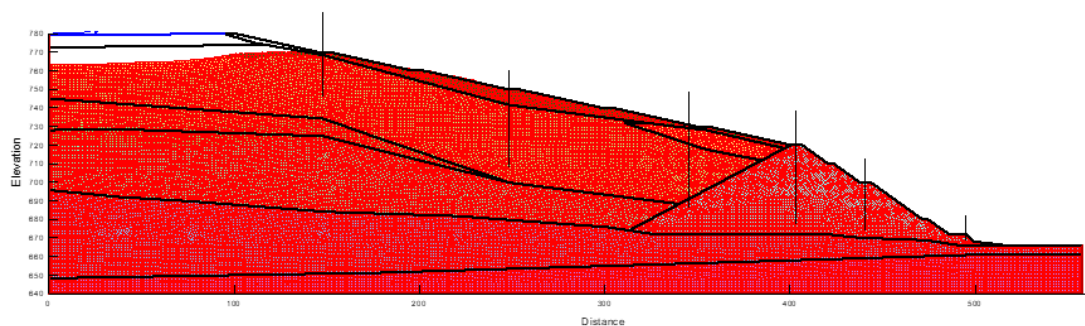
За анализиране на напрегнатото и деформирано състояние на стената се използват изчислителни модели на няколко броя профили вкл. най-високия профил.

Натоварванията върху стената и техните комбинации се определят съгласно нормативните документи.

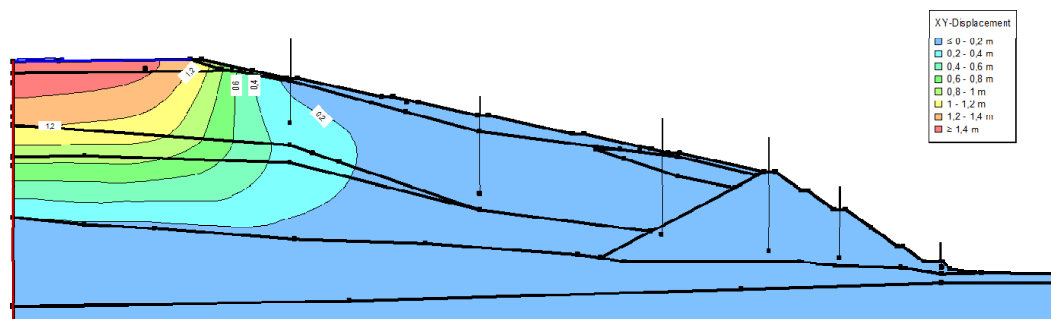
Натоварванията и въздействията, отчетени в този изчислителен случай, са, както следва:

- Собственото тегло на стената: **G**
- Филтрационен натиск: **W**

Натоварванията се прилагат поетапно в съответствие с приложената схема на изграждане на стената.



Деформирана схема



Премествания по ХУ

ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ

Нелинейният анализ, който се прилага за изследване на поведението на стената вследствие сеизмично въздействие, зададено с акселерограми (запис на реално земетресение или аналитично генерирани), се характеризира с еднократно последователно интегриране на историята на натоварването, но с няколко итерации на всяка стъпка по времето, с цел да се получи представително сходящо решение за изменените вследствие на земетресението физико-механични свойства на насипа.

Зависимостта напрежения-деформации не се задава предварително, а се пресмята по време на натоварването, тъй като зависи от историята на процеса и е негова функция. В случая зависимостта на характеристиките напрежения-деформации се модифицира (преизчислява) след всяка стъпка по време на натоварването, за да се получи конкретното нелинейно поведение на насипа (почвата) при конкретното натоварване.

За прецизно отчитане на поетапното изграждане във времето се съставят криви на изменение на модула на срязване $[G]$ на отделните пластовете в дълбочина на база данни от инженерно – геоложките проучвания

Натоварването от сеизмични въздействия (ОРЕ) се задава с аналитично генерирани акселерограми на сеизмичното ускорение, както за хоризонталната, така и за вертикалната компонента.

Натоварванията и въздействията за всяко от оразмерителните сеизмични въздействия са както следва:

- Собственото тегло на стената: **G**
- Филтрационен натиск..... **W**
- Сеизмични въздействия при Проектно Земетресение (ПЗ):..... **ОРЕ**

Основните сеизмични нива, за които следва да се осигури хвостовата стена съобразно световната практика при подобен род обекти са:

- Сеизмично ниво SEE (*Safety Evaluation Earthquake*), с вероятност за превишение 1% за 100 години (среден период на повтораемост $T_R=10000$ години). При настъпване на такова събитие трябва да се предотврати неконтролируемото изпускане на вода.

- Сеизмично ниво OBE (*Operation Based Earthquake*), с вероятност за превишение 50% за 100 години (среден период на повторяемост $T_R=145$ години). При настъпване на такова сеизмично събитие по стената и основните съоръжения не трябва да има повреди или те да са пренебрежимо малки.

Към тези сеизмични нива се добавят и **3 допълнителни нива**:

- Сеизмично ниво с вероятност за превишение 10% за 50 години (среден период на повторяемост $T_R=475$ години). Това ниво съвпада с референтното сеизмично въздействие от **Eurocode 8**.

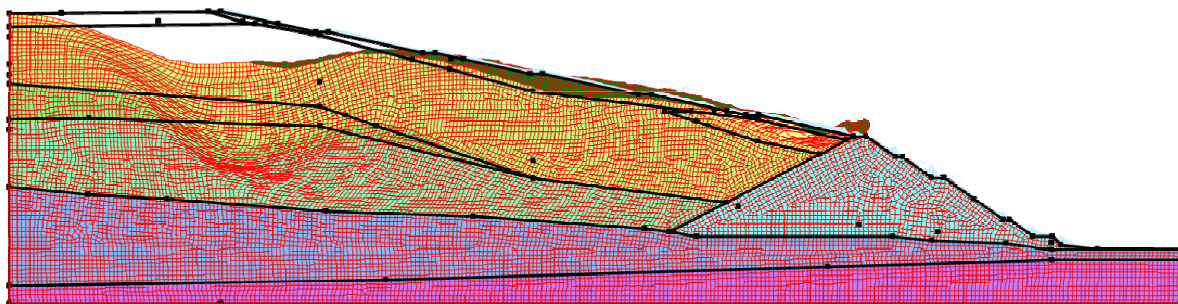
- Сеизмично ниво с вероятност за превишение 10% за 10 години (среден период на повторяемост $T_R=95$ години). Това ниво съвпада със сеизмичното ниво за ограничаване на повредите в Eurocode 8 и се използва при проектиране на спомагателни сгради и съоръжения с по-ниска степен на отговорност и експлоатационен период 50 години.

- Сеизмично ниво с вероятност за превишение 9,5% за 100 години (среден период на повторяемост $T_R=1000$ години). Това ниво е определено аналогично на референтното ниво в Eurocode 8 за конструкции с обичайна степен на отговорност, но удължен период на експлоатация (до 100 години) или за конструкции с повишена отговорност. Сеизмичното ниво с $T_R=1000$ години се използва и в *Наредба за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони*.

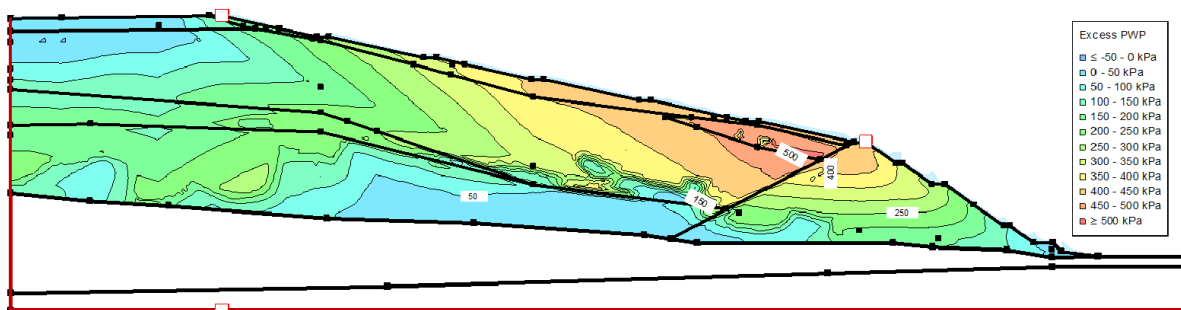
Генерирането на входните акселерограми се извършва в съответствие с почвените условия на площадката на стената, както и чрез използване на конкретната формулировка на проектния спектър на реагиране на ускоренията. Прилага се методиката, заложена в компютърната програма на Калифорнийския университет в Бъркли -САЩ/NISEE/.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА

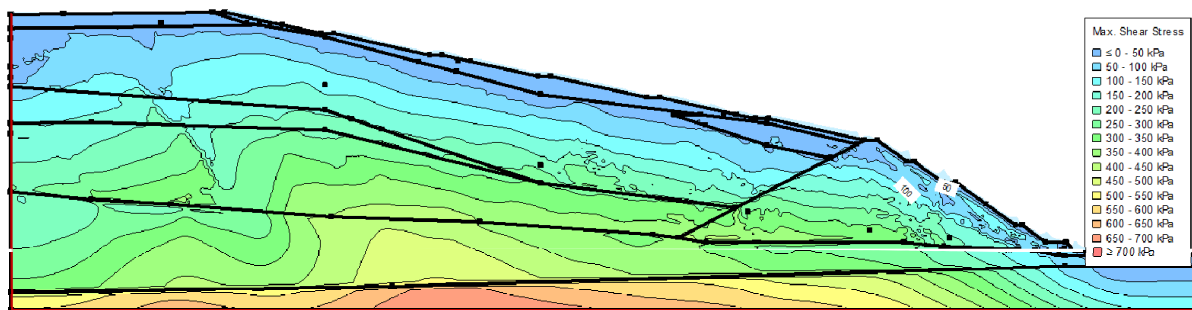
За всички изчислителни случаи се представят схеми на модела, схеми на натоварването и диаграми на преместванията, напреженията и графики на поведението на тялото на стената, в резултат на сеизмичното натоварване. За всички изчислителни случаи се представят графики на преместванията по X (хоризонтални) и по Y (вертикални) в [m], а за напреженията са представени графики за $\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$, и T_{xy} в [kPa].



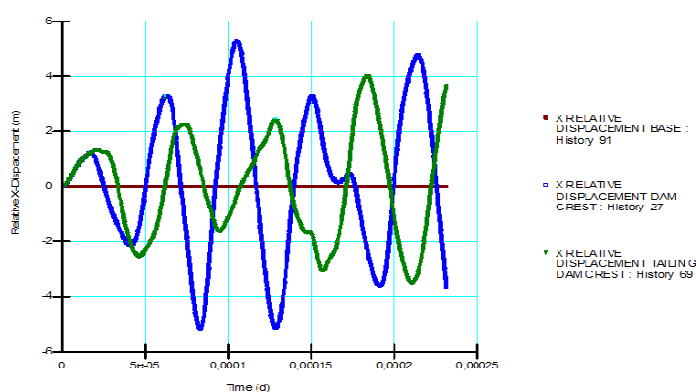
Деформирана схема



Повишение на порово налягане след сеизмичност



Макс. Срязващи напрежения



Премествания по време на сеизмичност

Контурите на хоризонталните и вертикалните премествания (сляганията) в насипите на стената се представят за отделните профили. На тези фигури ясно се вижда, разпределението деформациите както и тяхното разпределение по геометрията на съоръжението.

ОЦЕНКА НА ВЕРОЯТНОСТТА ЗА ВТЕЧНЯВАНЕ НА ХВОСТА ПРИ ЗЕМЕТРЪС

Втечняването е нарушаване устойчивостта на водонаситени пясъци в резултат на чувствително нарастване на порния натиск. Това явление може да се опише по следния начин: във водонаситените почви пространството между отделните частици е изцяло запълнено с вода, която упражнява налягане (порен натиск) върху тях. Това налягане влияе върху контакта между отделните почвени зърна. Преди земетресение порният натиск е сравнително малък, но в резултат на земетръсните вибрации той нараства, което може да доведе до разместване на частиците една спрямо друга. Обикновено втечняване се проявява при неуплътнени (рохкави), водонаситени, несвързани или слабо свързани почви. Явлението възниква вследствие на сеизмични или динамични натоварвания от машини, взривове или други източници. Динамичното натоварване, водещо до чувствително увеличаване на порния натиск, намалява ефективните нормални напрежения и съответно якостта на срязване на почвата, докато в определен момент се достигне до пълното ѝ изчерпване.

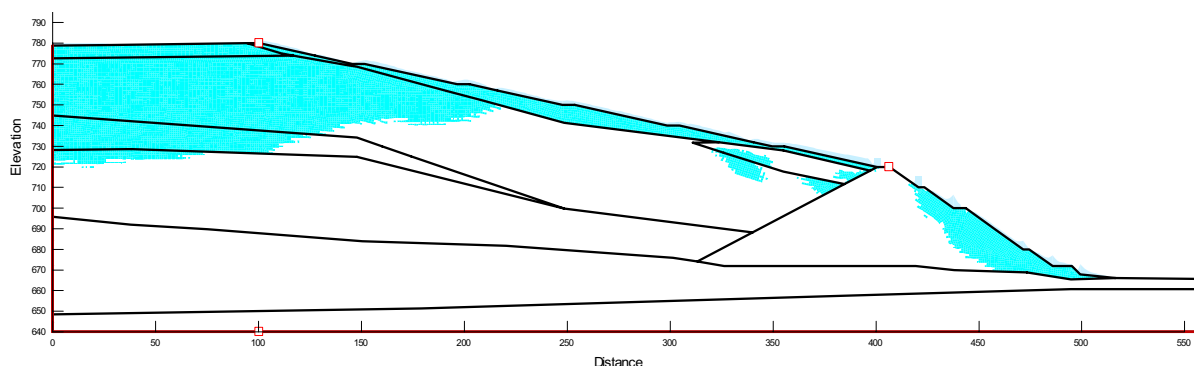
Оценката за втечняване на хвоста се извършва при изследване на сеизмичното въздействие за всички профили на хвостовата стена с програмите *QUAKE/W* и *SIGMA /stress redistribution/* при използването на т.н. *collapse surface /загуба на устойчивост/*.

Линията на критично състояние (CSL) представлява силата, формирана при големи деформации при съпротивление на срязване като обемът остава постоянен при продължително продължаващо напрежение.

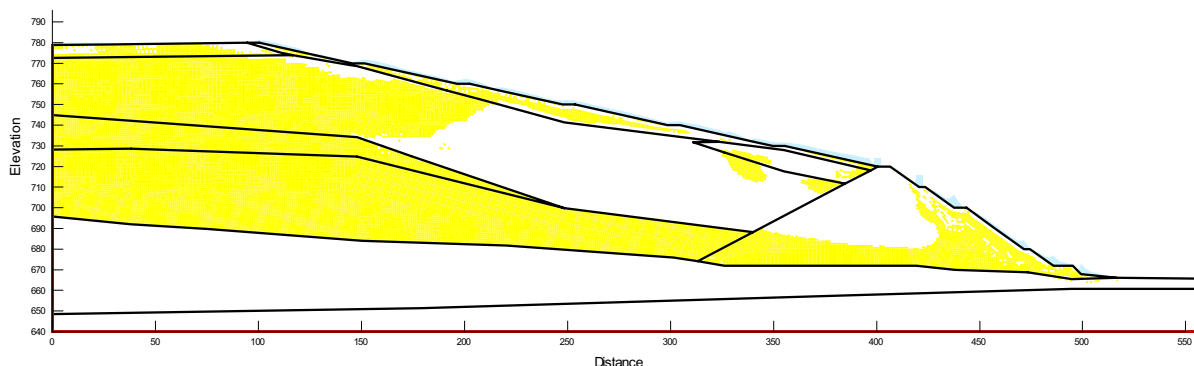


Collapse surface definition : Почвата с нарушена структура на зърното може да загуби якост, при натоварване с по-ниски параметри на нейната конвенционална якост, която е дефинирана от ефективните параметри с ϕ /кохезия/ и ϕ' /ъгъл на вътрешно триене/. Използвайки *QUAKE / W*, се симулира този потенциал за втечняване, като се определя хлъзгателната повърхнина и устойчивостта на материала. *QUAKE / W* използва тези характеристики на материалите за идентифициране на зоните на втечняване в материалите.

С модела от *SIGMA /stress redistribution/* и възможните зони */potentially liquefiable regions/* за втечняване на хвоста, се прави проверка за стабилитета на откоса на хвостовата стена и определянето на т.н. *critical surface slope* с възможния мин. коеф на сигурност. Изследването се прави с програмата *SLOPE* с изходна база резултатите от *QUAKE/W Newmark Deformation*.



Зони с вероятност за втечняване на хвост и загуба на якост



Зони с намалена якост на срязване

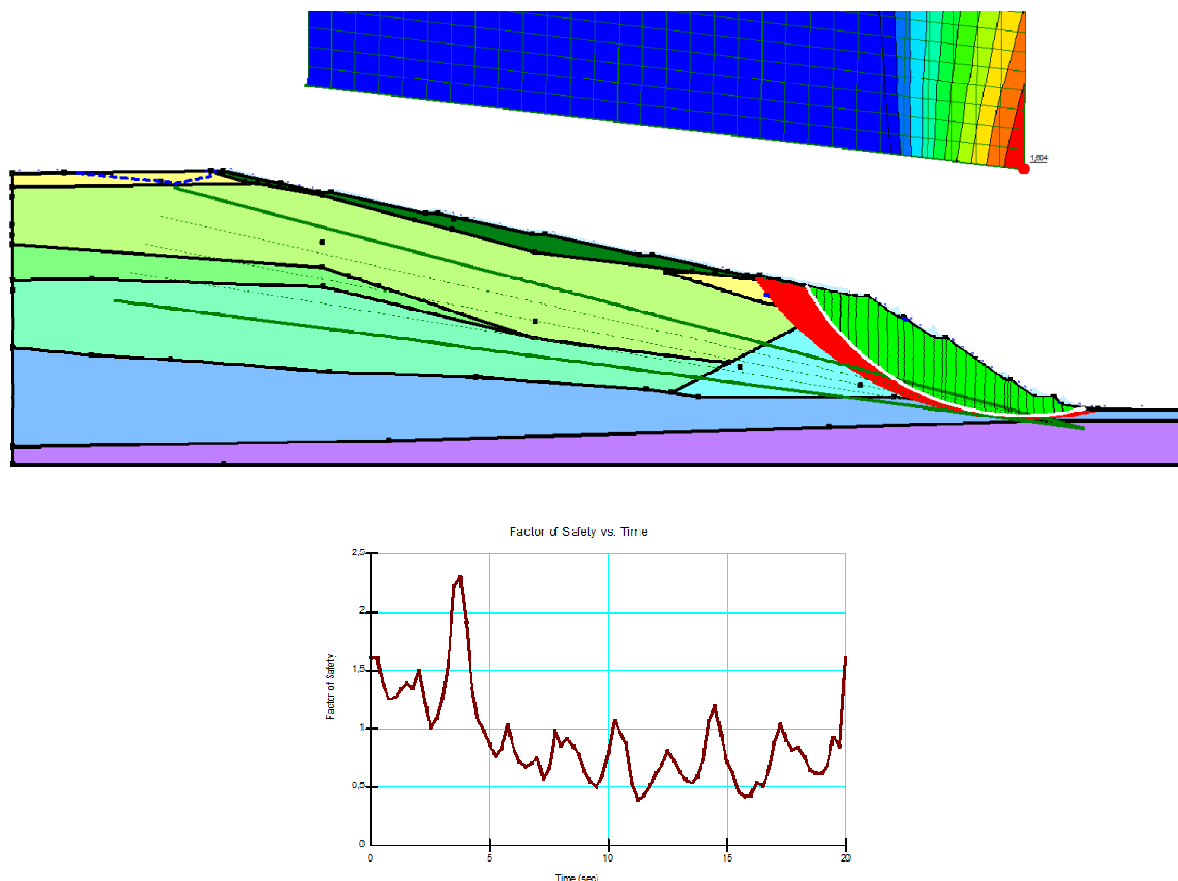
Изследването се прави за всяко ускорение от сеизмичното въздействие като за всяка стъпка по време се изчислява коеф. на сигурност на откоса (FoS) с цел получаване на критичната хлъзгателна повърхнина.

Коефициентът на сигурност (FoS) обикновено се изменя във времето на сеизмичното въздействие поради прилаганите инерционни сили, така че определянето на общата стабилност на откоса по време на земетресение е от изключителна важност за стабилитета на съоръжението. Напреженията от сеизмичното натоварване се използват за определяне на формираното динамично срязване в основата на всяка ламела от хлъзгателната повърхнина.

Изчисленията се извършват по следните методи:

1. *Newmark's sliding block analysis*, използван за изчисляване на постоянните премествания на почвата склонове (също диги и язовири) по време на сеизмично натоварване. Този метод посочва, че когато коефициентът на сигурност срещу хлъзгане (*factor of stability – FoS*) е $K_{fos} < 1$ загуба на стабилитет не се получава тъй като периода, в който това се случва е много кратък. Въпреки това, за хлъзгателните повърхнини, за които $K_{fos} < 1$, се появяват постоянни

деформации. Методът широко се използва в инженерната практика за оценка на последствията от земетресения на откоси. В случая той се използва в комбинация с метода на ламелно срязване, като се определят критичните повърхнини със загуба на устойчивост на откоса при отчитане на ускорението и продължителността на земетресението.



Устойчивост на откоса по Newmark method коефициент на откоса по време на сеизмичното въздействие.

2. *Bishop Slope Stability* – Метод за изследване на стабилитета на откоса по Метода на *Bishop*.
3. *Ordinary* - нормативен метод за изследване на стабилитет на откоси (метод на Терцаги).
4. *FEM* – Метод за изследване на стабилитета на откоса по Метода на крайните елементи с отчитане на напрегнатото и деформирано състояние на стената.

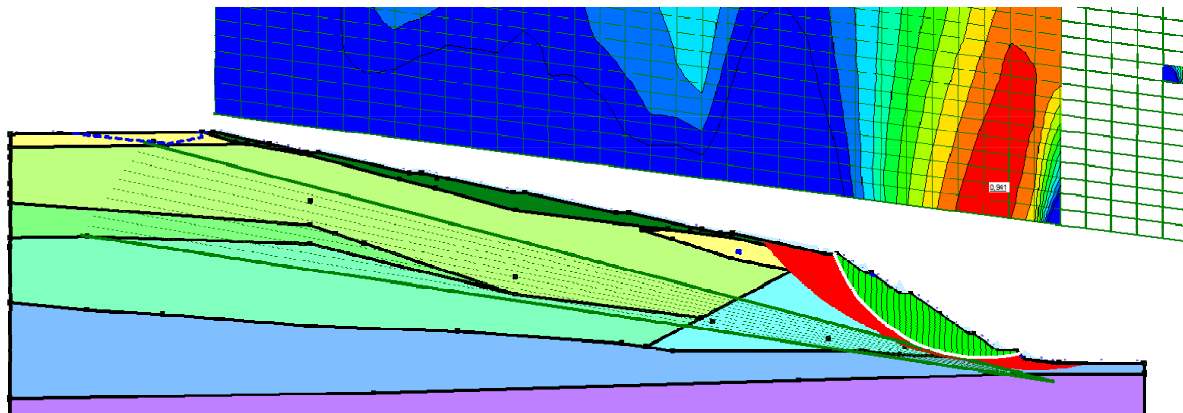
Вследствие на земетръса в тялото на стената се извършва преразпределение на напреженията, възникнали от динамичното натоварване. Тези напрежения имат остатъчен характер и са важен показател за поведението на съоръжението след земетръс.

При сравнение с резултатите от статичния анализ се констатира, че максималните допълнителни хоризонтални премествания в насапа вследствие на земетръсното въздействие (т.е. остатъчните премествания от земетръс) се концентрират в зоните с възможност за втечняване на хвоста и при критичните хлъзгателни повърхнини. Тези зони имат сходство с критичните хлъзгателни повърхнини и ясно показват, че възникналите напрежения на срязване значително превишават якостта на срязване на материала и това може да доведе до възникване на локални свличания $FoS < 1$ и големи деформации в тези зони.

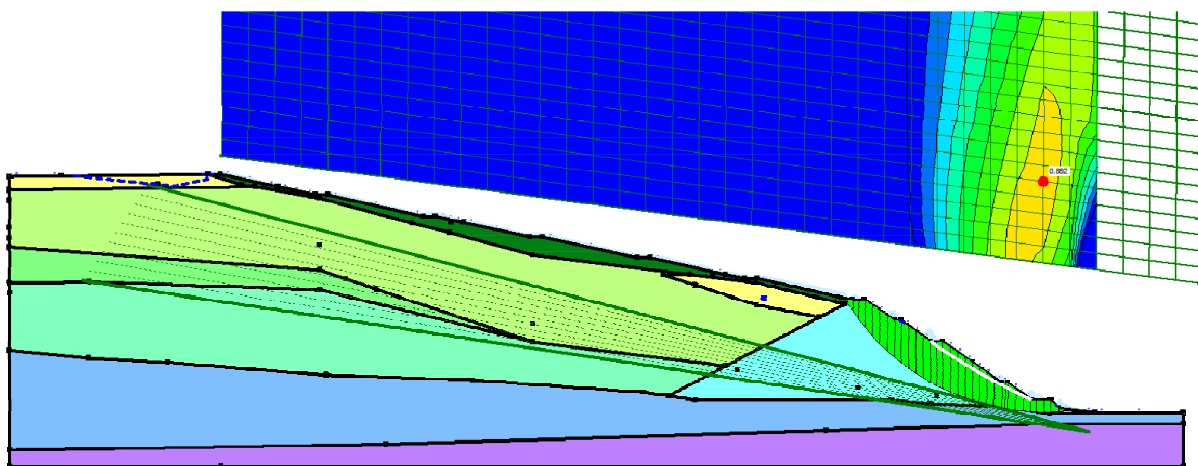
Големите премествания се наблюдават основно в зоната на короната на стената и в петата на откоса и са вследствие на втечняване на хвоста, като същите могат да представляват опасност от загуба на устойчивост на стената при земетресения с висок интензитет.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТАБИЛИТЕТА ПО КРЪГОВО-ЦИЛИНДРИЧНИ ПОВЪРХНИНИ

За всички профили при всички варианти на сеизмично натоварване се изчислява стабилитетът на откоса на хвостовата стена по три общо признати метода : ORDINARY, BISHOP, FEM.



Стабилитет на откоса по Ordinary method



Стабилитет на откоса по Bishop method

➤ КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА НА СТАБИЛИТЕТА НА СТЕНАТА:

За всеки изследван профил се прави оценка на Възможни последици за съоръжението по следните критерии:

✓ **Гранично състояние близо до разрушаване (NC-near collapse):** свързано е с пределната носеща способност на съоръжението или конструктивни повреди, които застрашават безопасността му. Състоянието се оценява като загуба на стабилност на част или на цялата конструкция; възможно е разрушаване на участъци които са свързани със стабилитета на конструкцията; очаквана загуба на стабилност вследствие прекомерни деформации; поява на деформации или пукнатини, които водят до промяна в геометрията на конструкцията. Превишаването на крайно гранично състояние (NC) е необратимо и се определя като колапс на съоръжението.

✓ **Гранично състояние - значителни повреди (SD Significant damage):** след земетресението конструкцията претърпява разрушения и срутвания и значителни щети върху конструкцията, което е свързано със значителна загуба на носимоспособност; конструкцията се запазва частично и е с осигурена безопасност срещу срутване при сеизмични действия.



✓ **Гранично състояние – ограничени повреди (DL Limited damage)**: след земетресението, конструкцията претърпя сериозни щети и свличания и много сериозни повреди по конструктивните елементи; конструкцията е с осигурена сигурност срещу скъсване и загуба на стабилитет.

✓ **Гранично състояние - ограничено експлоатационно състояние (LOS limited operational status)**: Съоръжението не отговаря на предписаните експлоатационни изисквания. Повредата или деформацията са обратими и могат да се отстранят; или възникват трайни неприемливи и неизбежни повреди или деформации които не дават възможност съоръжението да се експлоатира нормално.

✓ **Оперативно гранично състояние (OLS Operational limited status)**: след земетресението конструкцията не претърпява значителни щети и може да се продължи да се експлоатира;

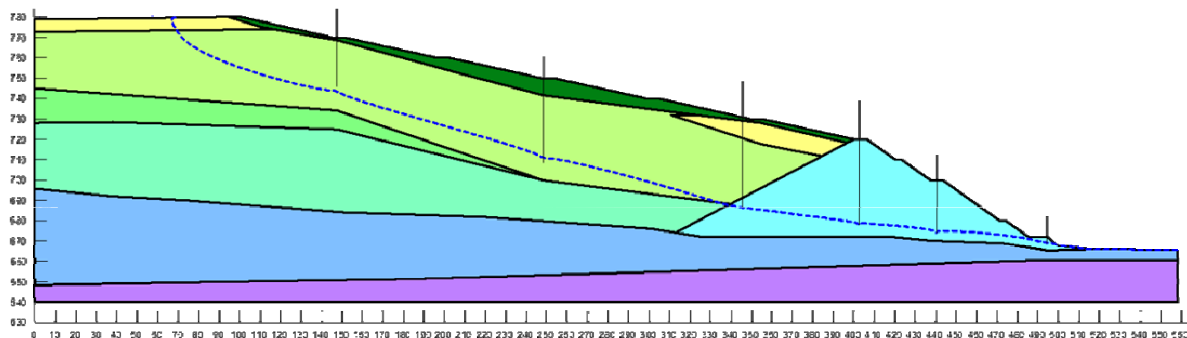
✓ **Състояние на границата на щетите (MD - minor damage)**: след земетресението конструкцията като цяло (включително конструктивни елементи, неструктурни елементи, съответно оборудване и др.) претърпяват незначителни щети, които не застрашават съоръжението и не възпрепятствуват експлоатацията.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КРИТИЧНА ДЕПРЕСИОННА ЛИНИЯ В ТЯЛОТО НА СТЕНАТА

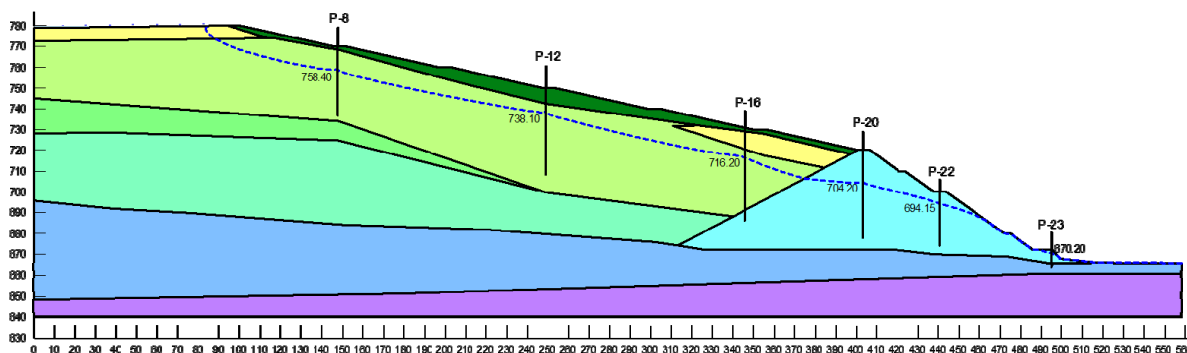
Изследването за определяне на критична депресионна линия се извършва за нуждите на експлоатацията на съоръжението. Водните нива в тялото на стената са пряко свързани със нейния стабилитет и същите са най-важните параметри които може да се следят непрекъснато. Изменението на водните нива в пиезометрите е ясен сигнал за експлоатацията че има промяна в режима на експлоатация и състояние на хвостохранилището.

Критична депресионна линия – максимално високо разположение на депресионната линия в пиезометрите по профили, при които стабилитета на хвостовата стена е гарантиран с минимален коефициент на сигурност.

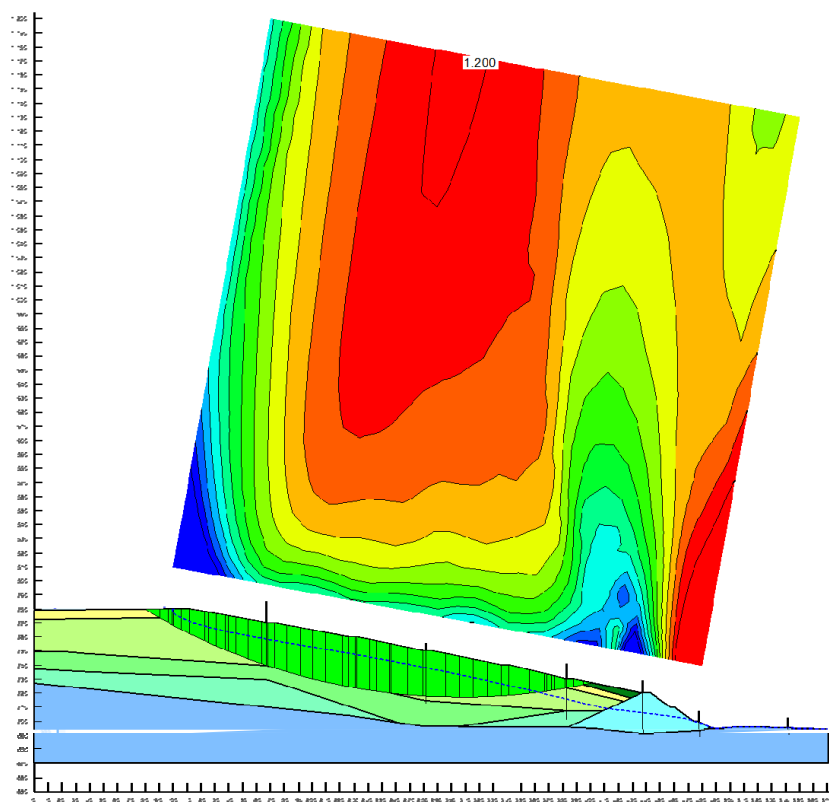
Изчисленията се правят по итеративен метод с цел намиране на максимално високи нива в пиезометрите при които се формира критична депресионна линия в тялото на стената.



Екзекутивна депресионна линия



Критична депресионна линия



Коефициент на сигурност при критична депресионна линия и сеизмично натоварване

Посочените стойности на водните нива (ВН) в пиезометрите се изготвят за да служат в полза на експлоатацията на съоръжението. Експлоатацията трябва да следи нивото на покачване на ВН и при достигане на посочените стойности да се вземат незабавни мерки за понижаване на ВН и/или временно преустановяване на наливните процеси по съоръжението до трайно намаляване на ВН на депресионната линия в профила.

Следва да се има предвид, че повишението на ВН в един пиезометър, до стойности близки на критичните не означава загуба на стабилитет на стената, а е сигнал за предприемане на спешни мерки за намаляване на ВН и по-чести контролни измервания на пиезометричната система.

Заклучение

Въз основа на заключенията от всички проведени анализи се изготвят препоръки към Възложителя, приоритизирани в две степени по значимост:

- А. Неотложни мерки за запазване конструктивната цялост и поддържане на нормалната експлоатация на хидротехническото съоръжение.**
- В. Необходими мерки за поддържане на нормалната експлоатация на хидротехническото съоръжение.**



УВЕЛИЧАВАНЕ НА ХИДРАВЛИЧНАТА ВОДОПЛЪТНОСТ НА ГОРНИЯ ИЗОЛАЦИОНЕН ЕКРАН ПРИ ТЕХНИЧЕСКА РЕКУЛТИВАЦИЯ НА БАЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДРЕНАЖНИ ГЕОКОМПОЗИТИ С ВОДОНЕПРОПУСКЛИВА СЪРЦЕВИНА

Бранимир Братоев¹

Юлиян Величков²

Радина Славова³

Йонко Добрев⁴

РЕЗЮМЕ

Използването на геосинтетични материали е бърз, технологичен и понякога единствен метод при реализиране на горен изолационен екран при рекултивацията на съоръжения за депониране на отпадъци. Дренажните геокомпозиции са многообразни в зависимост от технологията на производство и успешно могат да заменят естествените материали при реализацията на дренажи за газ или вода. Настоящата статия се фокусира върху предимствата на дренажни геокомпозиции с водонепропускливо ядро, които значително намаляват хидравлична проводимост на горния изолационен екран при рекултивация на съоръжения за депониране на неопасни отпадъци, при които нормативно не се изисква полагане на геосинтетичен слой с пълна хидравлична водоплътност. Отчетени са основните предимства при използването на дренажни геокомпозиции, акцентирайки върху екологичния ефект и по-ниския им въглероден отпечатък спрямо алтернативни решения.

Ключови думи: дренажен геокомпозит, рекултивация, геосинтетика

INCREASING HYDRAULIC WATERTIGHTNESS OF TOP INSULATION LAYER OF TECHNICAL REMEDIATION BASED ON DRAINAGE GEOCOMPOSITES WITH IMPERMEABLE CORE

Branimir Bratoev

ABSTRACT

The use of geosynthetic materials is a fast, technological and sometimes the only option for top insulation in the remediation of waste disposal facilities. Drainage geocomposites can be various depending on the production technology and successfully replace natural materials in the implementation of drainage for gas or water. This article focuses on the advantages of drainage geocomposites with a watertight core, which significantly reduces the hydraulic conductivity of the top insulation layer in landfill cappings of facilities for disposal of non-hazardous waste, which does not require the application of a impermeable geosynthetic layer. The main advantages of using drainage geocomposites are reported, emphasizing on the environmental effect and their lower carbon footprint compared to alternative solutions.

Keywords: drainage geocomposite, remediation, geosynthetics

1. Въведение

В края на своя жизнен цикъл всички инженерни съоръжения, в които се съхраняват производствени, битови или строителни отпадъци, като депа, хвостохранилища и шламохранилища

¹ Бранимир Братоев, д-р инж., гр. София, бул. Иван Евстратиев Гешов 2-Е, офис 206-А, banimir.bratoev@viacon.bg

² Юлиян Величков, инж., гр. София, бул. Иван Евстратиев Гешов 2-Е, офис 206-А, yulian.velichkov@viacon.bg

³ Радина Славова, инж., гр. София, бул. Иван Евстратиев Гешов 2-Е, офис 206-А, radina.slavova@viacon.bg

⁴ Йонко Добрев, инж., гр. София, бул. Иван Евстратиев Гешов 2-Е, офис 206-А, yonko.dobrev@viacon.bg

подлежат на рекултивация. Рекултивационните процеси се разделят основно на два етапа – техническа и биологична рекултивация. При техническата рекултивация се реализират различни по вид и функция пластове от естествени материали, които формират горен изолационен екран. Много често съоръженията, които предстои да бъдат рекултивирани, се намират в местности с ограничен достъп до минерален запечатващ пласт и дренажни материали, отговарящи на нормативните изисквания и се налага тяхното транспортиране от големи разстояния, което е икономически и екологично необосновано. В тези случаи нормативната уредба допуска използването на геосинтетични материали, които да подобрят или в някои случаи дори да заменят пластове в горния изолационен екран.

2. Цел и обхват на изследването

Изследването има за цел да установи положителния ефект върху хидравличната водоплътност на горния изолационен екран при използването на дренажни геокомпозити с водонепропускливо ядро спрямо естествени дренажни материали и дренажни геокомпозити с хидравлична проводимост перпендикулярно на равнината на материала при техническа рекултивация на съоръжения за депониране на производствени или битови отпадъци. В допълнение ще бъдат маркирани основните предимства при използването на дренажни геокомпозити в сравнение с прилагането на естествени материали, отчитайки дългосрочната хидравлична проводимост. Ще бъде анализирано значението на контактните повърхности на дренажния геокомпозит спрямо хидравличната проводимост в равнината на материала.

3. Нормативна уредба

При рекултивацията на съоръжения за съхранение на отпадъци можем да разграничим основно два случая – депа за опасни и неопасни отпадъци. Горният изолационен екран може да включва газов дренаж, минерален запечатващ пласт, изолационна геомембрана със защитен слой, дренажна система и рекултивиращ пласт. Използването на изолационна водонепропусклива геомембрана и защитен за нея пласт се прилага най-вече при депа за опасни отпадъци. Настоящата разработка има за цел да изтъкне основно предимствата на дренажни геокомпозити с водонепропускливо ядро при рекултивация на депа за неопасни отпадъци, където горният изолационен екран не се реализира с напълно водонепроницаема бариера.



Фиг. 1. Примерен детайл при рекултивация на депа за битови отпадъци с използване на геосинтетични материали

1. Битов отпадък, 2. Изравнителен слой,
3. Дренажен геокомпозит за газов дренаж,
4. Бентонитова хидроизолация,
5. Дренажен геокомпозит за повърхностни води
6. Рекултивационен пласт

Минералният запечатващ пласт следва да осигури хидравлична водоплътност на горния изолационен екран. Допуска се вместо изпълнение на минерален запечатващ пласт от глина с определена зърнометрия и минимална дебелина от 50 см използване на бентонитова хидроизолация. Същевременно за реализацията на газовия и повърхностен дренаж е възможно прилагането на



дренажни геокомпозити вместо промита речна баластра с коефициент на филтрация 1.10^{-3} m/s. Дренажните геокомпозити, влагани при горни изолационни екрани, следва да бъдат с коефициент на филтрация не по-малък от 1.10^{-3} m/s и трябва да понесат натоварването реализирано от рекултивационния слой и строителната механизация по време на разстилане на повърхностния пласт. Същевременно геотекстилт прилежащ към дренажния геокомпозит следва да предотвратява процесите на колматация както в самия геотекстил, така и в ядрото на дренажния геокомпозит.

4. Видове геокомпозити приложими за техническа рекултивация и механизъм на действие

Дренажните геокомпозити са геосинтетични композитни материали, произвеждани на ролки, състоящи се от дренажно ядро и ламинирани с геотекстил от едната или двете страни в зависимост от вида и предназначението на материала. Дренажното ядро осигурява празнина в рекултивационните пластове и гарантира висок дебит на водопреминаване в равнината на материала при големи натоварвания, докато геотекстилите работят като филтър и предпазват ядрото от запушване с фини частици от рекултивационния и други прилежащи пластове.

Дренажните геокомпозити осигуряват еднакво успешно преминаването на течности и газове в равнината, като проводимостта зависи от три основни фактора – контактна повърхност, хидравличен градиент и натоварване върху материала. В зависимост от вида и приложението дренажните геокомпозити могат да заместят над 1 м естествен дренажен материал. Дренажните геокомпозити се произвеждат фабрично с по-голяма широчина на горния геотекстил спрямо дренажното ядро, така че да се оформи ивица от геотекстил, която служи за презастъпване на отделните ролки в надлъжно направление. Това осигурява, че дренажното ядро няма да бъде запушено от рекултивационния пласт. От важно значение е да се подбере филтърен геотекстил с подходящ размер на порите, който да не позволи колматация на сърцевината на дренажния геокомпозит.

Възможно е едностранно ламиниране с водонепропусклива полиетиленова мембрана, но при прилагането на този материал при наклони над 6° е необходимо да се изследва стабилитетът на целия рекултивационен пласт. В случаите, когато тези дренажни геокомпозити се прилагат при откоси с по-голям наклон, често се налага полагане на геомрежа, която да поеме натоварванията от рекултивационния пласт. Подробни насоки за осигуряване на рекултивационния пласт срещу хлъзгане са дадени в [3] и [4].

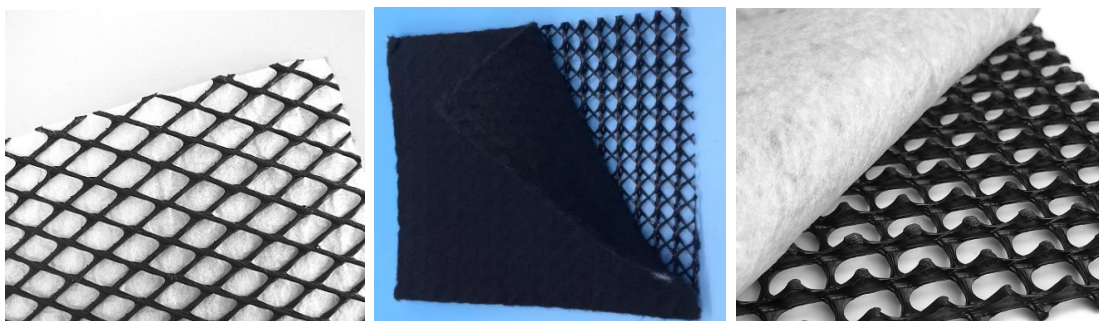
Дренажните геокомпозити сами по себе си се делят на няколко основни вида, в зависимост от сърцевината, от която са съставени:

- Твърда мрежа от полиетилен висока плътност (HDPE) – при този тип геокомпозити сърцевина се състои от пресичащи се ребра, които образуват ромбоидни или квадратни отвори и канали за преминаване на флуидите. Дренажните геокомпозити от този вид притежават добър дренажен капацитет при високо натоварване на натиск и сравнително ниски наклони. Материалите от този вид се делят в зависимост от броя и посоката на пресичащите се ребра в тях на:

Двуравнинни – представляват комбинация от две пресичащи се ребра от HDPE под ъгъл в две равнини една върху друга, като провеждат течности и в двете посоки. При този тип дренажни геокомпозити основната проводимост е в надлъжна посока на материала и значително по-ниска в напречна посока.

Триравнинни – представляват двуравнинна сърцевина с надлъжно разположени ребра, които предотвратяват загубата на местна устойчивост на кръстосаните ребра, която може да се наблюдава при големи натоварвания.

Триизмерни – представляват комбинация от вертикални Т-образни и хоризонтални гладки HDPE ребра, които образуват елемент във формата на кутия с висок дренажен капацитет в двете посоки.



Фиг. 2. Дренажни геокомпозити – двуравнинен, триравнинен и триизмерен (от ляво надясно)

- Триизмерна мрежа от хаотично преплетени полипропиленови нишки – при геокомпозити с триизмерни ядра потокът се движи във всички посоки, което го прави значително по-добър от двуизмерните геокомпозити, при необходимост от еквивалентна дренажна способност надлъжно и напречно на материала. Този тип дренажи имат най-голяма проводимост спрямо всички останали видове при относително ниски натоварвания (до 20 kPa) и са подходящи при ниско площно натоварване.



Фиг. 3. Дренажен геокомпозит от хаотично преплетени нишки

- V-образни нишки от полипропилен – сърцевината на тези дренажни геокомпозити е изградена от много на брой V-образни екструдирани полипропиленови нишки. Дренажните геокомпозити с полипропиленово ядро имат добър дренажен капацитет при ниско и средно натоварване (до 200 kPa) върху материала. Основната хидравлична проводимост на тези дренажни геокомпозити е по дължината на материала и не се препоръчват за приложения, където се очаква двупосочно движение на вода в дренажното ядро.



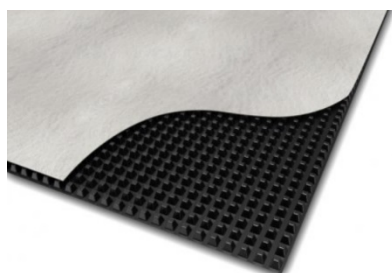
Фиг. 4. Дренажен геокомпозит от V-образни нишки

- Дренажни тръбички – дренажен геокомпозит, представляващ комбинация от геотекстил и перфорирани мини дренажни тръбички, разположен надлъжно на материала. При този тип дренажен геокомпозит водата се събира от пространството между две съседни тръбички и се отвежда от тях в надлъжна посока. Самият геокомпозит се характеризира с високоефективна защита на изолационните слоеве положени под него и с голяма якост, дължаща се относително дебелите геотекстили, използвани за производството му. Дренажните тръбички осигуряват почти константна проводимост при натоварване от 20 до 400 kPa и са проектирани да издържат до 900 kPa.



Фиг. 5. Дренажен геокомпозит с тръбички

- Водонепропускливо ядро – сърцевината е водонепропусклива от HDPE с кутиообразна форма и трапецовидни отвори с еднакви размери, осигуряваща висока и еквивалентна проводимост на всякакъв тип флуиди както в надлъжна, така и в напречна посока. Голямата носимоспособност на дренажното ядро позволява висока хидравлична проводимост дори при натоварвания от 1000 kPa. При необходимост тези дренажни геокомпозити могат да се произведат с допълнителна ивица от HDPE, която позволява да се завари към съседните ролки и да се реализира напълно водоплътен екран, който да отвежда всички инфилтрирани в ядрото води.



Фиг. 6. Дренажен геокомпозит от водонепропускливо ядро

Хидравличната проводимост в равнината е основна техническа характеристика на дренажните геокомпозити, която ръководи избора на конкретен материал в зависимост от неговото приложение. Хидравличната проводимост зависи пряко от контактните повърхности, прилежащи към двете страни на материала. Възможни са две хипотези – твърда или мека контактна повърхност. При мека повърхност се симулира контакт с почва, глина, бентонитова хидроизолация или друг материал, който позволява на геотекстила да навлезе в дренажното ядро респективно да намали хидравличната проводимост на материала или напълно да я възпрепятства при високо натоварване. При твърда контактна повърхност като HDPE геомембрана, бетон или друг вид твърда настилка хидравличната проводимост е значително по-голяма. Хипотетично са възможни три варианта за контактни повърхности от двете страни на дренажните геокомпозити – мека/мека повърхност, твърда/твърда или мека/твърда. При оразмеряване на коефициентите за сигурност на хидравличната проводимост на дренажните геокомпозити следва да се отчетат вида на прилежащите повърхности към материала. При дренажните геокомпозити, вложени при горен изолационен екран, материалът се намира между рекултивационния пласт и бентонитовата хидроизолация и следва да бъде използвана хидравличната му проводимост при меки контактни повърхности при оразмеряването му.

Освен контактните повърхности от ключово значение върху хидравличната проводимост на дренажните геокомпозити оказва натоварването, реализирано от геоложкия товар на рекултивационния пласт, строителната механизация в процеса на изпълнение и всички други фактори в процеса на експлоатация, които могат да окажат въздействие върху материала. Големите натоварвания водят до навлизане на геотекстила в дренажното ядро и деформации на ядрото, които от своя страна могат да намалят или да възпрепятстват дренажните свойства на геокомпозитите. При оразмеряването на дренажните геокомпозити следва да се отчете натоварването върху тях и да се подбере сърцевина, която от една страна да понесе дългосрочните натоварвания, а от друга да



позволява водопреминаване, съответстващо на проектните стойности с достатъчно надежден коефициент на сигурност (FS).

5. Методика за оразмеряване на водопропускливост перпендикулярно на равнината на дренажни геокомпозити

5.1. Дългосрочна хидравлична проводимост

Според [7] се приема, че дренажният капацитет на дренажния геокомпозит ще намалее с времето. За целта се прилагат редукионни коефициенти. Препоръки за редукионни коефициенти биха могли да бъдат открити в [3], но е най-добре да бъдат приложени стойности, които са в резултат на тестове проведени от производителя на всеки конкретен материал.

Дългосрочната хидравлична проводимост на дренажните геокомпозити се изчислява:

$$Q_{allow} = Q_{100} \left[\frac{1}{RF_{CR} \cdot RF_{CC} \cdot RF_{BC} \cdot RF_{IN}} \right],$$

където

Q_{allow} – дългосрочна хидравлична проводимост на дренажния геокомпозит,

Q_{100} – първоначална хидравлична проводимост на дренажния геокомпозит при тестване за 100 часа,

RF_{CR} – редукионен коефициент за пълзене, отчитащ дългосрочната работа на материала,

RF_{CC} – редукионен коефициент за химическо запушване,

RF_{BC} – редукионен коефициент за биологично запушване,

RF_{IN} – редукионен коефициент за навлизане на геотекстила в ядрото.

Коефициентът за сигурност за проводимостта на дренажния геокомпозит се определя както следва:

$$FS = \frac{Q_{allow}}{Q_{req,d}},$$

където

$Q_{req,d}$ – необходима проектна хидравлична проводимост на дренажния геокомпозит.

За естествените дренажни материали няма аналогични данни, но може да се предположи, че химическото и биологичното запушване се случва по подобен начин. Същевременно нормативната уредба не изисква задължителен сепариращ слой от нетъкан геотекстил, но той е силно препоръчителен за дългосрочната работа на дренажа, тъй като той пряко контактува с рекултивационния пласт, а в някои случаи и минералния запечатващ пласт. Може да се предположи, че редукията на хидравличната проводимост ще бъде 1.5-2.5 пъти. Геотекстилтът, който се използва като разделител между дренажния чакъл и рекултивационния пласт, може да е от същия тип както геотекстила, използван в дренажните геокомпозит.

5.2. Намаляване на водопропускливостта чрез използване на дренажни геокомпозити с водонепропускливо ядро

За да се установи водопропускливостта на горния изолационен екран, е прието да се използва бентонитова хидроизолация, която отговаря на изискванията на нормативната уредба [2]. Бентонитовите хидроизолации (Geosynthetic Clay Liner – GCL) представляват трикомпонентна система от два слоя тъкан и нетъкан геотекстил, между които е капсулован натриев бентонит посредством технология на иглонабиване. Бентонитът представлява глина с високо съдържание на минерала монтморилонит, който има свойството да набъбва до 15 пъти при съприкосновение с вода. Поставена между два недеформируеми и добре уплътнени пласта, бентонитовата геомембрана създава водоплътен глинен екран и притежава високи хидроизолационни свойства.

Въпреки нормативното изискване за коефициент на филтрация по-малък от $k=5 \times 10^{-11}$ m/s във



времето може да се очаква, че в бентонитовата хидроизолация се осъществява определен йонообмен и тя ще увеличава хидравличната си проводимост, а от там да може да се приеме, че в дългосрочен план $k=1 \times 10^{-10}$ m/s.

Непосредствено върху бентонитовата хидроизолация се приема хипотезата, че се полага дренажен геокомпозит с водонепропускливо ядро. По този начин се гарантира, че няма да има налягане на водата върху по-голямата част от повърхността на хидроизолацията и през горния изолационен екран ще преминава минимално количество атмосферни води, които да стигнат до тялото на депото. Така подбрения хидроизолационен пакет подсигурява, че до бентонитовата хидроизолация ще достигне вода основно от зоната на снаждане между отделните ролки дренажен геокомпозит.

Потокът през бентонитовата хидроизолация се изчислява съгласно закона на Дарси:

$$q = k \cdot i,$$

$$i = (H + d) / d,$$

където

H – водно налягане (m),

d – дебелина на хидроизолационния слой (m),

k – коефициент на филтрация (m/s).

В случая се разглежда дренажен геокомпозит с плътно ядро и може да се предположи, че под повърхността на дренажа няма водно налягане $H_1=0$ m. Може да се приеме, че водното налягане върху бентонитовата хидроизолация при презастъпването на дренажния геокомпозит в зона от 1 m ширина е $H_2=10$ cm, което е консервативна предпоставка за решаването на поставената задача.

$H_1=0$ m – налягане на водата върху бентонитовата хидроизолация от рекултивационния пласт в зоната под дренажния геокомпозит,

$H_2=0.1$ m – налягане на водата върху бентонитовата хидроизолация от рекултивационния пласт в зоната на презастъпване на дренажния геокомпозит,

$d=0.01$ m, дебелината на бентонитовата хидроизолация във водонаситено състояние,

$k=1 \times 10^{-10}$ m/s, дългосрочна водонепропускливост на бентонитовата хидроизолация,

$A=1$ m² – анализът за водонепропускливостта на горния изолационен екран се провежда за площ 1 m²

$B_1=4.4$ m, ширина на дренажния геокомпозит [8]

$B_2=1.0$ m, ширината за повишено водно налягане в зоната на презастъпване

Хидравличните градиенти над бентонитовата хидроизолация в зоната под дренажния геокомпозит i_1 и този в зоната на презастъпване на геокомпозита i_2 могат да бъдат изразени както следва:

$$i_1 = \frac{(H_1 + d)}{d} = \frac{d}{d} = 1$$

$$i_2 = \frac{(H_2 + d)}{d} = \frac{0.1 + 0.01}{0.01} = 11$$

Очевидно в зоната на презастъпване на дренажния геокомпозит, където дренажният геокомпозит позволява на инфилтриралата вода от рекултивационния пласт да достигне до бентонитовата хидроизолация, хидравличният градиент е 11 пъти по-висок в сравнение с участъците, където дренажното ядро е водонепропускливо. Аналогично е поведението и на останалите дренажни геокомпозити в поръзно ядро, но при тях повишеният хидравличен градиент е по цялата равнина на материала.

Водните количества, които преминават през хидроизолационния пакет от бентонитова хидроизолация и дренажен геокомпозит в зоната под ядрото и в зоната на презастъпване са съответно q_1 и q_2 :



$$q_1 = k_{i_1} \cdot A = 1.10^{-10} \cdot 1.1 = 1.10^{-10} \text{ m}^3 / \text{s} = 1.10^{-7} \text{ l} / \text{s} = 3.156 \text{ l} / \text{година}$$

$$q_2 = k_{i_2} \cdot A = 11.10^{-10} \cdot 1.1 = 11.10^{-10} \text{ m}^3 / \text{s} = 11.10^{-7} \text{ l} / \text{s} = 34.713 \text{ l} / \text{година}$$

Осредното количество вода преминаващо през горния изолационен екран за 1 m² е както следва:

$$q = \frac{(B_1 - B_2) \cdot q_1 + B_2 \cdot q_2}{B_1} = 10,328 \text{ l} / \text{година}$$

Следва да се отбележи, че изчислените количества са в посока на сигурността, тъй като при изчислението се приема, че ситуацията е постоянна през цялата година. През зимата обаче рядко няма воден поток, а през останалата част от годината инфилтриралата вода варира повече, отколкото ако се приеме постоянен поток. При използването на дренажни геокомпозити с ширина на ролката по-малка от 4.4 m изчисленията се провеждат аналогично. Голямата ширина на ролката е от основно значение за подобряване на хидравличната водоплътност на горния изолационен екран.

Аналогични изчисления за дренажни геокомпозити с водопропускливо ядро или дренажен пласт от естествени материали показват, че водопропускливостта на горния изолационен екран значително нараства до над 3 пъти или 34,713 l/годишно. Дори и при по-малко количество вода инфилтрирало през рекултивационния екран спрямо направената предпоставка положителният ефект от използването на водонепроницаеми дренажни материали води до по-малко количество вода достигнало до тялото на депото, а оттам и до по-голяма сигурност при рекултивиране.

5.3. Предимства на дренажните геокомпозити

За да се намали максимално количеството вода, което преминават през горния изолационен екран, следва върху бентонитовата хидроизолация да има минимално водно налягане. Поради това се счита за предимство да се използват дренажни геокомпозити с водонепропускливо ядро върху хидроизолационните слоеве.

Други предимства на дренажните геокомпозити включват следното:

- По-добър дренажен капацитет, хидравлична проводимост до 100 пъти по-ефективна от дренажен чакъл ($k = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ m/s}$);
- Работи като защита на хидроизолационните слоеве;
- Полага се лесно по стръмни и дълги откоси. Естествените дренажи следва да се съобразяват с ъгъла на вътрешно триене на материала;
- Икономично решение, тъй като отпада нуждата от добиване, транспорт и разстилане на дренажен пласт от естествени материали;
- Произвеждат се от 100% рециклируеми материали;
- Екологичен ефект. Използването на дренажен геокомпозит доказано намалява въглеродния отпечатък върху околната среда спрямо използването на дренажен чакъл;
- Осигуряване на допълнителни 0.5 m на всеки m² за депониране на отпадък;
- Възможност върху него да бъдат използвани всякакъв тип почви за рекултивиращ пласт;
- Може да поема големи натоварвания;
- Полагат се бързо, лесно и ефективно при стръмни склонове.

6. Екологичен ефект

Прилагане на дренажни геокомпозити спрямо естествени материали значително намалява въглеродния отпечатък при реализацията на площни дренажи. Основните фактори, които са определящи за намаляване въглеродните емисии при рекултивацията на съоръжения за депониране на отпадъци са:

- Транспорт на материалите – в една транспортна единица може да се достави дренажен геокомпозит, който да замени до 5 000 m³ промита речна баластра, за транспортирането, на която ще бъдат необходими над 500 камиона.



- Строителна механизация и разходи, свързани с работната ръка: При използване на дренажен геокомпозит, процесите свързани с уплътняване и разстилане липсват. За сравнение, традиционният метод включва разстилане и уплътняване на слой с дебелина 500 mm и два пласта геотекстил от двете страни на дренажния чакъл.
- Разход на материал – поради по-малката си дебелина, дренажният геокомпозит осигурява допълнителен обем за депониране на отпадък.
- В [6] са отчетени 55% по-малко въглеродни емисии при използването на геосинтетичната система, съпоставена с традиционния метод и използваните по него естествени материали. В анализа са взети предвид всички процеси, свързани с производството, доставката и монтажа на сравняваните алтернативи.

7. Заключение

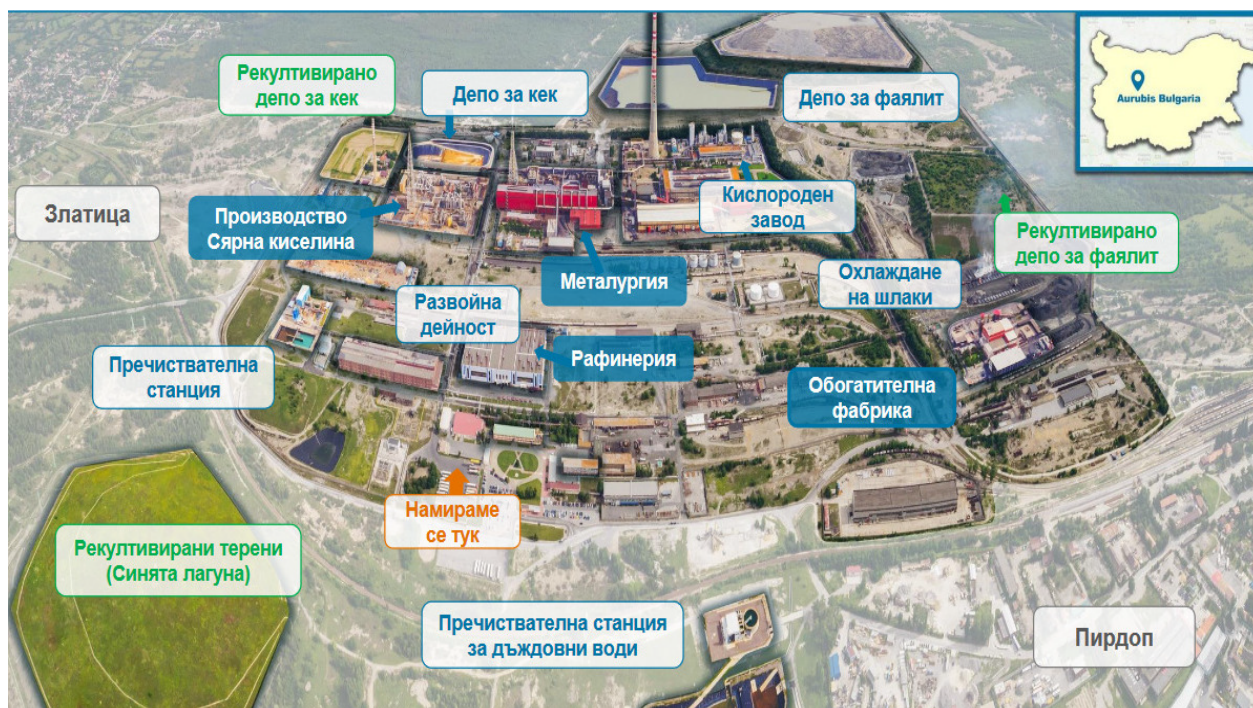
Представени са основните видове дренажни геокомпозити, използвани при рекултивация на съоръжения за депониране на отпадъци. Проведени са изчисления за водопреминаване на горен изолационен екран с геокомпозити с водопропускливо и порьозно ядро. При използване на дренажи с водоуплътно ядро се наблюдава над три пъти по-ниско преминаване на води през горния изолационен екран, в случаите когато не са вложени полимерни геомембрани. Същевременно положителният ефект върху водонепроницаемостта на горния изолационен екран при техническа рекултивация е значителен не само при съоръжения за неопасни отпадъци, където отсъства напълно водонепроницаема бариера, но и при горен и долен изолационен екран на депа за опасни отпадъци и хвостохранилища, тъй като водонепропускливото ядро защитава допълнително хидроизолационния пакет и предлага допълнителна бариера срещу инфилтрация на води. Основните предимства при прилагане на дренажи с геосинтетични материали като технологичност при монтаж, освобождаване на допълнително пространство за депониране на отпадък и по-малък въглероден отпечатък спрямо дренажи от естествени материали ги правят решение с голям потенциал във всички сфери на строителния процес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № 26 за рекултивация на нарушени терени, подобряване на слабопродуктивни земи, отнемане и оползотворяване на хумусния пласт
2. Наредба № 6 от 27 август 2013 г. за условията и изискванията за изграждане и експлоатация на депа и на други съоръжения и инсталации за оползотворяване и обезвреждане на отпадъци
3. Koerner, R M. 2005. *Designing with Geosynthetics*.
4. Иван Дойков, Бранимир Братоев. 2017. *Укрепване на стръмни откоси с геомрежи*
5. Lisa L. Damiano and Eric S. Steinhäuser. 2020. *A guide for specifying drainage geocomposites*
6. *Carbon footprint reduction – ABG Geosynthetics*
7. GRI Standard GC8. 2001. *Determination of the allowable flow rate of a drainage geocomposite*
8. ABG. 2018. *Pozidrain. A guide to the selection and specification of Pozidrain drainage geocomposite*
9. Pozidrain Reduction Factors on In-plane Flow

ДЕПО ЗА ФАЯЛИТОВ ОТПАДЪК „АУРУБИС БЪЛГАРИЯ“ АД ПИРДОП

инж. Марияна Върбанова
„Аурубис България“ АД, гр. Пирдоп



1. Описание

- ✓ Основно депо за фаялитов отпадък к. 794.

То е скатов тип със земно-насипни оградни диги от изток, запад и юг, а в северната си част е вкопано в ската. Дъното и водните откоси в чашата на депото са изолирани с пакет от GCL и полиетиленова геомембрана. Изпълнено е в три етапа на строителство:

I Етап - изграждане на оградната стена до кота 783 , реализиран в периода 2001-2002 г.

II Етап - надграждане на стената до к.791 чрез насипна призма по въздушния откос реализиран в периода 2006 - 2008 г.

III етап - надграждане на стената с 3,0 м до кота 794.0 m. Изпълнено е през 2014 г.

Основното депо в момента е извадено от експлоатация и е рекултивирано.

✓ Разширение на съществуващото депо.

Разширението на депото се разполага на юг от основното, до вътрешната ограда и до съществуващото рекултивирано депо „А“. Новата площ, заета от разширението е $F=446.6$ дка., като изцяло е разположена на площадката на комбината. То е разделено на две клетки, „А“ и „Б“. В първият етап дигата и на двете секции се изгражда до кота 759, като през 2016 г бе стартирано строителството на клетка „А“, а през 2020 г. бе изградена и клетка „Б“. Дъното и водните откоси в чашата на двете клетки са изолирани с пакети GCL и полиетиленова геомембрана.

✓ Разширение Секция „А“, к.759.

Дъното на секцията от кота 754,90 в северозападния край е на запад с наклон 1.5% до 745.8 в югоизточния край. Оградната дига е с променлива височина 7 ± 22 м, широчина на короната 6 м, воден откос 1:2 и въздушен откос 1:2.5. Изпълнена е от уплътнени земни материали добити от изкопите.

✓ Разширение Секция „Б“, к.759.

Клетка „Б“ се разделя от „А“ посредством изградена земно-насипна дига. Секцията е огледална на „А“. променлива височина 4 ± 22 м, широчина на короната 6 м, воден откос 1:2 и въздушен откос 1:2.5.

Изпълнена е от уплътнени земни материали добити от изкопите. Дъното и водния откос са изолирани с GCL и полиетиленова геомембрана.

Съществуващо положение на трите клетки



2. Основни характеристики

Местоположение - 0.5 km северно от градовете Пирдоп и Златица

Надморска височина - мах 794 m

Пуск в експлоатация

- 2002 – Основно депо за фаялит, кота 794



- 2017 – Разширение Клетка „А“, кота 759
- 2021 - Разширение Клетка „Б“, кота 759

Капацитет (полезен обем)

- Основно депо за фаялит– 3,88 x 106 m³
- Разширение Клетка „А“, – 1-ви етап – 1,07 x 106 m³
- Разширение Клетка „Б“, – 1-ви етап – 0,997 x 106 m³
- Разширение „А“ + „Б“ максимален – 8,13x 106 m³

Експлоатационно състояние

- Основно депо за фаялит– изведено от експлоатация ноември 2018. Рекултивирано през 2020 г.
- Разширение Клетка „А“, – 1-ви етап – в режим на осушаване
- Разширение Клетка „Б“, – 1-ви етап – в експлоатация

Тип на дигите

- Основно депо за фаялит– изцяло земно насипни диги (down-stream method).
- Разширение Клетка „А“ и „Б“ – 1-ви етап – земно-насипни диги с изолационни материали (down-stream method).
- Надграждане – следващи 7 етапа - Up-stream method.

Височина на стената

- Основно депо за фаялит – 48 m
- Разширение клетка „А“ и „Б“– 1-ви етап – max 22 m

Дължина на короната

- Основно депо за фаялит – 1 465 m
- Разширение клетка „А“ и „Б“– 1-ви етап – 1970 m

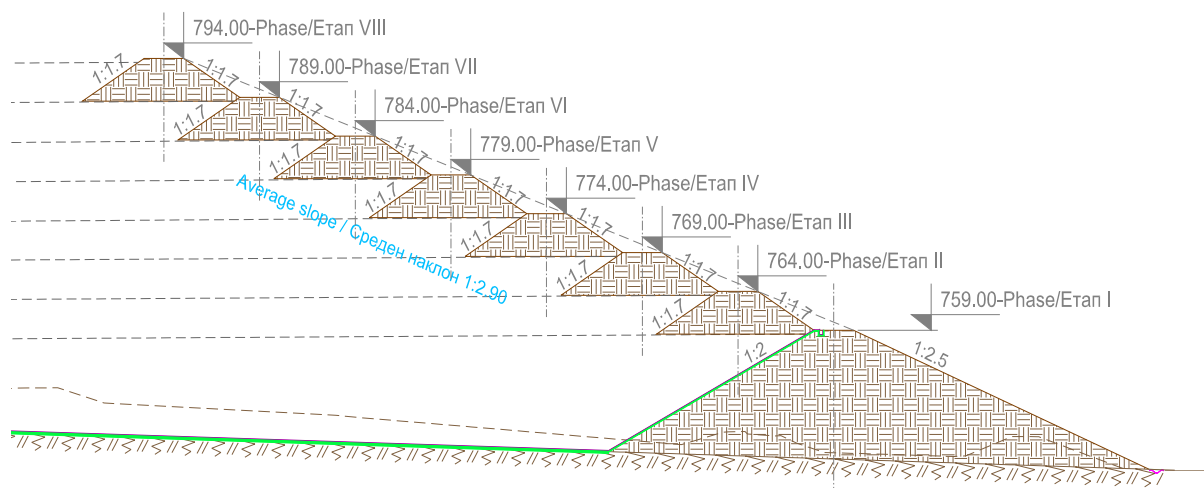
Площ

- Основно депо за фаялит – 320 000 m²
- Разширение клетка „А+В“ – 446 000 m²

Етапи на дигите

- Основно депо за фаялит – земно-насипна дига с височина 48 m (down-stream).
- Разширение клетка „А“ и „Б“ – 1-ви етап – земно-насипни диги с височина max 22 m., покрити с GCL и полиетиленова мембрана.





Диги

- Основно депо за фаялит– земно-насипни диги.
- Разширение клетка "А+Б" – 1-ви етап – земно-насипни диги.
- Надграждане – следващи 7 етапа – Up-stream метод със земно-насипни диги.

Изоляционна система

- Дъното и стените на всички диги от водния откос са изолирани с :
- GCL – геосинтетична глинеста подложка
- HDPE фолио 2 mm

Пуск в експлоатация

- 2002 – Основно депо за фаялит
- 2017 – Разширение клетка „А“
- 2021 – Разширение клетка „Б“

Дънна дренажна система

- Дълбок дренаж за чисти води е изграден и под трите клетки - за подземни води.

Дренажна система за инфилтрат

- Комбинирана дренажна система за инфилтрат - изградена от РЕ дренажни тръби, геотекстил и пясък със специална зърновестрия.

Дъждовни води

- Предпазни стоманобетонени канали за дъждовни води.

Водно ниво в езерото

Нивата се контролират с плаващи помпени станции и дренажите за инфилтратни води.

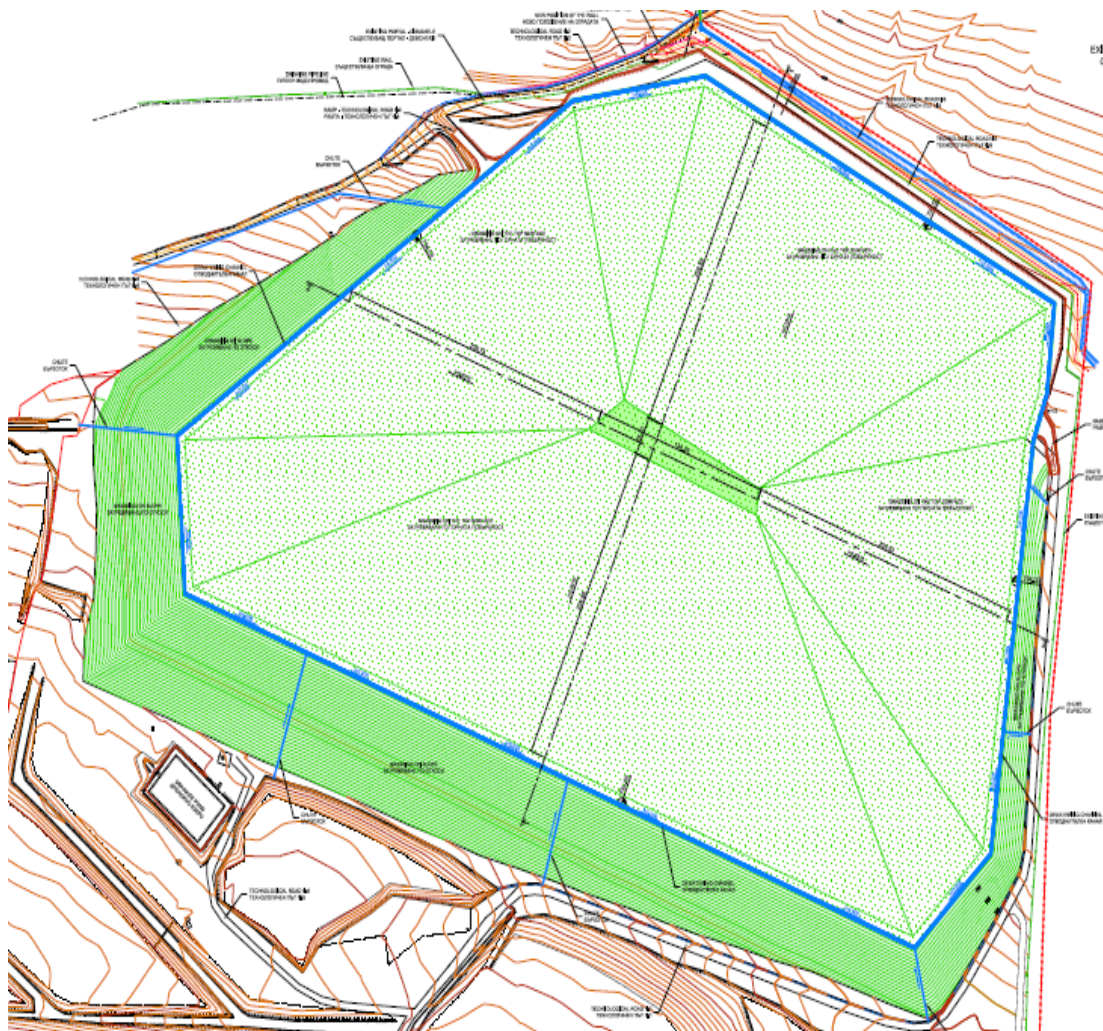
Параметри на Основно депо за фаялит кота 794:

Технически характеристики на Основното депо:

кота на основна дига трети етап 794.00;
оградни диги – уплътнен земен насип;
ширина на короните - 6.0 m;
наклон на откосите: въздушен откос - 1: 2.0; воден откос - 1: 2.5;
максимална височина на дигата - 48 m;
изолационна система по дъно клетка и водни откоси- GCL и HDPE фолио
дренажни системи – за дълбоки чисти води и за инфилтрат
пиезометрична и геодезична система за мониторинг



Рекултивация на основно депо за фаялитов отпадък кота 794



В момента основното депо е рекултивирано. Изпълнени са:

- Техническа рекултивация
- Биологична рекултивация
- Системи за повърхностно отводняване
- Системи за контрол на слягането

Продължава се мониторинга му чрез:

- Измерване на КИС

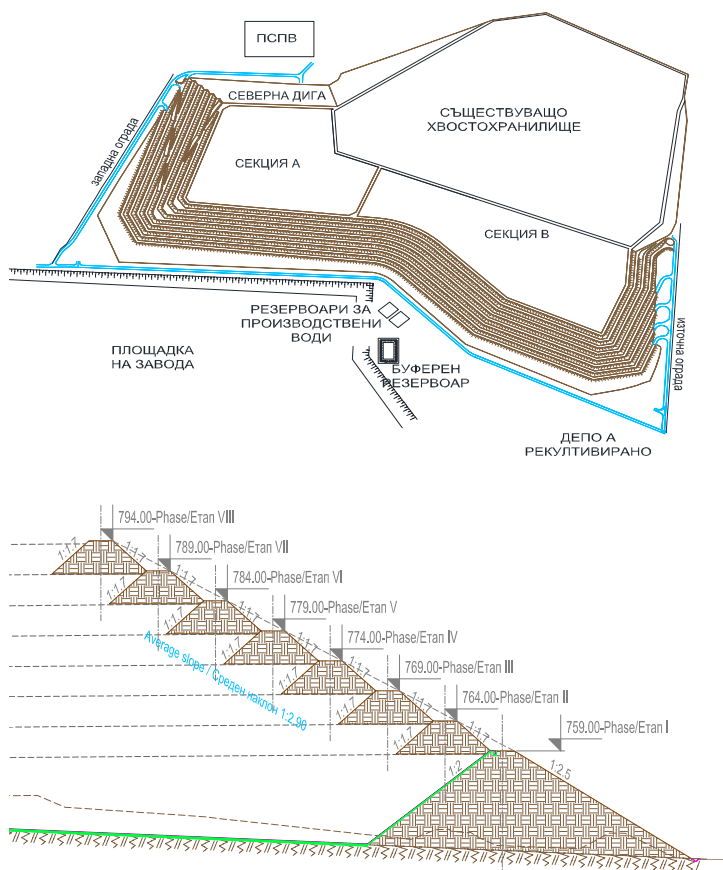
- Следене на пиезометрични нива
- Хоризонтални и вертикални деформации – геодезични замери
- Слягане на рекултивационния слой – геодезични замери

Конструкция и параметри на Разширение на депо за фаялитов отпадък, клетка „А“ и „Б“

- Предвижда се да се изпълнят 8 последователни етапа на изграждане на оградните диги до достигане на кота 794 и поетапна експлоатация.
- За да се осигури непрекъснатата работа на Обогатителната фабрика по време на изграждането на разширението се изгражда разделителна дига, която да раздели площадката на разширението на две секции (клетки) – Секция А (западна) и Секция В (източна).
- Дигите са земно-насипни.

Други елементи на разширението на депо са:

- дълбок дренаж за чисти води
- изолационен пакет от GCL и полиетиленово фолио по дъното и водните откоси
- дънна дренажна система за инфилтрат, която е уникална комбинация от дренажни клонове, колектори и площен дренаж
- оросителна система



Разширение на депо за фаялитов отпадък, клетка „А“ и „Б“, к.759

- През месец август 2017 г. завършва строителството на I-ви етап на секция А, к. 759.00 m. Северната дига е изградена до кота 764.00 m. Оградната дига на секцията е с променлива височина 7÷22 m, ширина на короната 6 m, воден откос 1:2 и въздушен откос 1:2.5. Изпълнена е от уплътнени земни материали добити от изкопите. Широчината на короната

на разделителната дига е 6.85 m. Дъното и водните откоси са изолирани с пакет от GCL и полиетиленова мембрана. Изграждането на елементите на контролно-измервателната система е завършено в края на месец август 2017. Северната дига е изградена до кота 764.00 m. В експлоатация депото е пуснато през 2018 г.

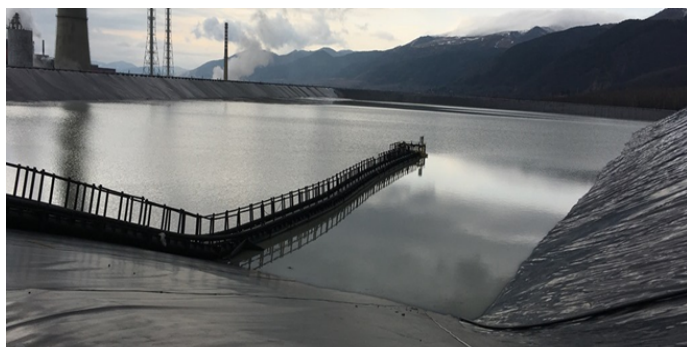
- През 2020 г. е завършена и клетка „А“, к. 759 и в момента е в експлоатация. Тя е огледална на клетка „А“ и е аналогична по структура и елементи.



Хидротранспортна, наливна и оросителна система на Депо за фаялитов отпадък, клетка „А“, к.759

Хидротранспортната, наливната и оросителната система е със следните елементи:

- багерна помпена станция с две последователно свързани помпи Worman 8/6 тип АНЕ;
- магистрален стоманен хвостопровод, който преминава в полиетиленов HDPE, армиран срещу абразия, след което отново преминава в метален, разположен по короната на дигата.
- наливен хвостопровод по короната на клетка „А“ и „Б“ и изтичала към него.
- водоотливна система, която се състои от плаващи помпени станции в клетка „А“ и „Б“
- буферен резервоар за оборотни води
- дънна дренажна система за инфилтрат



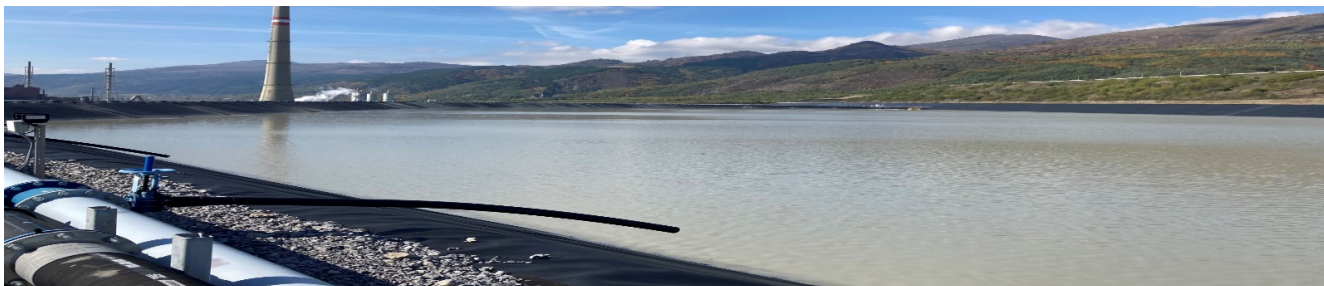
3. Мониторинг

Мониторинга на съоръжението се извършва съгласно всички нормативни изисквания на Република България и световните нормативи:

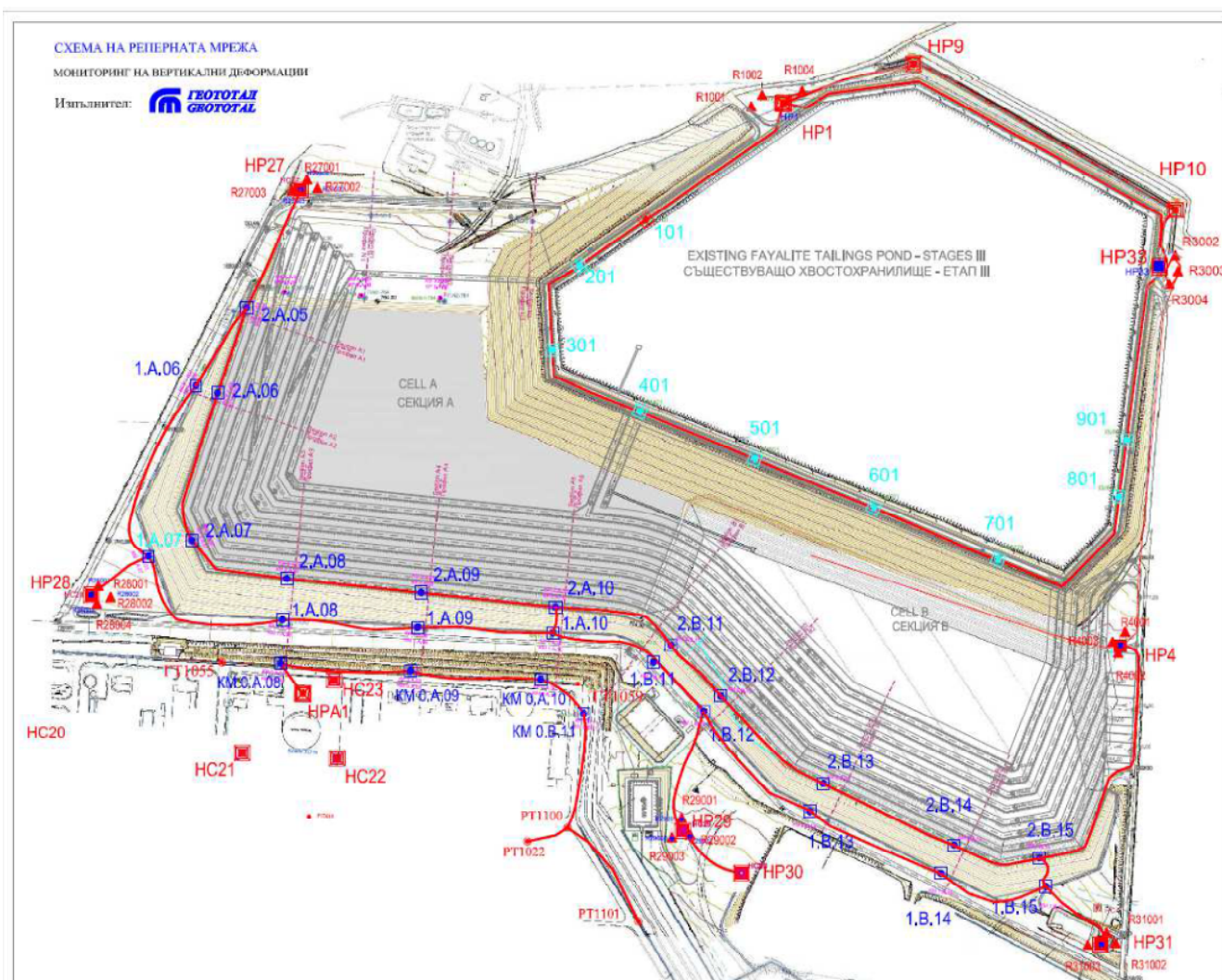
- Ежедневни инспекции
- Геодезични измервания – хоризонтални и вертикални деформации, слягане
- Отчитане и анализ на пиезометрични водни нива
- Качество и количество на водите от дънна дренажна система и инфилтратна



- Химични анализи на различните видове води
- Метеорологични данни от локална Метеостанция on-line
- Хидрография на намит фаялит
- Воден баланс



Наблюдения на хоризонтални и вертикални деформации – през 3 месеца.





Хоризонтални и вертикални деформации – геодезия

Възложител:



Вертикални премествания на контролираните репери (КР) по короната на южната дига - във времето

Проект: Мониторинг на хоризонтални и вертикални деформации

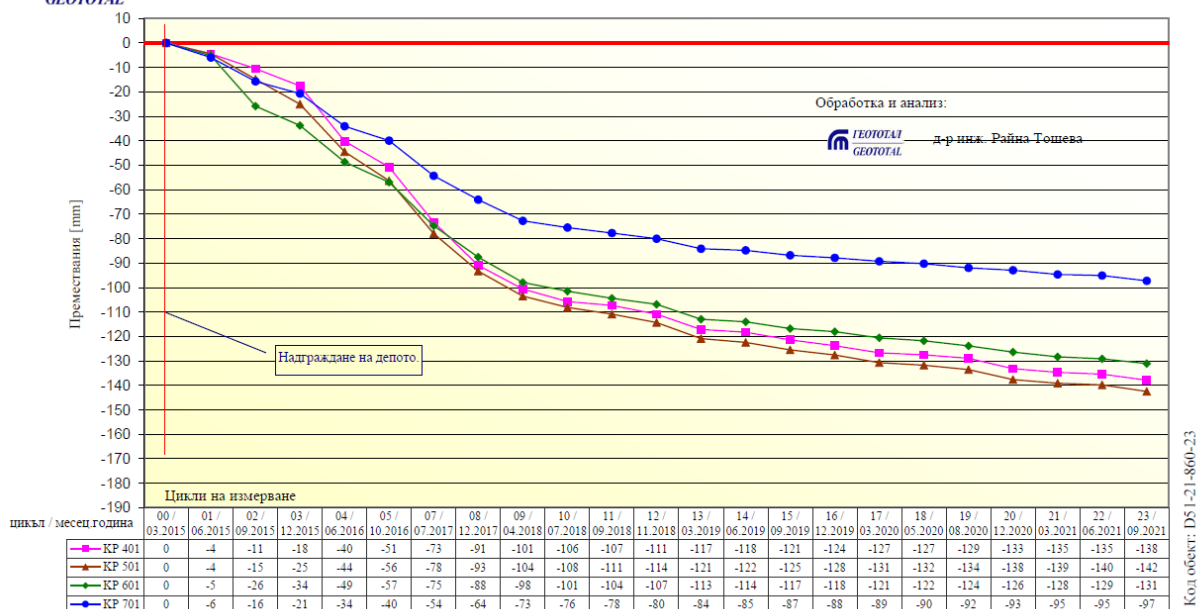
Обект: Хвостохранилище за фаялит

Изпълнител:



Цикъл 23 - септември 2021

Приложение 6-2



Хоризонтални и вертикални деформации – геодезия

Възложител:

Вертикални премествания на контролираните репери (КР) по короната на стената - по дължина

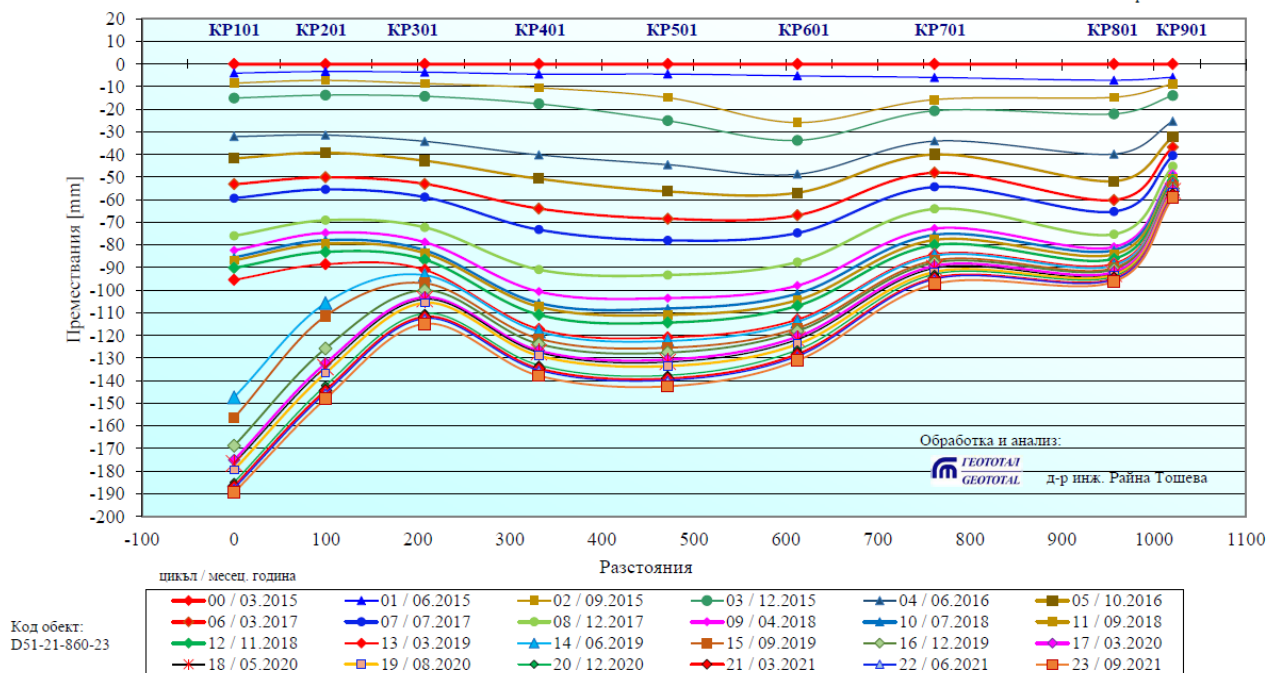
Проект: Мониторинг на хоризонтални и вертикални деформации

Обект: Хвостохранилище за фаялит

Изпълнител:

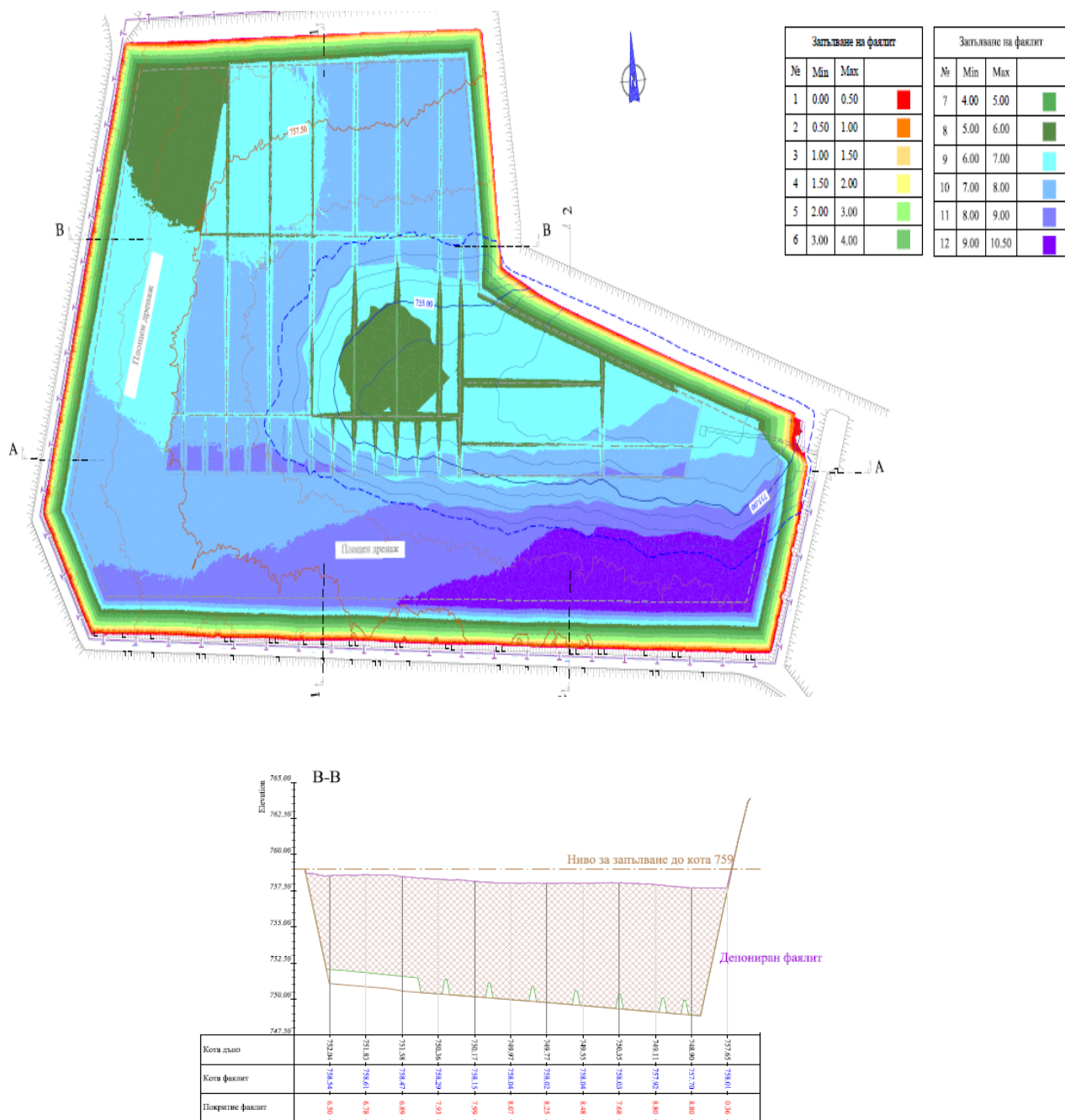
Цикъл 23 - септември 2021

Приложение 7





Хидрографско измерване на намит фаялит - Клетка „А“ и определяне на обеми.



4. Програма за технически контрол

Програмата за технически контрол на Депо за фаялитов отпадък най-общо включва:



Дейности:	Периодичност:
Визуални инспекции и обходи, преглед на оборудване и съпътстващи системи	Ежедневно (дневно и нощно), видеонаблюдение
Оглед на дигите, всички елементи на хидротранспортната система, кранове, помпи, буферни езера и т.н	Ежедневно (дневно и нощно) видеонаблюдение
Водно ниво в езерата	Ежедневно
Метеорологични условия - метеостанция	Ежедневно
Вертикални и хоризонтални деформации, слягане на рекултивация – геодезични замери. Хидрография на намит фаялит.	На 3 месеца или след земетресение
Измерване на водни нива в пиезометрите по короната на трите клетки	Мин. 1 път седмично физически, on-line
Измерване на водни нива в пиезометри в естествен терен и пета на дигите	Мин. 1 път седмично физически, on-line
Химични анализи на водите от езеро, дънна дренажна система, система за инфилтрат	1 месечно
Годишен анализ за техническото състояние на депото	1 годишно
Три-годишен анализ за техническото състояние на Депото от независими експерти ХТС	3 годишно
Технически анализи - сезонни (пролет и есен)	Два пъти годишно

5. Инспекции/докладване/експерти

Вътрешен мониторинг на съоръжението:

- Ежедневни – дневен отчет в журнал
- Месечен – месечен доклад
- Два пъти годишно – пролетен и есенен технически вътрешен отчет и преглед
- Годишен технически отчет
- 3 годишен технически анализ
- Обходи, видеонаблюдение, on-line мониторинг

Външни проверки и комуникация:

- Басейнова дирекция ИБР – гр. Пловдив
- РИОСВ гр.София
- РДПБЗН гр.София
- Община Пирдоп
- Община Златица

Вътрешни експерти от „Аурубис България“ АД

- Специалисти: ХТС, механо, електро, еколози, ЗБУТ и технолози вземат участие в провеждане на пролетни и есенни технически прегледи на съоръжението.

Независими експерти

- В наблюдението на Депото за фаялит участват главния проектант „Свеко Енергопроект“ София, както и независими експерти по ХТС от УАСГ гр. София – проф. Димитър Тошев и доц. Тоньо Чолаков.



6. Аварийен план 2021

Аварийен план 2021.

- Аварийният план на Депото за фаялитов отпадък е приложение към вътрешен Аварийен план на комбината.
- Актуализира се всяка година, както и при необходимост.
- Аварийният план се съгласува с Община Пирдоп, Община Златица и РУ Пирдоп.
- Организиран се минимум 1 път в годината практически занятия за ликвидиране на аварии.
- Пусната е в експлоатация Локална система за оповестяване (ЛАСО), която е част от националната система.
- Има монтирани сирени на Депото.
- Разработени са подробни планове за евакуация на производствената площадка.



УТВЪРЖДАВА:



ДИРЕКТОР НА АУРУБИС
БЪЛГАРИЯ АД

АВАРИЕН ПЛАН

НА

ДЕПО
ЗА ФАЯЛИТОВ ОТПАДЪК
„АУРУБИС БЪЛГАРИЯ“ Пирдоп

/ 2021 /

С 1 ЯС 2021

Аварийен план 2021

Аурубис България АД



СЪГЛАСУВАТЕЛНА СТРАНИЦА

НА ОСНОВАНИЕ: чл. 37, ал. 3 от Закона за уполномощаване и право за съдействие на техническата и безопасната експлоатация на опасните стени и съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние от 31.01.2020 г. (СДВ, ДВ, бр. 9 от 31 Януари 2020 г.), и чл. 163, ал. 2 на Наредба № 1 за ТЕРМ от 05 юни 2004 г.

АВАРИЙНИЙ ПЛАН НА ДЕПО ЗА ФАЯЛИТОВ ОТПАДЪК Е СЪГЛАСУВАНО С:

ОБЩИНА ПИРДОП:	
ОБЩИНА ЗЛАТИЦА	
РУ МВР ПИРДОП: СЪЛАСИЛИ ЗА ДЕЙСТВИЕ ПРИ СМЪРТА ЗА ТЕХНИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОСТ	

Аварийен план 2021

Аурубис България АД



Проиграване на аварийни ситуации и провеждане на практически занятия за ликвидиране на аварии.

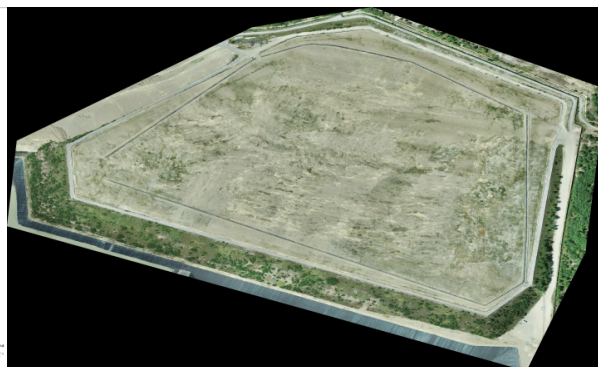
- Всяка година съгласно график и Заповед на Директора се проиграват различни аварийни ситуации, заложи в Аварийният план на депото.
- Съгласно разработени план-сценарии, служители на отдели от Обогатителна фабрика, ХТС и водоснабдяване, медицинска служба, ведомствена Пожарна СОТ 161, механизация на Мтранс и охрана СОТ 161 участват в практически занятия за ликвидиране на аварии на Депото.





8. Оценка на риска

Основно депо: няма риск /рекултивирано/





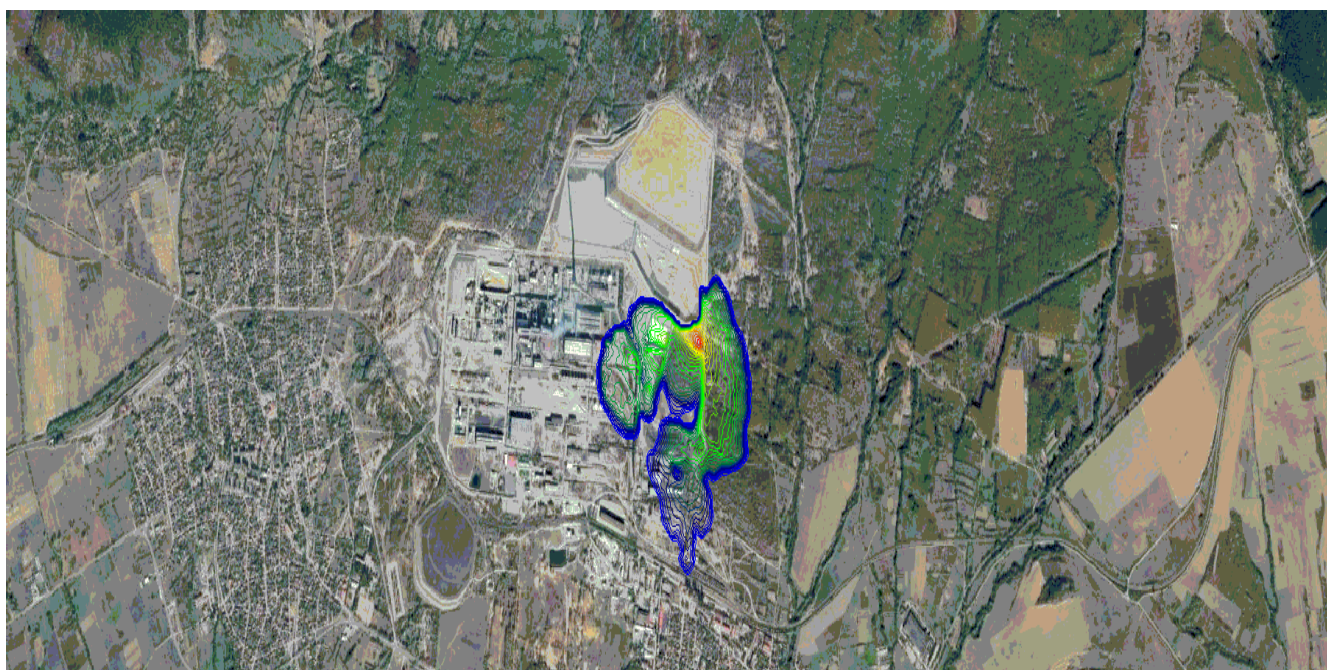
Разработена е Оценка на риска, в която са извършени изчисления и са направени анализи на последствията при евентуални разливи.



9. Анализ на разрушаването

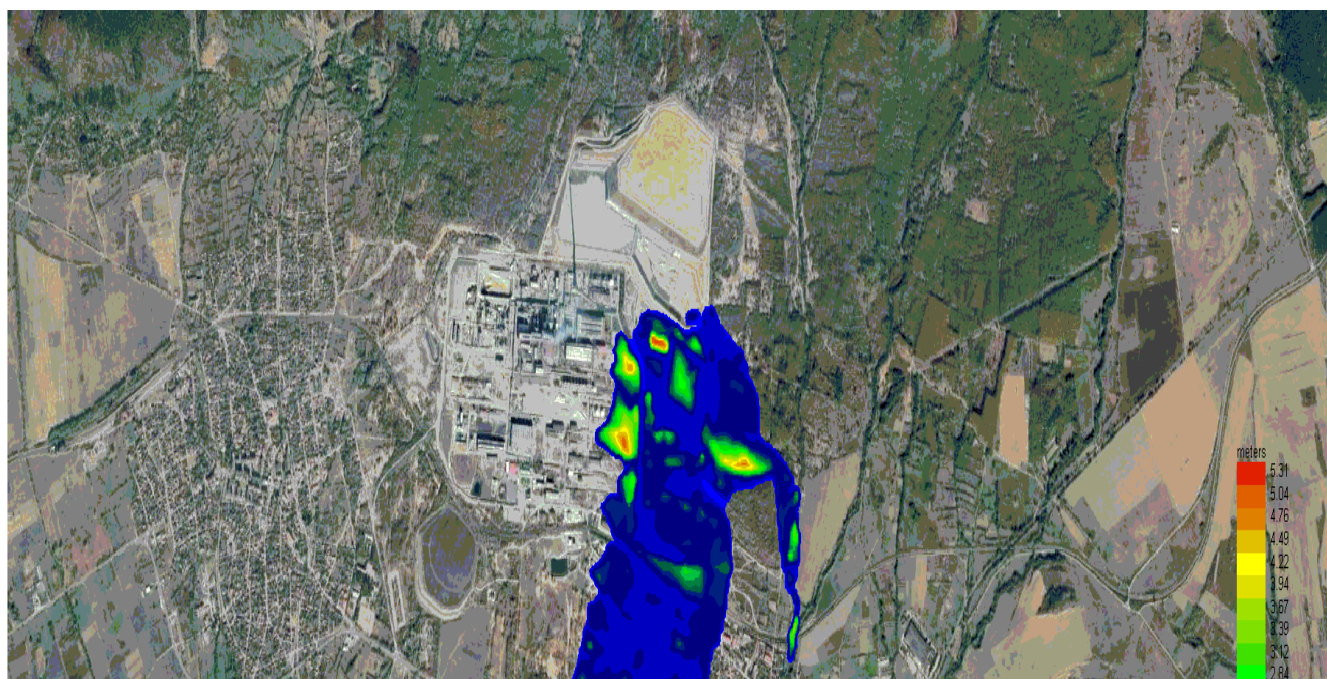
Разработен е Анализ на разрушаването на Депото при различни сценарии и е извършена оценка на последствията.

Сценарии: разрушаване в следствие хлъзгане на въздушния откос, максимална кота 794



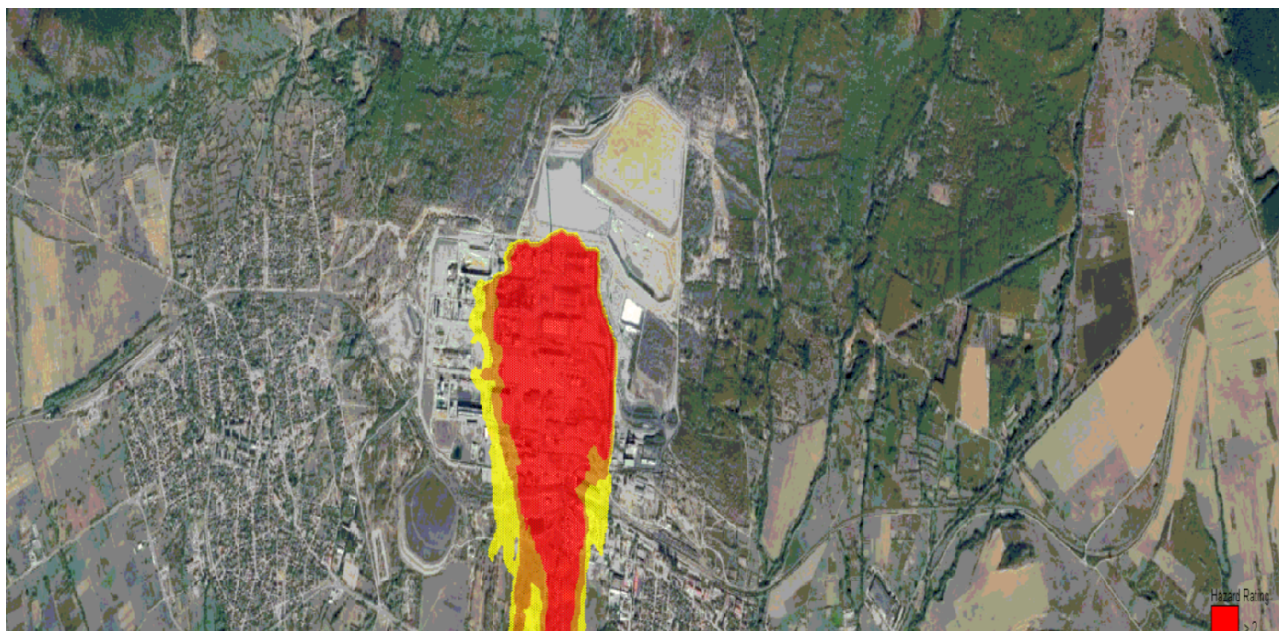
Разработен е Анализ на разрушаването на Депото при различни сценарии и е извършена оценка на последствията.

Сценарии: разрушаване в следствие земетръс, максимална кота на клетка „Б“ 794:



Разработен е Анализ на разрушаването на Депото при различни сценарии и е извършена оценка на последствията.

Сценарии: разрушаване от земетръс при максимална кота, клетка „А“ 759.







МОНИТОРИНГ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“

инж. Стоил Трошанов, инж. Владимир Додников
цех „ВОС, ПС и SX-EW“, Дирекция „Производствени дейности“
„Асарел-Медет“ АД, e-mail: pbox@asarel.com

“LJULYAKOVITSA” TAILINGS DAM MONITORING

Dipl. Eng. Stoil Troshanov, Dipl. Eng. Vladimir Dodnikov,
“WWS, PS and SX-EW” Department, “Production Activities” Head office,
“Asarel-Medet” JSC, e-mail: pbox@asarel.com

ABSTRACT

This report is about used efficient methods in monitoring system of “Ljulyakovitsa” tailings dam, seeking to achieve greater visibility of conditions across dam site. These methods that are given below becomes vital to efficient dam management in long terms of life of the mining installation.

Въведение

Хвостохранилище „Люляковица“ е проектирано през 1983 г. с опорна каменно-насипна стена с височина 128 м от проектантски колектив на институт „НИПРОРУДА“ – гр. София. Пълната височина на хвостохранилището е 189 м до к. 829 (**чертеж 1**).

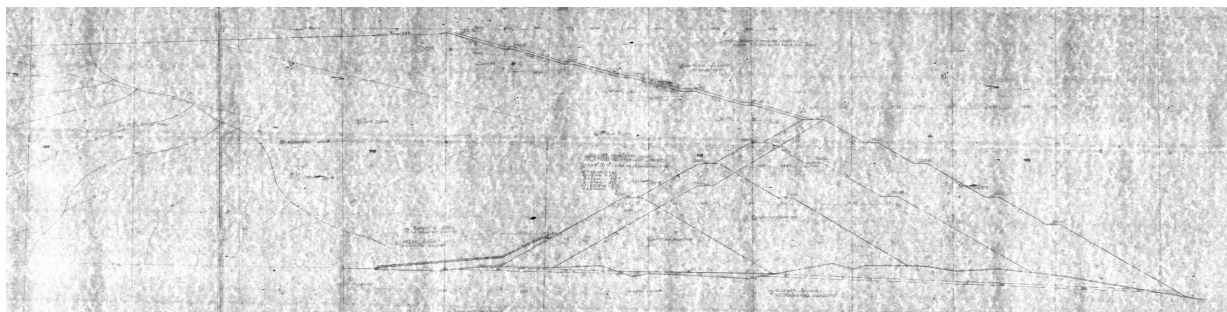
През 1984 г. корпорация „Цветна металургия“ приема изобретение от ВИАС – гр. София, с ръководител проф. Христо Абаджиев за изменение на работния проект на „НИПРОРУДА“. С изобретението се намалява каменната стена от 128 на 82 м и намаляване на обема ѝ с 8,5 милиона м³. Това се постига чрез изграждане на дренажен език от към водната страна с дължина 250 м и височина 16 м от здрав скален материал. Чрез езика и благоприятните последици от него се гарантира дренирането на хвоста и от там устойчивостта на хвостохранилището до проектна кота 829 (**чертеж 2**).

Още тогава хвостохранилището е проверено за изграждане до кота 855.

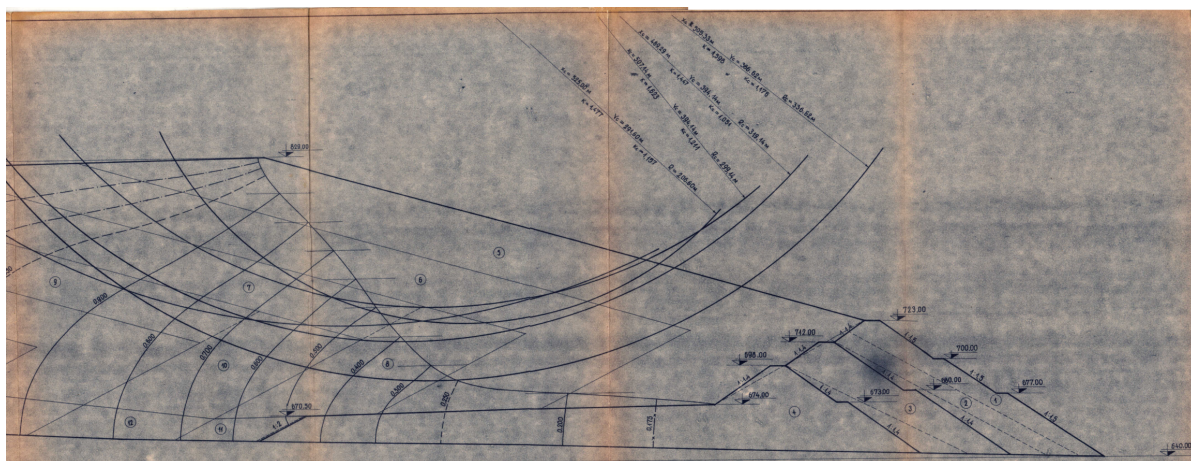
Като филтър против изтичане на хвост върху валирания скален насип на езика и водния откос на опорната каменна призма е положен нетъкан иглонабит геотекстил от полиестер.

В края на 1989 г. хвостохранилище „Люляковица“ е пуснато в експлоатация.

Анализите на състоянието на хвостохранилището извършени през 1991 г., 1992 г., 1993 г. и 1995 г. показват, че при действителните показатели на отложения хвост, то няма устойчивост при надграждане до проектната кота 829.



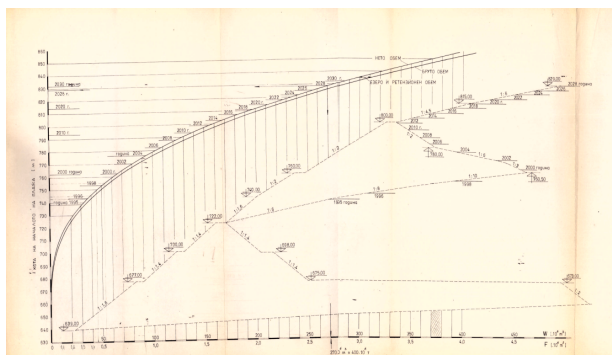
Чертеж 1



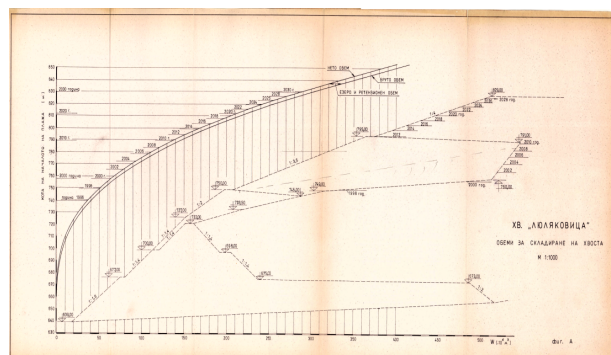
Чертеж 2

През 1995 г. е изготвен проект от УАСГ – гр. София, с главен проектант проф. Христо Абаджиев за осигуряване на хвостохранилището за действителното му състояние чрез насипване на допълнителен скален насип за затежняване от кота 722 до кота 800 с обем около 8,2 млн. m^3 и изместване на наливния фронт с около 315 м навътре към утаечното езеро (чертеж 3).

В началото на 1996 г. с рационализаторско предложение на СПП при УАСГ – гр. София, с ръководител ст.н.с. инж. Иван Калчев, скалния насип за затежняване по проекта от 1995 г. е заменен с хидроциклонирания хвост. Намален е скъпия скален насип за затежняване от 8,2 млн. m^3 на 1,7 млн. m^3 и 10,5 млн. m^3 циклонирания хвост. По този проект с главен проектант проф. д-р инж. Иван Калчев е изградено хвостохранилището до к. 829 (чертеж 4).



Чертеж 3



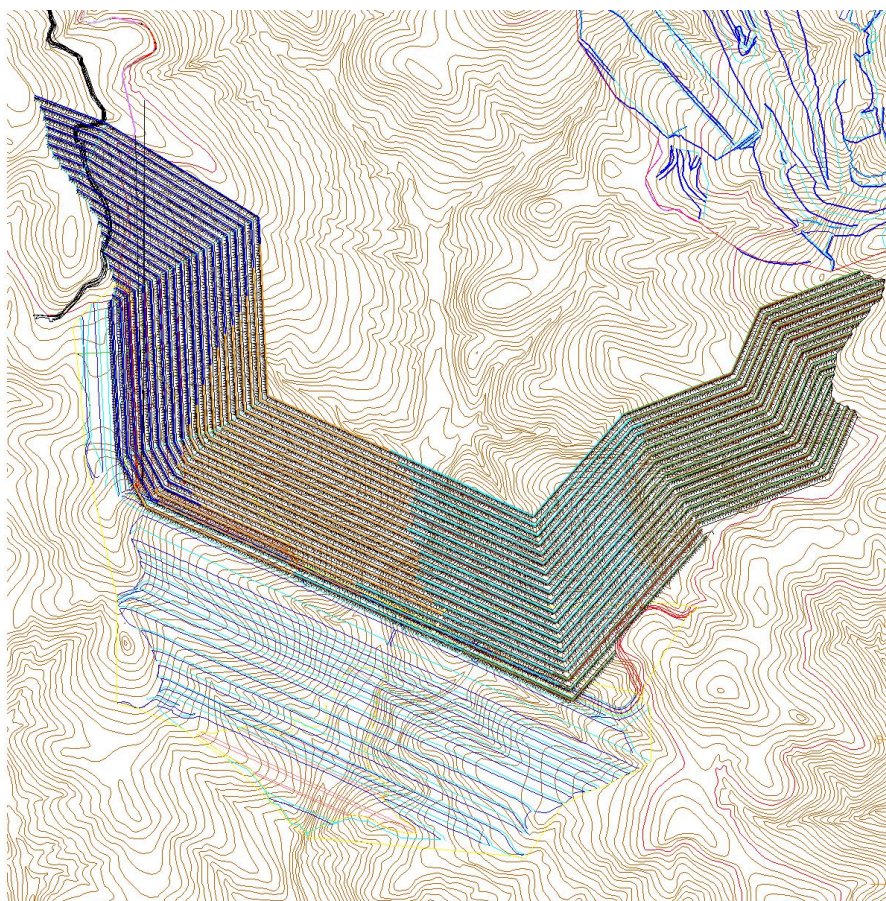
Чертеж 4

От 2019 г. се изпълнява нов работен проект за експлоатационно изграждане на хвостохранилище „Люляковица“ до к. 900 и височина 260 м чрез наливане (чертеж 5).

Успоредно с нарастването на хвостохранилището се изграждат стоманобетонени канали по двата му ската за отвеждане на дъжовните води и се извършва техническа и биологична рекултивация на въздушния откос.

Установяване състоянието и работата на стената в процеса на експлоатационно изграждане ни дават реална оценка за сигурността ѝ, откриването на дефекти, предотвратяването на аварии и подобряване условията за нормална експлоатация.

Като експлоатация на хвостохранилище „Люляковица“ през годините сме се сблъскали с различни проблеми и предизвикателства при мониторинга на опорната призма, които ще се опитаме да обобщим по-долу в доклада.



Чертеж 5

1. МЕТОДИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ И КОНТРОЛ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“ С ЦЕЛ ОСИГУРЯВАНЕ НА УСТОЙЧИВОСТТА МУ

Проектирането и експлоатацията на хвостохранилища като отделни съоръжения не са застъпени в българската нормативна база. За тези цели се използват нормите за проектиране на хидротехнически съоръжения и по-конкретно тези за насипни язовирни стени (1988 г.) [1] и Правилник за безопасност на труда при експлоатация на хвостохранилища и шламохранилища (1981 г.) [2]. Но, докато една язовирна стена се изгражда еднократно, то хвостохранилищата от наливен тип се изграждат през целия период на експлоатация на мината. Застъпените в нормите изисквания са съпътствани от вземането на практически решения за правилно и надеждно изграждане на едно хвостохранилище.

От самото начало на експлоатацията на хвостохранилище „Люляковица“ провеждаме няколко вида контролни дейности в етапите му на изграждане до момента:

ОПРОБВАНЕ НА ПОСТЪПВАЩИЯ ХВОСТ

Определянето на показателите на складирания материал е съществен момент в оценка на състоянието на стената.

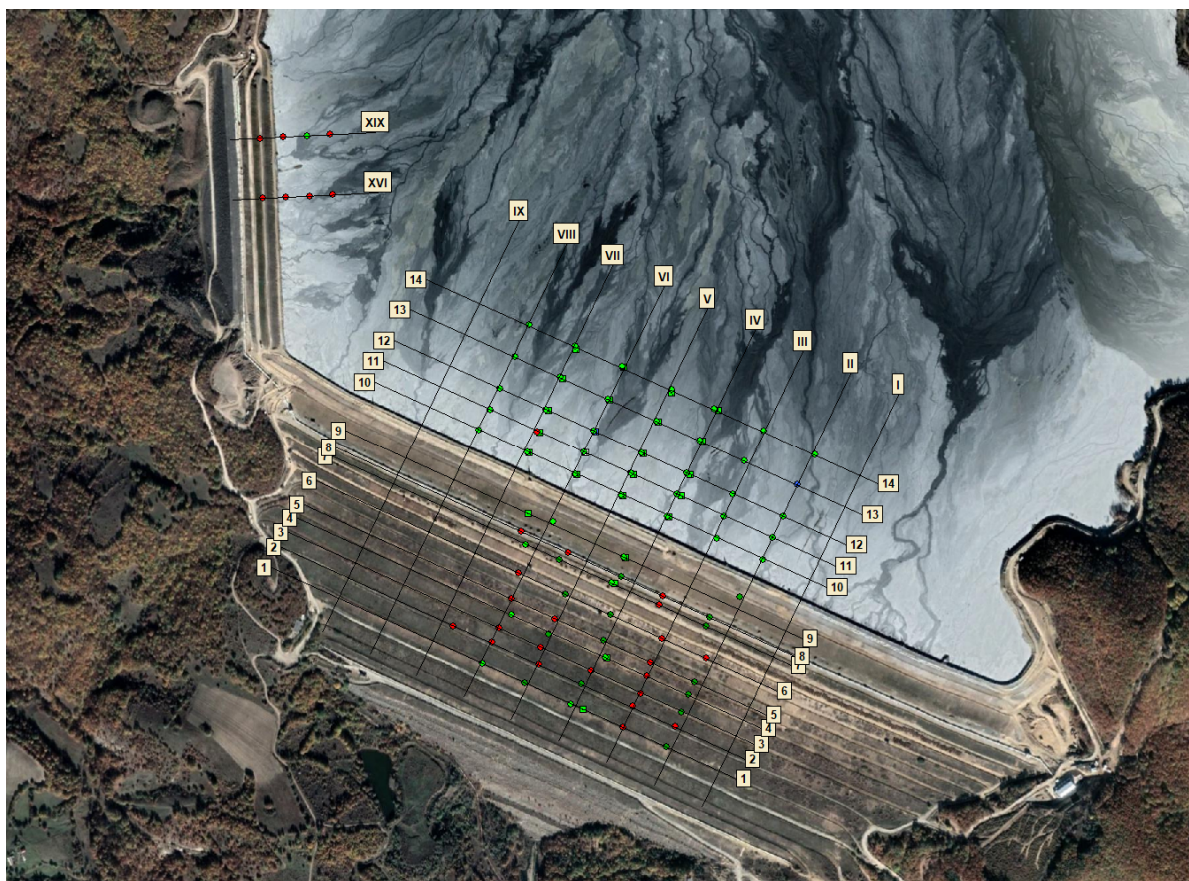
Ежедневно специалисти по земна механика взимат проби от постъпващия хвост, които се осредняват за седмицата. По нея се определя зърнометричния състав на хвоста за наливане и се съпоставя с проектния

Ежемесечно се изготвя доклад от ръководителя на лабораторията от опробванията на хвоста и едно копие се предава на главния проектант на хвостохранилището.

Веднъж годишно по време на изграждане на наливните диги взимаме проби от плажа до около 200 м навътре и определяме зърнометричен състав на отложения хвост, обемна и относителна плътност, ъгъл на вътрешно триене и кохезия. Изследванията се обобщават в доклад, който също се предава на главния проектант.

КОНТРОЛНО ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА ПОДЗЕМЕН МОНИТОРИНГ

От познатата ни практика при насипните язовирни стени, показателите, които наблюдаваме са: ниво на депресионна линия, порово налягане, консолидация и филтрация. За тази цел в прокарани сондажи се монтират тръби и в тях съответните датчици. (снимка 1)



Снимка 1

През 1989 г. беше изградена първата КИС за автоматично измерване на депресионна крива и порово налягане с датчици, монтирани в черни пултрозивни тръби. Датчиците представляваха вибрираща струна на фирма SINCO. Всички кабели бяха изведени в лабораторията по земна механика (ЗМЛ). В нея беше монтиран и сеизмограф за задействане на КИС и измерване на поровото налягане при земетръс

През 1990 г. вследствие гръмотивица поразила някои от пиезометрите, е унищожена цялата система. Това беше важен урок, който ни показва, че за в бъдеще системите следва да имат и мълниезащитна инсталация при надграждането им. До 2000 г. КИС в първоначалния си вид така и не беше възстановена.

През 1991 г. и 1992 г. изградихме пиезометри от стъклопластови тръби за ръчно измерване на депресионна крива в тялото на хвостохранилището. На тях монтирахме и слегомери (метални



пръстени) за измерване уплътняването на хвоста. Проблемът, върху който се натъкнахме беше постепенното запушване на тръбите от разлепени стъклени ленти.

Пиезометрите се измерваха ръчно и затова се налагаше да влизаме в плажа, което водеше до утежнени условия на работа. Наложих се да доставим амфибия лодка каяк. Вследствие движението на неуплътнения хвост към утаечното езеро, тръбите наклоняваха и изчезваха в хвоста.

През 2000 г. изградихме нова автоматизирана КИС. В сондажи прокарани в отложения хвост бяха монтирани тръби от полипропилен и в някои от тях монтирани датчици за пиезометрично и порово налягане, които предаваха данните чрез радиосигнал в ЗМЛ. В два профил бяха инсталирани тръби за контролно ръчно измерване на депресионната крива. Данните от КИС се използваха при периодичните оценки за моментното състояние на хвостохранилището ни. Тази система функционираше до м. Април 2020 г.

През 2019 г. тази система беше разширена като бяха прокарани сондажи в плажа до 250 м навътре от поредната наливна дига в 7 профила и 5 реда. От тях 35 броя са за пиезометрично налягане, а 20 броя за порово налягане. По въздушния откос бяха оборудвани още 8 броя за пиезометрично и 5 броя за порово налягане. Всички тези сондажи са автоматизирани и представляват КИС от новия работния проект за експлоатационно изграждане на хвостохранилището до кота 900. Оборудвани са с датчици за налягане с мембрана от неръждаема стомана и електроника. Сигнала от датчика чрез кабел се подава към антена монтирана на въздушния край на пиезометричната тръба и от там към приемната станция инсталирана в ЗМЛ. Всяка година тръбите и кабелите се удължават с нарастване на хвостохранилището

Пиезометрите за ръчно измерване по въздушния откос са 36 броя.

Цялата информация от датчиците е интегрирана в специално създадена програма, чрез която в реално време наблюдаваме нивото на депресионната линия и поровото налягане. Допълнително имаме и 20 броя плитки пиезометри за следене наличието на води в близост до въздушния откос.

През 2021 г. вследствие нарастването на хвостохранилището в западната му част над контрастената, изградихме нови 8 броя пиезометри оборудвани с датчици, които също интегрирахме в програмата

Така за подземен мониторинг на хвостохранилище „Люляковица“ към настоящия момент са в експлоатация над 124 броя изградени сондажи.

КОНТРОЛНО ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА ПОВЪРХНОСТЕН МОНИТОРИНГ

Поради специфичните условия на терена хвостохранилище „Люляковица“ нараства във височина и предвид това, че е насипно съоръжение, то предпоставките за хоризонтални и вертикални премествания са налице.

Наблюдението и контрола върху преместванията е важен етап при експлоатацията на хвостохранилището, тъй като от тях може да тълкуваме за наличие на първи прояви на аномалии или предпоставки за образуването на нарушени зони.

Отново използваме изискванията за насипни язовирни стени като за целта имаме изградена геодезическа мрежа с нивелачни репери и точки за планови измервания.

Още на каменната стена през 1989 г. бяха изградени репери и марки по короната и бермата. Измерванията се извършваха с нивелир на всяко тримесечие.

С нарастването на стената се наложи да бъде разширена и геодезическата КИС. През 2008 г. изградихме КИС за повърхностен мониторинг от стълбове с отражателни призми и нивелачни репери. Стълбовете са разположени върху 4 берми (2 по опорната каменна стена и 2 по берми 3 и 5).

През 2014 г. в дружеството е интегриран Trimble 4D Control продукта, към който е добавен мониторинг на хвостохранилище „Люляковица“ чрез автоматизирана тотална станция. Това ни позволи да наблюдаваме в реално време провежданите измервания, както и да анализираме тенденциите в поведението на стената въз основа на всички предишни измервания до момента (снимка 2).

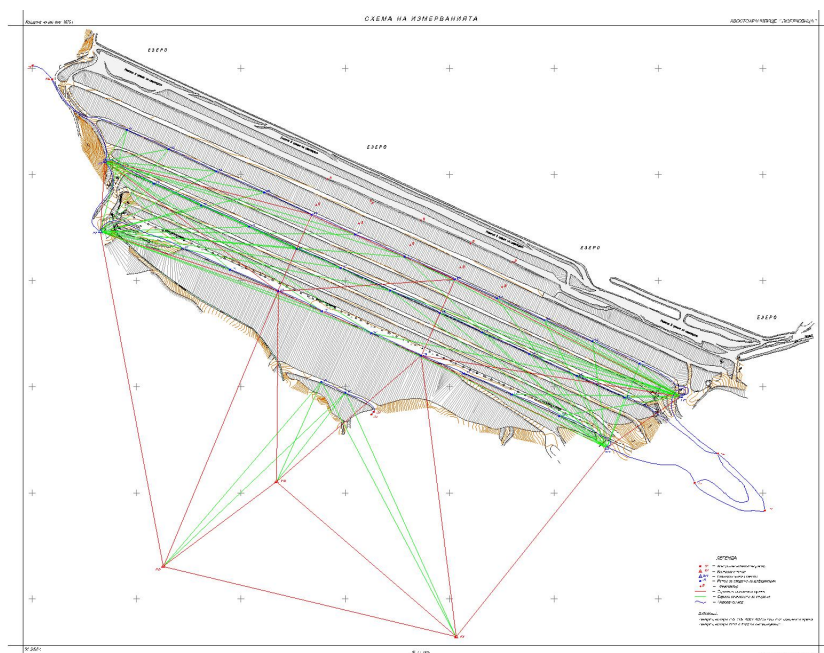


Схема на геодезическа мрежа по проект от 2008 г.

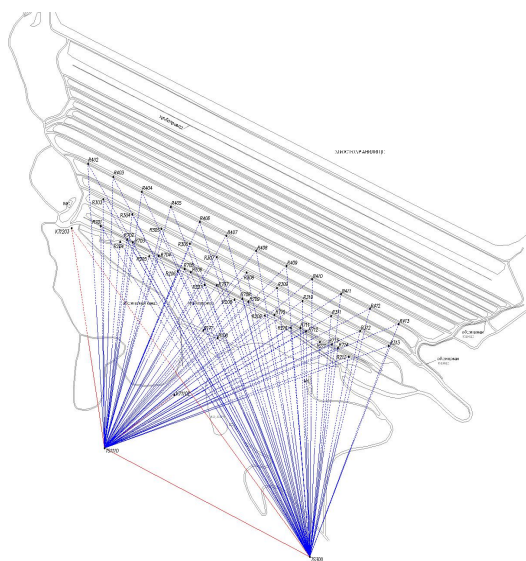


Схема на автоматизирана система след 2014 г.

Снимка 2

В допълнение, на всеки три месеца външна фирма извършва ръчни геодезически измервания за такъв клас съоръжения. Измерванията се представят в доклади с графики за премествания и сравнение. Този метод отпадна в нормативната уредба за язовирните стени [3], но въпреки това, го правим с цел контрол на автоматизираната система.

Важен момент при повърхностния мониторинг е разположението изходната геодезична мрежа. Според бюлетините на ICOLD [4] мрежата трябва да е разположена извън т.нар. напрегнато-деформационно поле или на отстояние 3-5 пъти височината на стената. В случая с хвостохранилище „Люляковица“ това е почти невъзможно и ще доведе до получаването на нереални измервания. Например: при сегашна кота 840, следва че подобни точки трябва да бъдат на минимум 600 м от стената. Като вземем предвид теренните условия на района и дължината на стената от над 2000 м получаваме разстояния с пряка видимост от над 2500 м. Въпреки че разполагаме с висок клас тотални

станция (long range) за дълги разстояния, опитът ни с тях до момента показва, че повече от 2000 м разстояние между 2 точки дава грешен отчет. Отклоненията са твърде големи ако ги съпоставим с изискванията за язовирните стени.

ЛАБОРАТОРНИ И ПОЛЕВИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА НАМИТИЯ ХВОСТ

Определянето на действителните физико-механичните показатели на хвоста в опорната призма по дължина и дълбочина ни е нужно за изследване устойчивостта на хвостохранилище „Люляковица“. Предвид мащабите на съоръжението е физически невъзможно да бъдат взимани проби ако се следват изискванията за насипните язовирни стени.

За да бъдат определени показателите на хвоста в лабораторни условия, се взимат ненарушени проби от тялото на стената чрез сондажи, както по време на изграждане на КИС, така и периодично показателите се използват при оценката за моментното състояние на стената.

През 2002 извършихме лабораторни изследвания за определяне характеристиките на хидроциклонирания хвост. Ненарушени проби на отложения хвост са вземани през 2013, 2018 и 2019 г. Успоредно със тях се извършваха и полеви изследвания за определяне на якостните показатели in-situ чрез пенетрация и дилатометрия.

През 2013 г. и 2018 г. бяха извършени водоналивания в сондажи за определяне коефициента на филтрация на хвоста.

Последните полеви изследвания са извършени през 2020 г. (**снимка 3**) на около 200 м навътре в плажа в 21 сондажа на площ 600 дка и дълбочина до 100 м. В тях бяха извършени изследвания на хвоста чрез статична пенетрация и дилатометрия. От сондажите взехме 225 броя ненарушени проби за лабораторни изпитания, 88 от които за динамичен триосов натиск.

Периодичното провеждане на подобни изследвания ни дава възможността да съпоставим реалните с приетите изчислителни показатели на хвоста. Освен това е и вид оценка на начина на експлоатация на хвостохранилището през годините.



Работа със статичен пенетрометър



Работа с дилатометър

Снимка 3

2. ДОПЪЛНИТЕЛНИ МЕРКИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ МОНИТОРИНГА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“

Съгласно наредбата за язовирните стени на всеки 3 /три/ години възлагаме изготвянето на оценка за моментното състояние на хвостохранилище „Люляковица“, която обобщава получени резултати от опробванията, както и данните от подземния и повърхностен мониторинг. Числените стойности на показателите на хвоста се актуализират при необходимост.

Понижението на поровото налягане е ключово за стабилността на хвостохранилище „Люляковица“. През годините изпълнихме 8 броя дренажни завеси от сондажи запълнени с пясък. Целта е да бъде създадена хидравлична връзка между различните слоеве на отложения хвост и отдрениране на задържаната в порите вода. (снимка 4)

Много е важно надеждното отвеждане на дъждовните води. Чистите води от прилежащите скатове са отведени чрез стоманобетонени канали в прилежащите откоси извън хвостохранилището. Дренажните и замърсени води са разделени и насочени към водоема след хвостохранилището, от където се включват към оборотните води.

Бермите на стената и съоръженията за отвеждане на повърхностни води са предвидени и оразмерени така, че да осигуряват проводимост за безопасност 0,01%.

При повърхностния мониторинг предстои етапно надграждане на автоматизираната система чрез 6 броя нови тотални станции с GNSS приемници, 198 броя стълбове с репери и призми и 24 броя изходни точки. Цялата система ще показва информацията в Trimble 4D Control.

През последните две години внедрихме и модерни технологии за визуални обследвания като облитане с дрон като заснеманията се извършват ежемесечно. Инсталирахме камери за видеонаблюдение на характерни точки, които ни позволят своевременно да вземаме решения при експлоатацията на хвостохранилището.

Благодарение на мониторинга внедрен до момента и натрупания опит, можем да считаме че до момента осигуряваме нормални условия за експлоатация на хвостохранилище „Люляковица“.



Снимка 4

Литература

- [1] 1985 г. НИППИЕС „Енергопроект“ – Норми за проектиране на хидротехнически съоръжения. Общи положения, Норми за проектиране на насипни язовирни стени;
- [2] 1981 г. Правилник за безопасност на труда при експлоатация на хвостохранилища и шламохранилища;
- [3] ДВ, бр. 9, 2020 г. - Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние;
- [4] 1989 г. ICOLD (bulletins 60, 68) – “Dam monitoring – general conditions”, “Monitoring of dams and their foundations – safe of art”;
- [5] 2020 г. GTR, UNEP, PRI, ICMM – Global Industry Standard on Tailings Management;



КОМПЛЕКСНИ РАЗРЕШИТЕЛНИ НА СЪОРЪЖЕНИЯТА НА МИНИ МАРИЦА ИЗТОК И ПРИЛАГАНЕТО НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА СЪВМЕСТНО НАСИПВАНЕ НА ОТПАДЪЦИ ОТ ТЕЦ И ГЛИНИ, ПОЛУЧЕНИ ПРИ ДОБИВА НА ЛИГНИТНИ ВЪГЛИЩА

маг. еколог Владимир Етов, Главен еколог в "Мини Марица Изток" ЕАД
маг. еколог Деница Славова, еколог в "Мини Марица Изток" ЕАД
"Мини Марица Изток" ЕАД
<http://www.marica-iztok.com/>
E-mail: mmi-ead@marica-iztok.com

РЕЗЮМЕ

Тази презентация представя изискванията на българското екологично законодателство по прилагане на комплексното предотвратяване и контрол на замърсяването чрез комплексните разрешителни на депата за неопасни отпадъци "Обединени северни насипища" и "Насипище Медникарово", както и прилаганата технология на съвместно насипване на производствени отпадъци от ТЕЦ и глини от откритите хоризонти на Мини Марица Изток.

Комплексно предотвратяване и контрол на замърсяването /КПКЗ/ НОРМАТИВНА УРЕДБА

- Директива 2008/1/ЕС за комплексно предотвратяване и контрол на замърсяването /стара Директива 96/61/ЕС/
- Директива 1999/31/ЕС относно депониране на отпадъци
- Регламент 166/2006/ЕС относно създаването на Европейски регистър за изпускането и преноса на замърсители
- Закон за опазване на околната среда /в Глава седма е транспонирана Директива 2008/1/ЕС/
- Наредба за условията и реда за издаване на комплексни разрешителни
- Методики за попълване на заявление и за издаване на комплексно разрешително на Министерството на околната среда и водите
- Методика за реда и начина за контрол на комплексното разрешително и образец на годишен доклад за изпълнение на дейностите, за които е предоставено комплексно разрешително
- Директиви, Регламенти, Закони, Наредби и Методики, свързани с опазването на околната среда /над 30/

Комплексно разрешително Съгласно Закона за опазване на околната среда и Директива 2008/1/ЕС

- Изграждането и експлоатацията на нови и експлоатацията на действащи инсталации и съоръжения за категориите промишлени дейности по приложение №4 от Закона, се разрешават след издаването на комплексно разрешително
- Комплексно разрешително се изисква и при съществена промяна на действащи инсталации и съоръжения
- Комплексното разрешително е задължително за издаване на разрешение за строеж
- Изключение по горното се допуска за инсталации и съоръжения, за които е завършила процедура по оценка на въздействието върху околната среда /ОВОС/ / Директива 85/337 ЕС/, с решение, потвърждаващо прилагането на най-добри налични техники. В този случай комплексното разрешително е задължително за въвеждането на инсталациите и съоръженията в експлоатация
- Комплексните разрешителни са безсрочни. Компетентният орган преразглежда периодично на



всеки осем години разрешителното, а при необходимост и по-често

Комплексно разрешително Комплексното разрешително съдържа

- Емисионните норми и техническите мерки, в т.ч. такива за извъннормалните условия на експлоатация
 - Задължителните мерки за опазване на въздуха, водата и почвата;
 - Изисквания за мониторинг;
 - Допълнителните мерки за достигане на действащите норми за качество на околната среда.
 - Нормите и мерките в комплексните разрешителни се основават на прилагането на най-добри налични техники.
 - НДНТ се подготвят от европейското бюро по КПКЗ в Севиля, Испания и са достъпни на интернет адрес <http://eippcb.jrc.es>
 - НДНТ се отнасят до прилагането на технологии, които са най-подходящи за съответното производство
- Действащите инсталации, които не отговарят на изискванията на НДНТ се привеждат в съответствие чрез изпълнение на мерките от инвестиционната програма, която е неразделна част от Комплексното разрешително.
- Новите инсталации задължително трябва да отговарят на НДНТ.

Комплексно разрешително

Видове и количества отпадъци от ТЕЦ, които се обезвреждат на Депата за неопасни отпадъци "Обединени северни насипища" и "Насипище Медникарово"

- Сгурия, шлака и дънна пепел от котли
- Увлечена/леляща пепел от изгаряне на въглища
- Твърди отпадъци от реакции на основата на калций, получени при десулфуризация на отпадъчните газове (гипс от СОИ)

- **Капацитет на Депо за неопасни отпадъци "Обединени северни насипища"** – за отпадъците от ТЕЦ "Марица изток 2" ЕАД
11 850 t/24 и 3 602 000 t/y
Общо за периода на експлоатация 108 060 000 t

За периода на действие на КР до края на 2020г. са депонирани: 22 364 838 тона

- **Капацитет на Депо за неопасни отпадъци "Насипище Медникарово"** – за отпадъците от "Контур Глобал Марица изток 3" АД
9 444 t/24 и 2 872 706 t/y

За периода на действие на КР до края на 2020г. са депонирани: 20 625 298 тона

Общо за периода на експлоатация 86 181 180 t

Етапи на издаване на комплексното разрешително

- Подаване на заявление за издаване на КР от оператора
- Посещение на място на производствената площадка за проверка на информацията от заявлението за издаване на КР от компетентния орган и оператора
- Допълване на заявлението за КР от оператора
- Обществен достъп до заявлението за КР – осигурява се от оператора, от компетентния орган и от местните власти
- Изготвяне на проект на КР от компетентния орган



- Съгласуване на проекта на КР с оператора
- Издаване на КР от компетентния орган

СЪДЪРЖАНИЕ НА КОМПЛЕКСНОТО РАЗРЕШИТЕЛНО СЪДЪРЖА 16 УСЛОВИЯ, ВКЛЮЧВАЩИ:

- Условие №1 Речник на използваните термини
- Условие №2 Инсталации, обхванати от разрешителното
- Условие №3 Обхват
- Условие №4 Капацитет на инсталациите
- Условие №5 Управление на околната среда
- Условие №6 Тълкуване
- Условие №7 Уведомяване
- Условие №8 Използване на ресурси
 - Използване на вода
 - Използване на енергия
 - използване на суровини, спомагателни материали и горива
 - съхранение на суровини спомагателни материали и горива
- Условие №9 Емисии в атмосферата
- Условие №10 Емисии на отпадъчни води
- Условие №11 Управление на отпадъците
- Условие №12 Шум
- Условие №13 Опазване на почвата и подземните води от замърсяване
- Условие №14 Предотвратяване и действия при аварии
- Условие №15 Преходни и аномални режими на работа
- Условие №16 Прекратяване на работата на инсталациите или на части от тях

Технология

- Намиване на производствените отпадъци /ПО/ в сгуроотвалите на ТЕЦ, посредством тръбен хидротранспорт, утаяване и осушаване
- Изкопаване и транспортиране на глини /Г/ от откривните хоризонти и транспортирането им до насипището
- Смесване, транспортиране и съвместно насипване на ПО и Г
- Допълнително покриване на получения субстрат с от 2–5метра стерилни глини
- Подравняване на терена и създаването на съобразен с околните терени ландшафт
- След не по-малко от 5години, когато деформационните процеси са затихнали се извършва ново по финно подравняване
- Извършване на техническа и биологична рекултивация, чрез полагането на предварително събрания хумус. Биологичната рекултивация чрез залесяване се прилага на откосите на новообразуваните терени, без хумусно покритие
- Възстановените терени се причисляват в съответния фонд и започва тяхното използване и реколтиране.

Условия към СУОС ПРЕДИМСТВА

- Зърнометричния и минерален състав на глините изграждащи основата на съоръжението-финодисперсни до праховопесъчливи, практически са без филтрационни свойства. Коефициентът на филтрация е със стойности – $K_f < 1.10^{-6} \text{ cm/s}$, а в техния строеж



преобладават глинестите минерали монтморилонит и хидрослюди, които се отличават с голяма адсорбционна активност. Изолационните слоеве по дъното на насипището са естествени наслаги от терциерни глинени с дебелина от 10 до 150 m. Те са водонепропускливи с коефициент на филтрация $K < 1 \cdot 10^{-7}$ m/s

- благоприятства инертизирането и дезактивирането на сгуропепелния отпадък при смесването му с материалите от откривните хоризонти и като цяло намалява високия екологичен риск от неговото самостоятелно депониране. Увеличава се прахово-песъчливата фракция на глините, като това от своя страна благоприятства консолидационните процеси и по-бързото протичане на процесите на слягане и уплътняване.
- Високия екологичен риск от неимоверно голямото разрастване на сгуропепелните отвали от ТЕЦ, в продължение на дългогодишната експлоатация на възглицата от Източноаришкия басейн, произтичащ от утежнени инженерогеоложки условия, съществуването на нарушени от древни свлачища нарушени зони в основата на сгуроотвалите; Високата сеизмичност на района също би провокирала изграждането на депа само от сгуропепелина или гипс и провокирала стабилитета на такива съоръжения;
- Заемане на огромни естествен терени от сгуроотвалните езера, което е свързано с големите количества сгуропепелен отпадък от ТЕЦ и необходимата малка височина (по условие за устойчивост) на дигите на сгуроотвалите т.е. не се нарушават допълнителни площи
- Висока степен на запрашеност в района на нови сгуроотвалите
- Високото съдържание на сулфати (до около 1500 mg/l) и високата минерализация (до 3000 mg/l) на избистрените дренажни води на сгуроотвалите, които в голяма степен натоварват повърхностните водоприемници

Комплексно разрешително

- В издадените комплексни разрешителни са поставени условия за използваните ресурси - вода, електроенергия, суровини, спомагателни материали и горива.
- Също така има аналогични условия за организирани и неорганизираните емисии на вредни вещества в атмосферния въздух. Набелязани са и се изпълняват значителни мерки за предотвратяване и намаляване на неорганизираните емисии на прах, с които се цели ненарушаване качеството на атмосферния въздух и предотвратяване на запрашаването в района на депата.
- В комплексните разрешителни има условия, ограничения и мерки по отношение на изпусканите повърхностни води извън територията на депата. Освен прилаганите мерки и технология, два пъти годишно се извършва собствен мониторинг.
- Всички дейности по управление на отпадъците се извършват съгласно изискванията на специализираните закони, в това число: събиране, временно съхранение, транспортиране, предаване за оползотворяване, преработване и рециклиране.
- При приемането и депонирането на отпадъците от ТЕЦ се спазва строга информационна система за вида, състава и свойствата на приеманите отпадъци, измерване на същите, както и постоянен контрол и мониторинг. Тези данни се записват в специални регистри.
- В специални условия на комплексните разрешителни са разписани лимитните гранични стойности на допустимите нива на шум от дейността на депата и изискванията за мониторинг. Данните се записват в специални регистри.
- Изключително строго се изпълняват условията и мерките от комплексните разрешителни за опазване на почвата и подземните води от замърсяване. Освен прилаганите мерки и технология, два пъти в годината се извършва собствен мониторинг на подземните води. Данните се записват в специални регистри.
- Ежегодно се извършва рекултивация на терените, върху които е приключило депонирането.
- За двете депа се спазва План за предотвратяване и действия при аварии, с предвидени



конкретни мероприятия и отговорни лица.

- При експлоатацията на депата се изисква и се спазва План за мониторинг при преходни и аномални режими на работа. И в двата, случая не се извършва депониране на производствени неопасни отпадъци от дейността на ТЕЦ, което по своята същност е преустановяване работата на депата.
- В комплексните разрешителни е предвиден и режим за уведомяване на компетентните органи при взето решение за временно прекратяване и закриване на дейностите на депата. Същото се извършва задължително след изготвяне на специални планове.
- От изключителна важност е докладването по изпълнение на условията от комплексните разрешителни, включващо:
- Ежегодно изготвяне на Годишни доклади за изпълнение на дейностите, за които са предоставени комплексните разрешителни, които се представят пред РИОСВ Стара Загора;
- Ежегодно докладване на данните, съгласно Регламент № 166/2006 НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА за създаването на европейски регистър за изпускането и преноса на замърсителите;
- Годишните доклади се публикуват на интернет страницата на ИАОС и са достъпни за обществеността.



СЪЗДАВАНЕ НА 3D МОДЕЛ НА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ НАЗЕМНО ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ

Мариян Димитров¹, Марко Марков², Боримира Хаджиева³

¹"Геотехинженеринг" ООД, София, България, dimitrovmarian94@gmail.com

²Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, България, markomarkov8@abv.bg

³"Геотехинженеринг" ООД, София, България, borimirah@gmail.com

CREATION OF 3D MODEL OF A DAM OF TAIL-DEPOT BY RESULTS FROM TERRESTRIAL LASER SCANNING

Mariyan Dimitrov¹, Marko Markov², Borimira Hadzhieva³

¹"Geotechengineering" Ltd, Sofia, Bulgaria, dimitrovmarian94@gmail.com

²University of Architecture, Civil Eng. and Geodesy, Sofia, Bulgaria, markomarkov8@abv.bg

³"Geotechengineering" Ltd, Sofia, Bulgaria, borimirah@gmail.com

ABSTRACT

The process for creation of 3D-digital model of dam of tail-depot is presented in details. Main results of the analysis about the accuracy and detaility of the model are given. The advantages and perspectives of the enclosed technology are fixed.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning, 3D-digital model, tail-depot

1. Въведение

Анализът на техническото и експлоатационното състояние на стените на хвостохранилищата е неразделна част от процеса на стопанисване на тези съоразения. Съвременният подход при един такъв анализ предполага създаване и поддържане на актуален 3D цифров модел на стената, като цяло, с ясно ситуиране на инфраструктурните елементи (пиезометри, наблюдателни стълбове, репери и др.) предназначени за мониторинг на състоянието на съоръженията.

Набирането на детайлна емпирична информация, необходима за изграждане на цифровия модел, би могло да стане посредством различни геодезически методи^[4]. Сред разнообразието от методи и технологии безспорно се откроява наземното лазерно сканиране (Terrestrial Laser Scanning) във всичките му разновидности^[3]. Тази технология, със своята бързина и детайлност на заснемане, е безспорен фаворит, когато става дума за създаване на 3D цифрови модели на материални обекти, изградени и функциониращи над и под земната повърхност^[1,6].

В този ред на мисли, прилагането на наземно лазерно сканиране, с цел създаване на пространствен цифров модел на стена на хвостохранилище, е не само логическо обосновано и технологично осъществимо – то би било най-добрият избор^[5], в случай, че се разполага с подходяща апаратура и е налице необходимия практически опит.

2. Основни етапи от практическата реализация на сканирането

Обектът, предназначен за сканиране, е стената на хвостохранилище „Ерма река“, намиращо се на около осем километра от Златоград, юго-западно от Старцево (Фиг. 1). Хвостохранилището е депо за отпадъчна хвост от преработката на добивната в района оловно-цинкова руда.



Фиг. 1. Хвостохранилище „Ерма река“

2.1. Подготовка и реализация на измерванията

За да се гарантира необходимата детайлност и точност на сканирането се извършени някои предварителни рутинни действия:

- Съставен е план за оптимално позициониране на скенера, с цел цялостно „покрытие“ на обекта и преценка на риска от поява на „паразитен шум“ в облака от заснети точки;
- Поставяне и геодезическо привързване на контролни марки, осигуряващи възможност за георефериране на отделни „сканове“. Разположението на контролните марки е осъществено в съответствие с предварително разработен план, гарантиращ позиционирането им по всяка от трите координатни оси X,Y, Z.

В резултат на подробно предварително проучване е фиксиран окончателният брой станционирания на скенера, разпределени по бермите на стената и в непосредствена близост до обекта. За целта на геореферирането са избрани 6 контролни марки, разположени преимуществено по най-горната берма (берма № 5).

В качеството на единна геодезическа основам за района на обекта, е използвана точка от предварително създадена работна геодезическа основа (РГО). Позиционирането на марките е осъществено посредством GNSS-наблюдение, в реално време^[1,2].

В хода на измерванията е използван и допълнително монтиран върху скенера GNSS-приемник (Фиг. 2). Подобен подход създава предпоставки за свеждане до минимум броя на използваните контролни марки, правейки възможно „слепването“ на отделни записи от сканирането, без да е необходимо тяхното застъпване, т.е. прилагане на метода за директно георефериране.

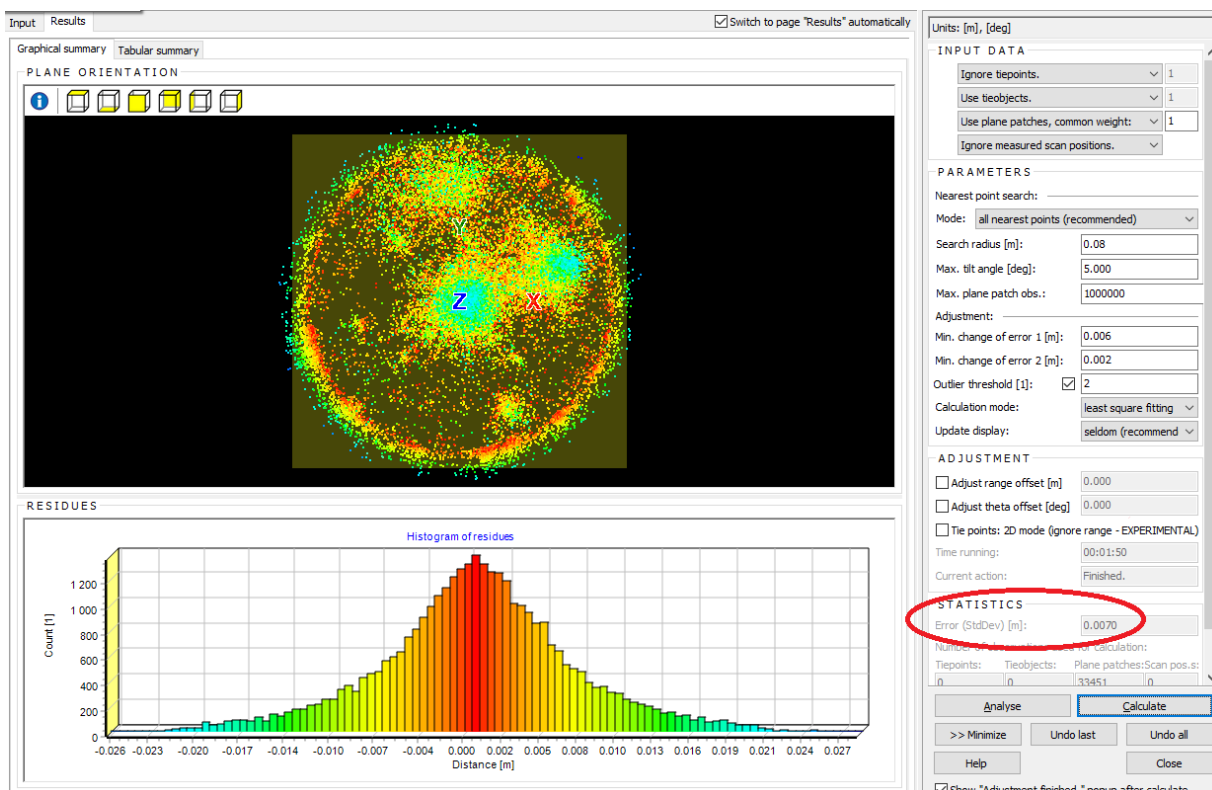


Фиг. 2. ГНСС приемник монтиран върху лазерен скенер

2.2. Обработка на резултатите от сканирането

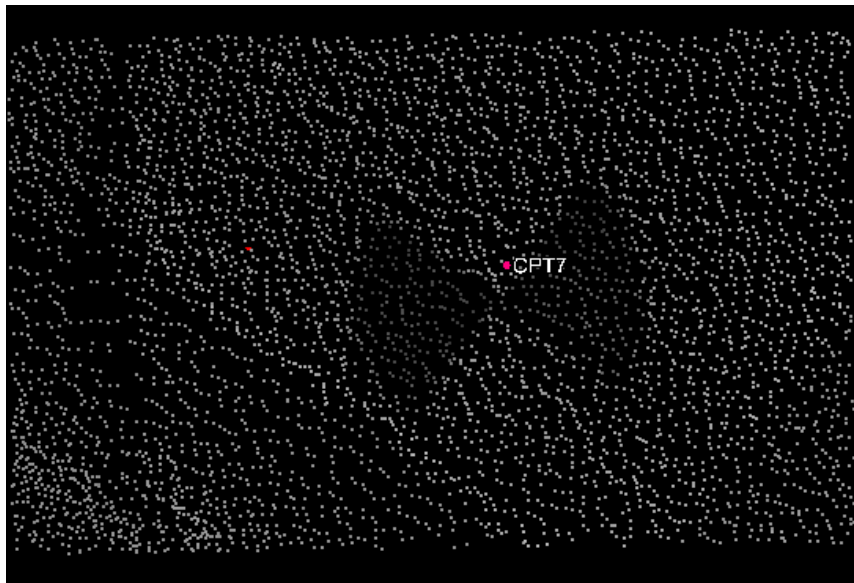
В началния етап от обработката, всеки отделен запис („скан“) е пространствено обособен в самостоятелна (локална) координатна система^[1,2,8]. В последствие, посредством конкретни функции на специализирания софтуер, всеки „скан“ се привързва към съседните си чрез кореспондиращи си повърхнини и данните, получени от допълнително монтирания GNSS-приемник. В случаите, когато автоматичното привързване се е оказало невъзможно, е осъществено ръчно привързване на сеседни „сканове“.

Окончателната точност на формирувания модел, след регистрацията му и изравнението му в единна, макар и локална, координатна система, е под 1 см (Фиг. 3).



Фиг. 3. Анализ след изравнението. СГК от 0.007м

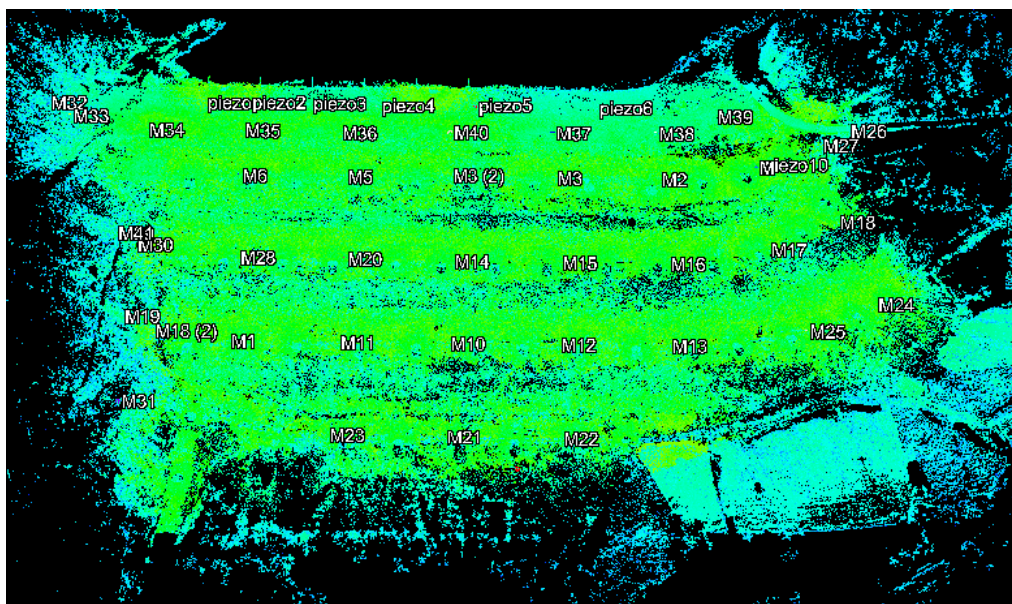
Геореферирането в единна координатна система („БГС 2005“) е реализирано чрез припознаване на контролните марки в облака от точки на базата на техните координати, определени чрез GNSS-измервания, в реално време (Фиг. 4).



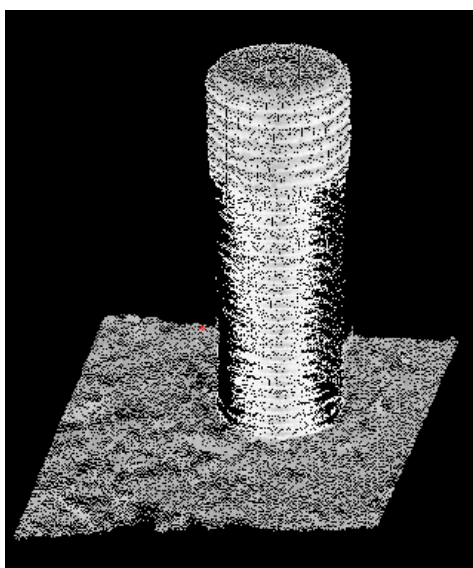
Фиг. 4. Припозната контролна марка

След автоматично и ръчно филтриране^[2,7] на първичната информация („отстраняване“ на растителност, незначими обекти), окончателният модел е формиран от 128 млн. подробни точки.

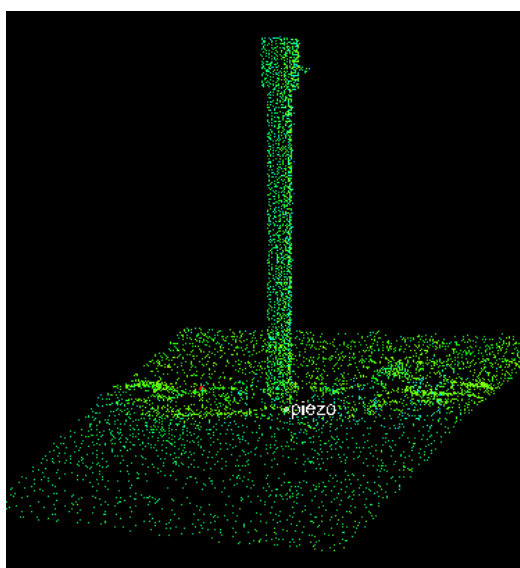
„Припознаването“ на елементите от контролно-измервателната система (КИС) и определянето на техните координати е осъществено автоматично и сравнително бързо, благодарение на предварително „изчистения“ 3D модел на стената (Фиг. 5). Идентифицирани са 30 броя наблюдателни марки, 25 броя пиезометри (Фиг. 7), праг на филтрация и преливник. Позиционирането на стълбовете, с устройства за принудително центриране (Фиг. 6) за следене на „хоризонтални деформации“ се оказва времеемък процес, поради факта, че са стабилизирани в силно залесен район.



Фиг. 5. „Изчистен“ 3D модел на стената



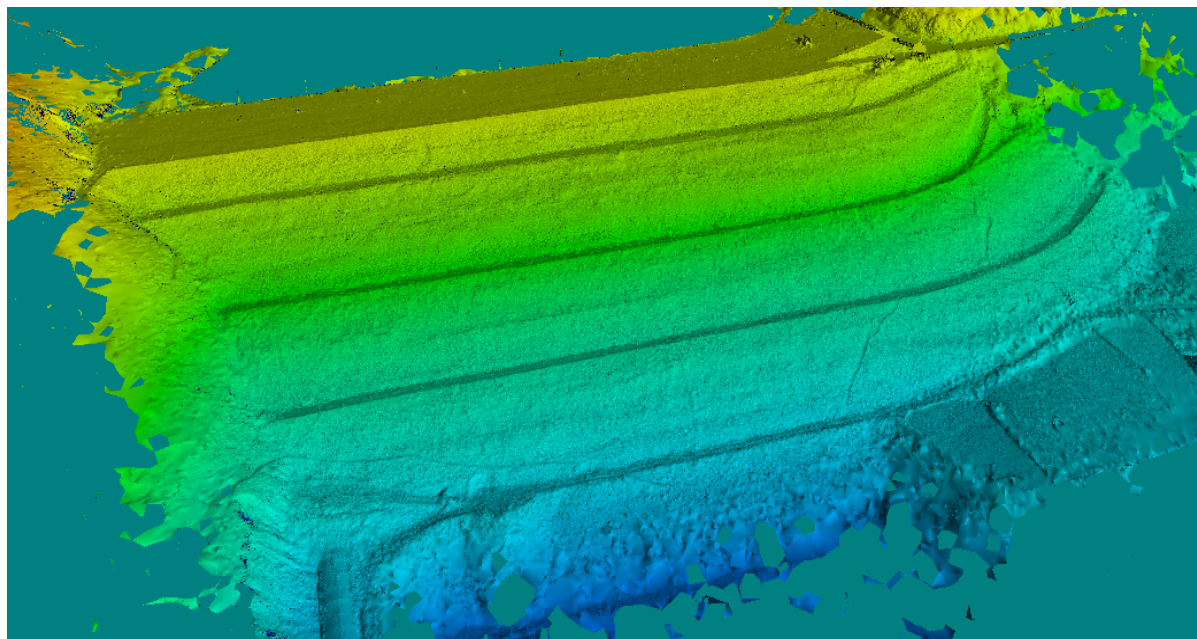
Фиг. 6. Стълбове за принудително центриране



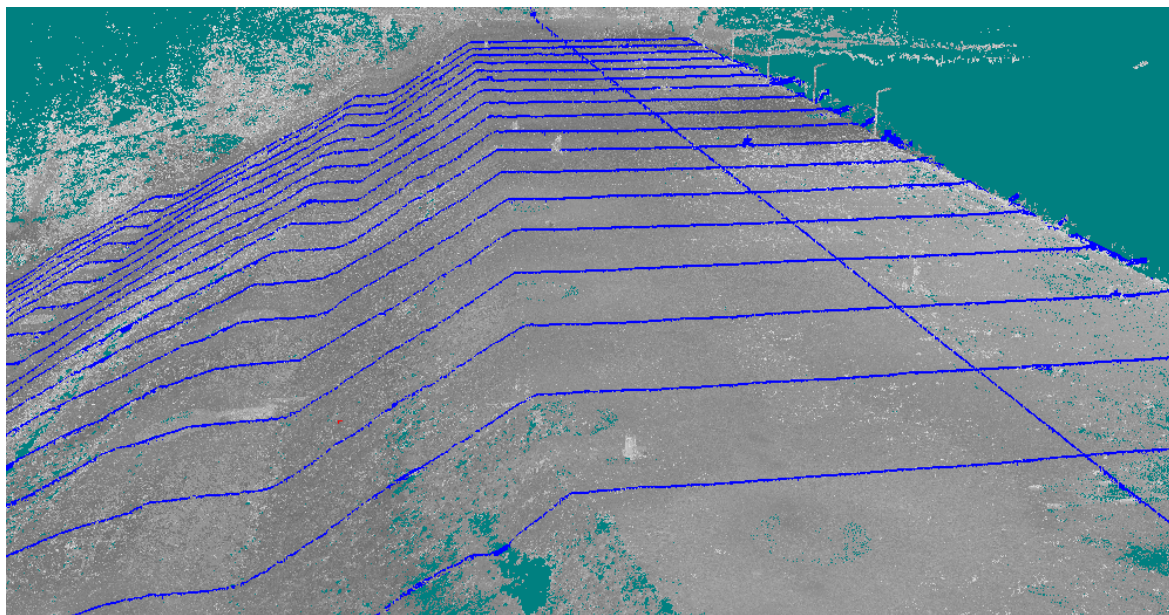
Фиг. 7. Пиезометър

3. Заключение

Създаденият, по описания начин, 3D цифров модел (Фиг.8) може да служи за основа (сравняван с бъдещи такива модели) да бъде осъществяван ефективен мониторинг на обрушването на ръбовете на бермите. Освен това, моделът позволява да бъдат генерирани и визуализирани характерни надлъжни и напречни профили на стената (Фиг. 9). При подходящо избран и обоснован период на преизмерване, технологията на наземното лазерно сканиране би могла да бъде източник на данни за деформационни процеси в „тялото“ на стената.



Фиг. 8. 3D цифров модел



Фиг. 9. Профил на стената

Литература

- [1] Господинов, С., Постоловски, А., Щерева, К. 2013. Технологии наземного лазерного сканирования – новые горизонты в области строительства и архитектуры, Международный научно-образовательный форум Бургас, Святой Влас, Болгария.
- [2] Stereva, K. 2020. Detection and measurement of cracks in rock massifs by means of ground laser scanning, 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS 2020, Prague, Czech Republic.
- [3] Господинов, С., Шайтура, С. 2016. Технологии лазерного сканирования в контроле деформаций, № 3 /13/ С 44 – 49.
- [4] Шайтура, С., Господинов, С., Васкина, М. 2020. Комплексная цифровая модель мониторинга района – В сборнике: Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях Сборник научных трудов Бургас, С 51–57.
- [5] Шайтура, С., Сумзина, Л., Розенберг, И., Винтова, Т. 2018. Моделирование и визуализация трехмерных пространственных объектов – Монография – Бургас.
- [6] Середович, В., Комиссаров, А., Комиссаров, Д., Широкова, Т. 2009. Наземное Лазерное сканирование.
- [7] Ямбаев, Х. 2011. Геодезическое инструментоведение.
- [8] Schulz, T. 2007. Calibration of a TLS for Engineering Geodesy.



АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В ИНЖЕНЕРНИ СЪОРЪЖЕНИЯ, СВЛАЧИЩА И ХВОСТОХРАНИЛИЩА

А. Ангелов¹

¹ Антонио Ангелов, доц. д-р инж., УАСГ-София, катедра „Приложна геодезия“, ГФ
София 1041, бул. "Христо Смирненски" № 1, angelov_fgs@uacg.bg; antonio_angelov@mail.bg

РЕЗЮМЕ

В докладът се разглеждат възможностите на съвременните към този момент технически средства за осъществяване на непрекъснат мониторинг върху деформационните процеси в инженерни съоръжения, свлачища и хвостохранилища, чрез използване на комбинация от периодични геодезически измервания, наблюдение в реално време и приложен софтуер.

Предлага се схема за комбинирано използване на тези средства, чрез прилагането на прецизни измервателни технологии, в т.ч.: роботизирани тотални станции, ГНСС, електронни наклономери и специализирани датчици.

Реализацията е базирана върху съществуващия световен опит в тази област и програмна система на автора, която позволява обработка, съхранение и визуализация на резултатите от деформационни процеси, при периодични геодезически измервания. Разгледани са възможностите за включване на допълнителни модули за управление на геодезически инструменти, позволяващи наблюдение на позицията на съоръжението или отделни негови сегменти в реално време.

Ключови думи: инженерна геодезия, деформации на инженерни съоръжения, свлачища и хвостохранилища.

Научна специалност: Обща, висша и приложна геодезия.

AUTOMATIC SYSTEMS FOR MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES IN ENGINEERING FACILITIES, LANDSLIDES AND TAIL-STORAGES

Antonio Angelov¹

¹ Antonio Angelov, Assoc. Prof. Dr. Eng, UACG - Sofia, Department of Applied Geodesy
Sofia 1041, Blvd. "Hr. Smirnenki" № 1, angelov_fgs@uacg.bg; antonio_angelov@mail.bg

ABSTRACT

This report examines the possibilities of modern technical resources for continuous monitoring of deformation processes in engineering facilities, landslides and tail-storages, using a combination of periodic geodetic measurements, real-time monitoring and application software.

A scheme for combined use of modern measuring technologies is offered, including: robotic total stations, GNSS, electronic inclinometers and specialized sensors.

The implementation is based on the existing world experience in this field and the author's software system, which allows processing, storage and visualization of results of deformation processes in periodic surveying. The possibilities for inclusion of additional modules for management of geodetic instruments, allowing monitoring of the position of the facility or its separate segments in real time are considered

Key words: Engineering geodesy; Deformations of engineering facilities, landslides and tail-storages.

Scientific area: Engineering geodesy.

1. Въведение

Изследването на деформационните процеси в инженерните съоръжения, както е известно, се осъществява чрез периодично наблюдение на поведението на определен брой контролни точки,



разположени на подходящо подбрани места. Практическата реализация на тези наблюдения се извършва най-често посредством прецизни геодезически измервания.

Обикновено, същността на геодезическите работи се състои в това, да се определи пространственото преместване на определен брой контролни точки, разположени по съоръжението, по отношение на тяхната първоначална позиция в предварително установена координатна система.

Сравнението на резултатите от отделните измервания позволява да се изведе, в подходяща числена и графична форма: *големината, посоката и скоростта на настъпилите деформации*.

При определени технически съоръжения е особено важно проектната им позиция да не се променя чувствително във всеки един момент от тяхната експлоатация. Такива съоръжения се явяват и всички видове подпорни стени на язовири и хвостохранилища, при които всяко по-съществено отклонение може да доведе до опасни конструктивни изменения с понякога и катастрофални последици.

Този факт, предполага необходимост от наблюдение на подобен тип съоръжения и в реално време, с оглед осигуряването на възможност за навременна реакция на техническият персонал. Извършват се и други специални измервания, като: наблюдение на физическата структура на съоръжението, метеорологични измервания, почвени анализи и други.

За тази цел е необходимо да бъде направена правилна оценка на точността на отделните методи и анализ на възможностите за практическо им приложение.

В докладът ще бъде обърнато по-специално внимание на съвременните методи, приложими при изследване на деформации на хвостохранилища и свлачищни процеси.

Обръща се внимание и на възможностите за комплексно решение на тази задача, чрез прилагане на наблюдателна система - съвкупност от сензори (*геодезически инструменти, ГНСС, специализирани сензори*), модули за трансфер и обработка на данните, Релационна База Данни и модули за визуализация.

2. Обосновка на точността и периодичност на измерванията.

В специализираната литература са развити няколко различни подхода за определяне на точността, с които следва да се извършват геодезическите измервания при изследване на деформации. Един от подходите [3] е да се използва критерият на минималната деформация ($d_{\min}$), която може да се регистрира със стойност по-голяма от средната квадратна грешка на измерванията.

В друг от широко разпространените подходи се използва критичната за изследваното съоръжение деформация [7], максимално допустима стойност при която съоръжението може да се експлоатира. Първата група методи се характеризира със затихване на деформациите, а втората с критични стойности, които рядко се проявяват в експлоатацията на съоръжението.

Практически подход за обосновка на точността може да се предложи, чрез представяне на очакваните деформации, под формата на строителен допуск [5] (Δd).

$$\Delta d = \Delta d_{kp} - \Delta d_{\min} \approx \Delta_{kp} \quad (2.1)$$

$$m_{\Delta d} \leq \frac{\Delta d}{2t} \quad (2.2)$$

При равноточни измервания и тъй като деформациите в изследваната точка (k) се явяват разлики в преместванията между текущия (i) и началния цикъл (0), т.е. $\Delta d = d_k^i - d_k^0$, следва

$$m_{\Delta d} = m_d \sqrt{2} \quad (2.3)$$

където (m_d) е средната квадратна грешка в отделното измерване, от (2.2) и (2.3) следва



$$m_d \leq \frac{\Delta d}{2\sqrt{2t}} \approx \frac{\Delta_{kp}}{2\sqrt{2t}} \quad (2.4)$$

където t е нормиращ коефициент, който зависи от приетата доверителна вероятност p ($t=3$ при $p=99.7\%$ и $t=2$ при $p=94.5\%$)

Получената по-горе формула е в сила както за вертикални (ΔH), така и за хоризонтални деформации (ΔQ).

Например, при стойност за $t=2$ се получава $m_H \leq 0.18\Delta H_{kp}$ а за $t=3$ имаме $m_H \leq 0.12\Delta H_{kp}$, което е доста близо до приетите в земната механика зависимости [5]:

$$m_H \leq 0.1\Delta H_{kp} ; \quad m_V \leq 0.1V \quad (2.5)$$

Тъй като по (2.5) обикновено се получават големи стойности за средната квадратна грешка (m_H) поради големите стойности за (ΔH_{kp}), а при използване на ΔH_{min} се получават практически недостижими малки стойности, за m_H е препоръчително да се използва стойността на относителната деформация между два съседни цикъл на измерване.

Понеже за първият цикъл от измервания не е известна тази стойност, може да се използва една средна стойност ΔH_{cp} за период Δt , за който е предвидено в проекта че е възможно да се прояви. При определяне на деформациите на технически съоръжения от *земно-насипен тип*, чрез използване на геометрична нивелация, в съществуващите нормативни документи [10], [11] е прието че критичните деформации са от порядъка на $\geq 10\text{см}$. за различните типове конструкции.

Като се допусне предпоставката, че в процеса на строителство на стената на *хвостохранилището* – обикновено земно-насипна (~ 1 година) се регистрират приблизително 60-80% от деформациите и в този период измерванията следва да се извършват на всеки ~ 3 месеца, следва че е необходимо да се реализират приблизително 4 цикъла измервания с $\Delta H_{cp} = 20 - 25\text{mm}$.

В този случай по (2.4) се получават следните стойности за средните квадратни грешки (СКГ) на реперите:

$$m_H = 3 - 5\text{mm} \quad (\text{при } t=2) \quad \text{и} \quad m_H = 2 - 3\text{mm} \quad (\text{при } t=3) \quad (2.6)$$

Същата предпоставка би следвало да се използва и при обосновката на точността на **плановите координати** на наблюдаваните точки, разположени по стената на съоръжението. Като тук обикновено изискваната точност е с *до един порядък* по-ниска.

Честотата на извършване на измерванията е най-трудно да се определи в първите няколко цикъла, които обикновено са в процеса на строителство. В този период, характерът на деформациите все още не е известен, а освен това както беше споменато, тогава се реализират около 60-80% от тяхната стойност. В този период е нормално честотата на измервания да е по-висока, а в процеса на експлоатация, когато деформациите затихват, да е по-ниска. Най-често периодичността на измерванията се извежда на основание предварително прогнозиране на деформациите, чрез спазване на принципът за съответствие на честотата на измерванията с интензивността на деформационния процес [3], [5], [7], [10].

3. Съвременни геодезически методи с възможност за автоматизация на наблюдателния процес при изследване на деформации на язовирни стени и хвостохранилища.

Накратко, ще бъдат разгледани някои от приложимите геодезически методи, като ще се обърне внимание само на тези, които позволяват автоматизация на процеса и отдалечен контрол, и управление, чрез използване на *роботизирани тотални станции, ГНСС (Глобална Навигационна Сателитна Система); електронни датчици*, в т.ч. наклономери, видеоконтролери и подобни.



3.1. Тригонометричен метод;

Методът, както е известно, се изразява в непосредственото координиране на определен брой предварително стабилизирани и сигнализирани контролни марки (KM) разположени по протежение на съоръжението – напр. стената на хвосотохранилището. Най-често това се постига чрез прави ъглово-дължинни засечки от две или повече изходни геодезически точки ($ИТ$) посредством измерване на хоризонтални посоки, наклонени (хоризонтални) разстояния и вертикални (зенитни) ъгли към контролната марка.

Хоризонталните премествания на всяка контролна марка (KM_i) се изразяват, като разлика в позицията ѝ, изразена чрез нейните координатите, спрямо началната позиция (KM_0)

$$\begin{aligned}\delta^i_x &= X_i - X_0 \\ \delta^i_y &= Y_i - Y_0\end{aligned}\quad (3.1)$$

като резултат, се извежда векторът на преместване на всяка KM по формулите:

$$\begin{aligned}Q^i &= \sqrt{(\delta^i_x)^2 + (\delta^i_y)^2}; \\ \alpha^i &= \arctg \frac{\delta^i_y}{\delta^i_x}\end{aligned}\quad (3.2)$$

Получените отклонения ($\delta^i_x, \delta^i_y, Q^i$) и посочен ъгъл (α^i), обикновено се представят спрямо въведена *локална координатна система* за съответния обект.

С цел повишаване и контрол на точността, координатите на KM е по-подходящо да се определят, чрез използване на многократна права ъглова засечка, при което най-голямо влияние върху грешката m_Q , с която се определя търсеното преместване Q_j , оказва грешката m_β с която се измерват прилежащите ъгли на засечките - β_i .

Средната квадратна грешка (СКГ) в положението на една контролна марка $KM_j (m_j)$ определена с права ъглова засечка може да се изведе по съкратената форм.3.3, при условие, че прилежащите ъгли и разстоянията (S) до точката са приблизително равни:

$$m_j = \frac{m_{\beta_i}}{\rho} \cdot \frac{S \cdot \sqrt{2}}{\sin^2 2\beta} \quad (3.3)$$

като е видно, че най-голямо влияние върху точността оказва прецизността на измерване на прилежащите ъгли на засечките β_i , както и нейната геометрична определеност - *ъгъл при засичаната точка близък до $100^{grad} (90^\circ)$* .

Пример (1). От горното условие, и като се има в предвид и формула (2.3) следва, че за да се определи Q_j с грешка $m_Q \approx 10-15$ мм., при стойности за $\beta (50^\circ - 70^\circ)$, $S (400\text{м} - 600\text{м})$ и $b (500-700\text{м}, \text{ базисно } p\text{-е } m/y \text{ изходните точки})$, е необходимо прилежащите ъгли β да бъдат измерени с грешка $m_\beta \leq 15\text{cc} \div 20\text{cc}$. Получените по-горе стойности определят и избора на инструменти, които в случая трябва да отговарят на условието за грешка на измерена посока $m_r \leq 10^{cc} \div 15^{cc}$.

В днешно време е по-удачно да се използват **комбинирани ъглово-линейни засечки**, с оглед на широко достъпните далекомерни инструменти с висока точност на измереното разстояние - $m_s \leq 2 \div 3 \text{ mm}$. В този случай, освен контрол върху ъгловите измервания, допълнителните прецизни, дължинни измервания биха повишили точността с до 20-30 %.

При използване на **многократни ъглово-дължинни засечки** предварителната оценка на точността в геодезическата мрежа и съответно в контролираните точки, би следвало да се извърши по строги методи, чрез извеждане на тежестната матрица и изчисляване на СКГ по МНМК или друг, подходящ математически модел.

Когато са реализирани измервания в три дименсии или *определени пространствени координати* на контролните точки е налице възможност за определяне и на *вертикалните*



деформации на контролните точки. Като при този тип съоръжения – *земно-насипни стени на хвостохранилища* методът, *при определени обстоятелства*, би удовлетворил изискванията за точност, разписани при обосновката на точността по-горе (т.2) и приведен към допуските за земно-насипни стени [10], [11].

А именно, използваният в случая метод на *тригонометричната нивелация*.

Точността на определените коти по този метод, както е известно зависи от точността на измерените зенитни (вертикални) ъгли, разстоянието и допълнителни фактори като кривина на земята, и атмосферна рефракция. Поради факта, че в тези случаи се използват устройства за принудително центриране на инструменти и сигнали, грешките от измерването на техните височини се елиминират, като не оказват влияние върху сумарната грешка, която зависи само от точността на измереното превишение. Предварителна оценка на точността на определените по този начин превишения и съответно вертикални деформации (ΔH) може да се направи следвайки параметрите от пример (1).

Пример (2). При разстояния S (400м – 600м) до наблюдаваната точка и при изисквания за определяне на котите на реперите с грешка $m_H \leq 10$ мм. и следвайки зависимостите за определяне на СКГ на превишенията, които са функция на разстояние и зенитния (вертикален) ъгъл [3], [10] биха се получили допустими стойности за СКГ на измерения зенитен ъгъл $m_Z \leq 10\text{с} \div 15\text{с}$, като в случая трябва да се вземат предвид и споменатите по-горе фактори влияещи на точността – атмосферна рефракция и кривина на земята.

Определянето на котите на реперите в отделните цикли би могло да се извърши разбира се и чрез методът на *прецизната геометрична нивелация*, при земно-насипни стени-Нивелация II клас [10]. В този случай обаче, трябва да се взема в предид и спецификата на някои съоръжения, особено на хвостохранилища от типа на *сгуроотвали; насипища с материали от рудници и минни отлагания, като и такива с големи по обем земни маси*.

Тук, върху точността на измерените превишения е възможно да оказват съществено влияние и фактори, като: *отклонение на отвесната линия* - поради магнитни аномалии и/или неравномерно разпределени земни маси; *дълги нивелачни ходове и/или стръмни откоси*, предполагащи голям брой станционирания на нивелира и т.н.

При наличие на горните обстоятелства биха се наложили и съответните *гравиметрични измервания* за определяне на геопотенциалните коти [4] и евентуално преминаване към динамична височинна система.

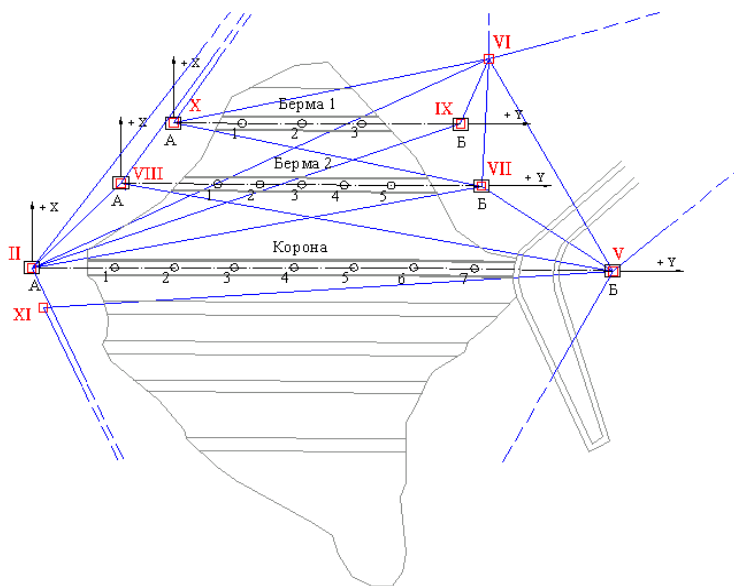
Сумарното влияние на грешките описани по-горе както и икономическа целесъобразност, в резултат на допълнителните измервания и загуба на време, биха затруднили прилагането на метода на геометричната нивелация.

Налага се изводът, че при такъв тип съоръжения е по-удачно използването на методът на тригонометричната нивелация за прякото контролиране на наблюдаваните точки (*при спазване на споменатите по-горе допустими точности*). Същевременно, този метод може лесно да се автоматизира и да се използва комплексно с определянето на хоризонталните деформации. А прецизната геометрична нивелация, да се използва като метод за периодичен контрол на изходните репери и налагането на съответните корекции (*по смисъл и принцип, описан по-долу в т.3.2 – устойчивост на изходните точки и репери*).

3.2. Створен метод;

Както е добре известно *створният метод* се характеризира със система от действия, посредством които се определят хоризонталните премествания на контролираните точки по отношение на една права линия, дефинираща створа. Този метод има много добро приложение при изследване на деформации на прави язовирни стени и хвостохранилища.

За практическото приложение на створния метод са възможни различни схеми [3],[5], в зависимост от местоположението на контролираните и изходните точки, както и дължината на створната линия. Обикновено, крайните точки на створа се включват в триангулационната мрежа на обекта, чрез която следва да се контролира тяхното неизменно положение във времето (фиг.3.1).



фиг. 3.1

Изборът на схема, в крайна сметка зависи от специфичните условия на изследвания обект, като точността, която може да се постигне чрез използване на створни методи е от порядъка на **0,5 – 5 мм.**, като зависи най-вече от точността на измерените хоризонтални ъгли, разстоянията до контролната марка, а също и други фактори. Обикновено се предпочита да се използва схемата на пълния створ с метод на неподвижна сигналната марка, позволяващ и **най-лесна автоматизация на процеса**. Отклоненията в този случай се определят посредством измерването на малкия (паралактичен) ъгъл γ и разстоянието S_1 (фиг.4.2).

$$\delta = S_1 \cdot tg(\gamma) \quad (3.4)$$

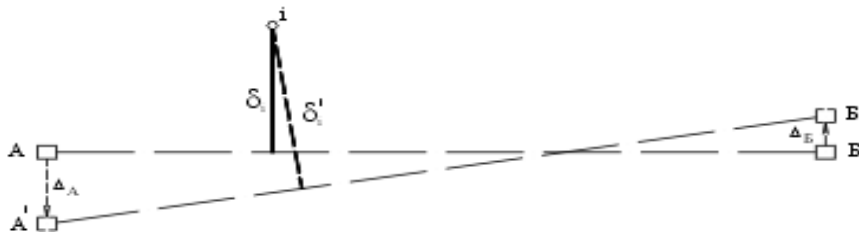
Тъй като ъгълът γ обикновено има малка стойност, хоризонталните премествания от створа δ могат да се определят и по формулата:

$$\delta = S_1 \cdot \frac{\gamma^{cc}}{\rho^{cc}} \quad (3.5)$$

Малките ъгли γ се измерват по начина за измерване на отделни ъгли или по гирусния метод.

При големи разстояния може да се използва и методът на обратната биполярна засечка. Отклоненията δ се изчисляват посредством пряко измерване на ъгълът β при контролираната точка, както и разстоянията S_1 и S_2 до изходните точки. С цел да се повиши точността, разгледаният метод може да се приложи като двойна биполярна засечка. Точността при този подход се повишава с $\sqrt{2}$ пъти в сравнение с единичната засечка и достига около 0.3 мм. Този метод обаче е по-трудоемък и ресурсно уязвим за прилагане в масовите случаи, а така също и трудно реализуем при автоматизация на процеса на наблюдения.

Характерна особеност при използването на створният метод е, че той дава добри резултати и реална оценка на преместванията на изследваните точки само при условие, че определящите створа крайни точки имат неизменна стабилна позиция, по време на всяко следващо измерване. В случай, че тези точки се намират в зоната на деформации на обекта и променят своята позиция повече от допустимото, то големината на това изместване (фиг.3.2) трябва да се определя преди всеки цикъл от створни измервания, и да се нанасят съответните корекции. В специализираната литература този въпрос се разглежда като процес по *изследване на устойчивостта на изходните точки* [3],[5].



фиг.3.2

При наличие на изместване на изходните точки - ΔA и ΔB (фиг.3.2), реално се определят преместванията на точките спрямо измествения створ ($A' - B'$) - $\delta i'$.

За да се премине към пълните премествания - δi спрямо първоначалното положение на створа ($A - B$) се използва следната зависимост:

$$\delta_i = \delta_i' + \frac{\Delta_A}{S_{AB}} \cdot S_{Bi} + \frac{\Delta_B}{S_{AB}} \cdot S_{Ai} \quad (3.6)$$

Горната зависимост се използва за коригиране на измерените премествания $\delta i'$ винаги когато изместванията на изходните точки преминават определена допустима стойност. Тази допустима стойност е в пряка зависимост от минималната деформация - $\delta_{\min}$, която е необходимо да бъде регистрирана, съгласно техническото задание:

$$\Delta_A, \Delta_B \leq \frac{\delta_{\min}}{2} \quad (3.7)$$

При условие, че неравенство (3.7) не е изпълнено, то измерените деформации на точките от створа **следва да се коригират по формула** (3.6).

3.3. ГНСС

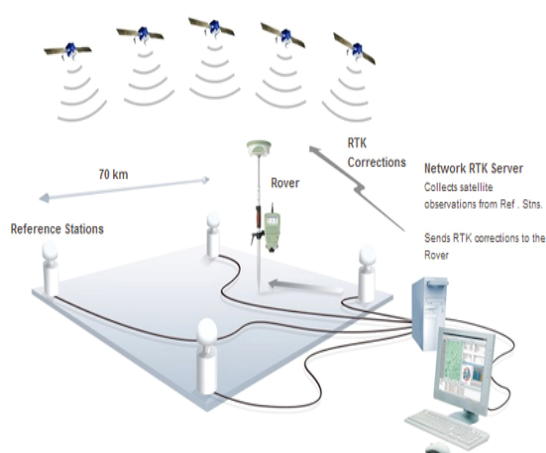
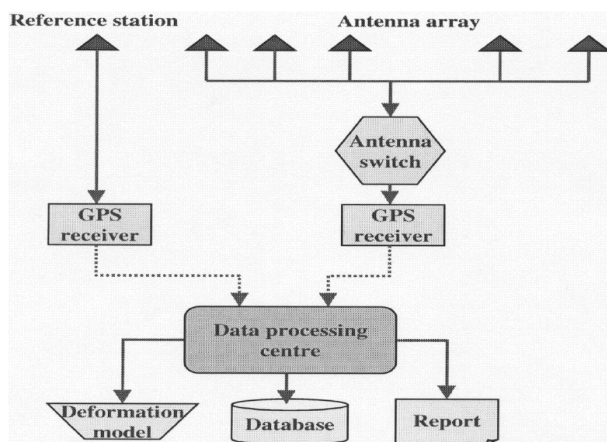
Глобалните навигационни сателитни системи - ГНСС в т.ч. GPS, GLONASS и други подобни, благодарение на своята висока точност, скорост и надеждност в позициониране, могат с успех да се използват както при стандартни геодезически измервания, така и за наблюдение на деформационни процеси и сеизмологични проучвания. От гледна точка на очевидните им предимства по отношение на точност и практичност, в наши дни ГНСС се прилага успешно за определяне както на много бавни движения на структури, а така също и за изследване на наблюдението на регулярни деформационни процеси, както например и в случаите на: премествания и слягания на различни инженерни съоръжения; на язовирни стени и стени на хвостохранилища; свлачища.

В геодезическата практика се използват най-често т.н. диференциални измервания, които се прилагат чрез обработка на данните от две или повече приемни антени в една и съща епоха и чрез използването на няколко основни подхода – статични, в реално време, смесени [6], в зависимост от изискуемата точност.

В случаите, когато се използват за изследване на деформации, както беше разписано по-горе (т.2) - постигнатите точности в позицията на контролираните точки следва да са в сантиметров, а при определени обстоятелства и в милиметров порядък.

От направеният по-горе преглед се налага изводът, че при изследване на деформационни процеси при язовирни стени и хвостохранилища е удачно използването на ГНСС **в комбинация с разгледаните геодезически методи или самостоятелно**. Направените практически и теоретични изследвания в световен мащаб за използване на ГНСС технология [8],[11] се основават най-често на показаната по-долу схема (и) (фиг.3.2.а), чрез използване на една или повече референтни станции

извън изследваното съоръжение и необходимият брой приемни антени в подходящо подбрани наблюдавани точки по самото съоръжение.



фиг.3.2. а, б - Leica Geosystems AG, GNSS monitoring system

Система, базирана на ГНСС, позволява измерване както чрез последваща обработка (*Post processing*), така и в режим на реално време (*Real time*), като се допълва от модемна конфигурация, разположена на обекта, в която постъпват данните от приемниците и постоянна мрежова връзка с изчислителния сървър. (фиг. 3.2 . б).

Максималната точност (СКГ) **в плановото положение на контролираните точки (M_p)**, която може да се осигури чрез този технологичен подход, според практически изследвания е както следва:

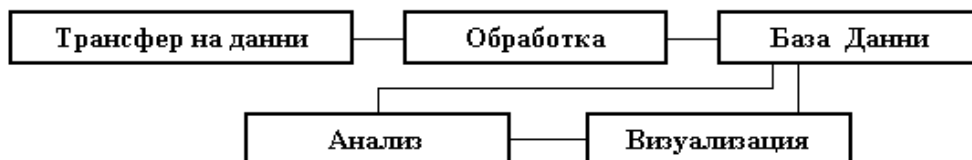
- при режим на измерване Static (2-20 минутни измервания)
в интервала : $3-5 \text{ мм.} \leq M_p \leq 15-20 \text{ мм.};$
- при режим на измерване Real Time (1,2 – 5 секундни измервания)
в интервала : $15-20 \text{ мм.} \leq M_p \leq 50-70 \text{ мм.}$

Точностите във височинно положение обикновено са в рамките на един порядък по-ниски.

При реализация на автоматизирана система за мониторинг, връзката с приемниците и/или допълнителните сензори и инструменти може да се осъществи, чрез локална мрежа, GPRS /Wi-Fi/ мобилен Internet. Към тази комуникационна мрежа обикновено се включват и всички допълнителни електронни сензори, в т.ч.: Наклономери; Видеоконтролери; Датчици за температура, водно ниво, налягане и т.н.

4. Автоматизирана система за мониторинг на язовирни стени и хвостохранилища .

Опирайки се на световният опит до този момент и като се имат в предвид някои разработки и публикации по този въпрос [1], [7], [8], [10] може да се каже, че най-доброто решение за обработка и съхранение на постъпващата информация е прилагането на релационен модел за организация на отделните масиви от данни. Чрез прилагане на принципите на този модел се изгражда т.н. релационна база данни (РБД), като нейното управление се осъществява от подходящи СУРБД - Системи за управление на релационни бази данни.

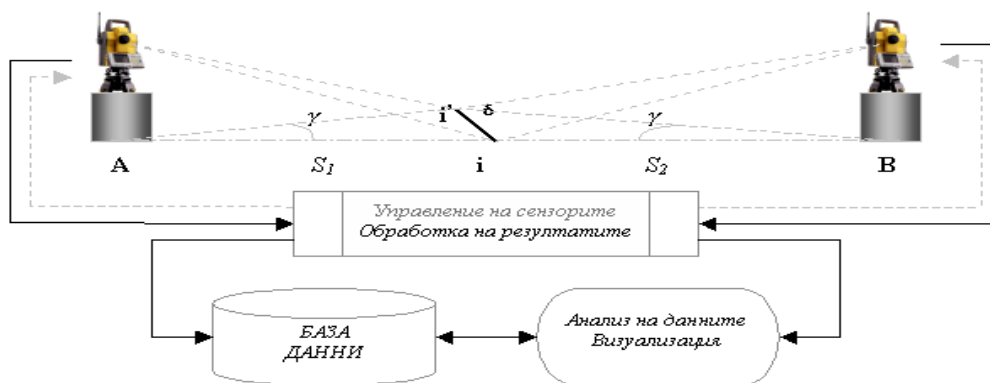


Фиг.4.1

Приложената по-горе схема представя взаимовръзките и начинът на обмен на информация между отделните модули на някои от разработените АСИД. Информацията в БД на системата постъпва чрез автоматичен или полуавтоматичен трансфер и обработка на данните получени, най-често чрез използване на стационарни датчици и сензори, в т.ч. и геодезически инструменти - конвенционални или моторизирани тотални станции, ГНСС, наклономери, видеоконтролери и т.н.

4.1. Мониторинг в реално време;

Автоматизацията на процеса на изследване на деформации, при този подход може да се види най-общо на показаната по-долу схема (фиг.4.2).



Фиг.4.2

В конкретният случай е разгледана схемата за наблюдение на оптичен створ, като същият принцип се прилага и при методът на малките ъгли, ъглово-линейни засечки и координатни определения. Чрез поставените в изходните точки на створа (А-В) инструменти - тотални геодезически станции (конвенционални или роботизирани) се измерват необходимите за този метод величини, за всяка контролирана точка i (γ_1, S_1 и γ_2, S_2), респективно от наблюдателен стълб (н.с.) А и н.с.В. Осреднената стойност (средно тежестно) на отклонението от створа δ_i за всяка наблюдавана точка i се изчислява и записва автоматично в БД на системата под съответния номер (цикъл) на измерване.

Съхранените в БД на системата данни, за хоризонталните премествания на всяка точка се използват от анализиращия модул при извеждане на необходимите за потребителя статистически данни, графични и таблични отчети във всеки един момент от наблюдението.

По подобен начин са организирани процедурите и при изследване на вертикални деформации, както и при определяне на наклоняване в наблюдаваната точка – направление и големина на векторът на наклона в зададена координатна система.

Чрез описаният по-горе принцип и структура (фиг.4.1) действа и разработената от автора система DeMES – Deformation Monitoring and Examination System (Система за наблюдение и изследване на деформации) [1],[2]. Системата е ориентирана преди всичко за изследване на деформации на инженерни съоръжения в т.ч. язовирни стени и хвостохранилища, високи сгради и технически съоръжения, свлачищни процеси и др. подобни.

Алгоритмите на обработка са разработени основно върху директните геодезически методи за наблюдение – оптичен створ, ъглово-дължинни засечки, координатни определения, тригонометрична и/или геометрична нивелация. Предвидена е възможност, чрез допълнителни модули за включване на данни от външни датчици : *ГНСС, наклономери, видеоконтролери и др.*

4.2. Обработка на данните и визуализация на резултатите .

Схемата на взаимодействие на основните модули в една автоматизирана наблюдателна система се основава на световният опит в това направление, както и на авторски алгоритми, като е реализирана практически по начина показан на фиг.4.3 , следвайки принципите от фиг. 4.1.



Фиг.4.3

Както е видно от представената по-горе схема, система реализирана по този начин предлага комбинация от периодични и перманентни наблюдения, като се осигурява възможност получените данни да се обработват и в реално време.

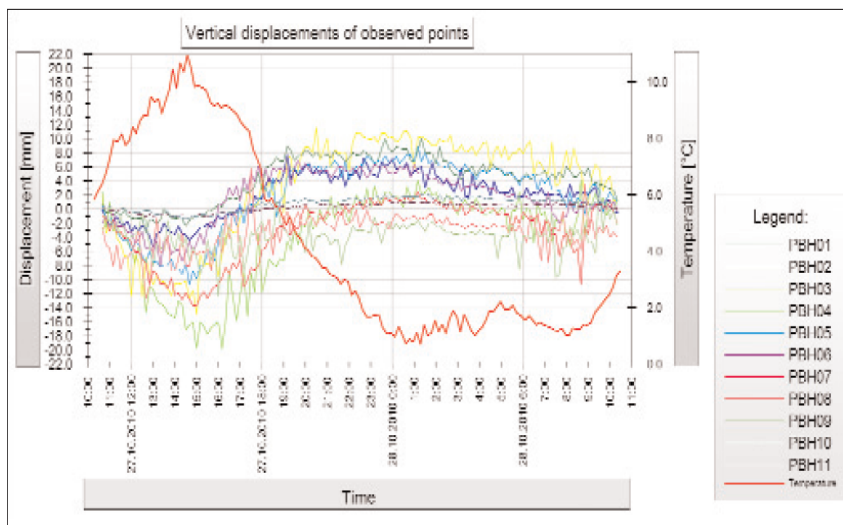
За обработка на резултатите - вертикални и хоризонтални премествания на репери и марки, може да се използват както съществуващи софтуерни продукти [8]-фиг.4.4 , [9], така и **авторска програмна система** [1] – фиг.4.5 или базирани на подобни принципи специализирана система за мониторинг на изследваният обект и/или съоръжение.

Представяне на резултатите:

- Потъване/издигане на основната равнина/повърхнина на съоръжението, сравнение между отделните измервания и спрямо проектното геометрично състояние;
- Хоризонтални премествания на изследваното съоръжение или на отделни негови сектори;
- Въвеждане на корекции за настъпилите изменения в позицията на изходните точки и автоматично редуциране на резултатите към първоначалното (нулево) измерване;
- Отчети и графики по стандартни или специализирани шаблони.

Примерните начини за визуализация на деформациите в инженерни съоръжения, чрез проследяване на преместванията на контролните точки в отделните измервания са илюстрирани в извадки от цитираните по-горе автоматизирани системи, представени в следващите фигури:

- Мониторингова система за изследване на деформации "GeoMoS", разработка на *Leica Geosystems AG*. На *фиг .4.4 а,б* са показани визуализиращ модул и начини за инсталиране на геодезическите инструменти (*тотални с-я и ГНСС антена*) в наблюдателните стълбове.

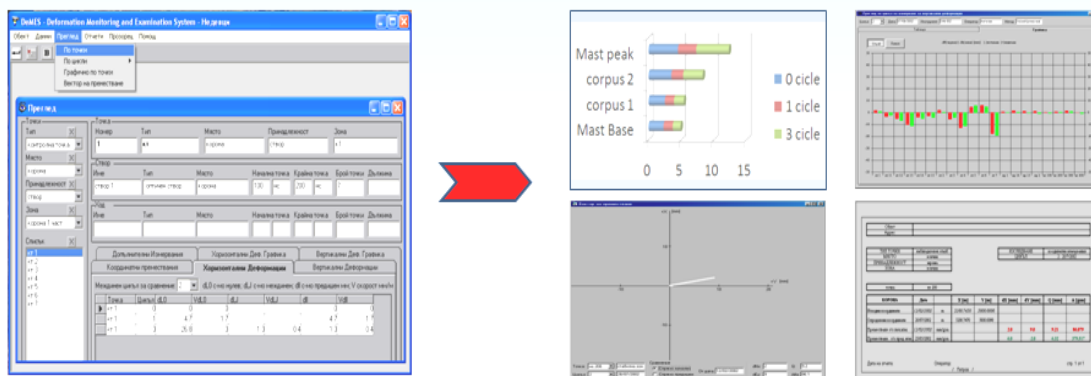


Фиг.4.4, а (визуализиращ модул)



(б) ТС, ГНСС антена

- **DeMeS** – авторска програмна система за изследване на деформации на инженерни съоръжения (Ангелов. А), фиг .4.5.



Фиг.4.5.Обработващ и визуализиращи модули.

Визуализацията на регистрираните деформации се основава на принципите на динамично обвързването с БД на обекта, разнообразни графични и таблични форми. За съхранение на данните от отделните наблюдения се използват ресурсите на релационна база данни, а връзката с визуализиращите форми се осъществява чрез специално изградени вътрешно-програмни процедури, формуляри и отчети. Деформационните процеси биха могли да се визуализират и в реално време, чрез подходящи графики и отчети, като всички данни се съхраняват в системата база данни.

Предложената система, чрез някои нейни модули, е практически тествана от автора при обработка на данните и визуализацията на деформациите процеси на телекомуникационни мачти/кули и изворирни стени .

5. Заключение - изводи и препоръки.

В заключение може да се обобщи, че в днешно време наблюдението на деформационните процеси в инженерни съоръжения, включително и хвостохранилища, трябва да се извършва като се използват възможностите на съвременните технологии. С внедряването на автоматизирани системи,



мониторинговата дейност би се извършвала много по-бързо, с достоверни резултати и не на последно място - с възможност за отдалечен контрол и управление. В процеса на изграждане на такива системи за наблюдение обаче, трябва да се следват научно признатите принципи в тази област, както и добрата световна практика. В тази връзка, основните изисквания, които би трябвало да се спазват при реализацията на автоматизирани системи за наблюдение може обобщено да се групират, както следва:

- Икономическа обосновка и избор на технологичен подход – периодични, динамични или наблюдения от смесен тип, чрез реализиране на съответната система за наблюдение (автоматична, полу-автоматична, с последваща обработка).
- Технически изисквания за използваните геодезически методи, в т.ч.: проектиране и предварителна оценка на точността на геодезическите мрежи за извършване на мониторинг; схема на разположение на инструменти и сигнали; контролни измервания от мин 2/две/наблюдателни станции; изследване на устойчивостта на изходните точки и реperi и др. ;
- Правилно структуриране на програмните модули за връзка с инструменти и сензори, обработка на данните и визуализация на резултатите.

Неспазването на посочените по-горе условия и най-вече на техническите изисквания за допуски и точности, част от които бяха засегнати в настоящия доклад, би довело до недостоверни резултати и изкривяване на картината за протичащите деформационни процеси в изследваното съоръжение. Правилно реализираният мониторингов процес, с подходящо подбрани методи, схеми и точности са гаранция за надеждно управление и оценка на сигурността на язовирните стени и стените на хвостохранилища при тяхната експлоатация.

Благодарности за оказаното съдействие и консултация, при съставянето на настоящия доклад към **инж. Иван Деянов**, асистент в катедра „Висша геодезия“, Геодезически факултет на УАСГ !

Литература

- [1] Ангелов, А. Изграждане на оптимизационен модел, база данни и софтуер за обработка, управление и анализ на геодезическите данни при изследване на деформации на язовирни стени. София. Дисертация, 2005.
- [2] Ангелов А., „Геодезически методи за изследване на деформационни процеси при високи сгради и инженерни съоръжения“. Монография, ISBN 978-619-90832-1-5, 2017г.
- [3] Димитров, Д. Инженерна геодезия. София. Техника, 1989.
- [4] Ламбева, Т. Трансформация между геопотенциални коти и нормални височини при прецизни височинни определения, Годишник на УАСГ, брой 2, том 54, 2021, София, стр.219-228.
- [5] Пенев, П. Геодезически мрежи и методи за определяне на деформации на инженерни съоръжения. София. Дисертация, 1981.
- [6] Хофман-Валенхов, Б., Лихтенегер, Н., Колинс, Дж. GPS. Теория и практика, София. УАСГ, 2002.
- [7] Левчук, Г.П., Новак, В.Е., Лебедев, Н.Н. Прикладная геодезия. Москва. Недра, 1981.
- [8] Karl Sippel (2001). "Modern Monitoring System software development". Leica Geosystems AG.
- [9] James Lutes, Adam Chrzanowski, Geoffrey Bastin and Cecilia Whitaker. (2001). "DIMONS – Software for automatic data collection and automatic deformation analysis"
- [10] Инструкция за изследване на деформации на сгради и инженерни съоръжения. София. ГУГК, 1980г.
- [11] Structural Deformation Surveying. US Army Corps of Engineers, Department of Army. Washington, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-1009, 1 June 2002.



ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА ИЗЗЕТОТО ПРОСТРАНСТВО В КАРИЕРА ЗА ИНЕРТНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ ДЕПОНИРАНЕ НА АЗБЕСТОВИ ОТПАДЪЦИ

маг. инж. Делчо Кръстев*, проф. д-р Ивайло Копрев**, доц. д-р Евгения Александрова***,
ас. инж. Димитър Кайков****

* "Мини Марица-изток" ЕАД, e-mail: krastewdelcho@gmail.com

** Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, email: ivokoprev@gmail.com

*** Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, email: e.aleksandrova@mgu.bg

**** Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, email: dimitar.kaykov@mgu.bg

POSSIBILITIES FOR UTILIZING THE WORK AREA OF AN EXCAVATED QUARRY FOR DUMPING WASTE CONTAINING ASBESTOS

M. Eng, Delcho Krastev *, prof., PhD, Ivaylo Koprev**, assoc. prof, PhD, Evgeniya Aleksandrova***,
assist, prof. Dimitar Kaykov****

*Mini Maritsa Iztok EAD, e-mail: krastewdelcho@gmail.com

** University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", email: ivokoprev@gmail.com

*** University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", email: e.aleksandrova@mgu.bg

**** University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", email: dimitar.kaykov@mgu.bg

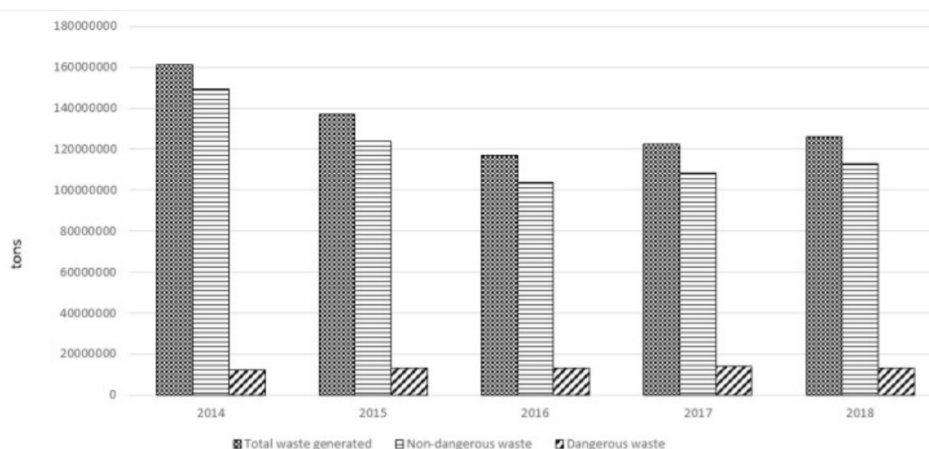
ABSTRACT

The problem of asbestos containing waste dumping is treated in this article. The scale of the problem is described on a national and international scale. A solution is proposed for using small mining sites or quarries, which are no longer exploited, for the purpose of asbestos waste dumping. The technology is similar to the one of building an integrated mine waste facility, with the only difference that instead of tailing material, the asbestos waste is used for filling the cells. The proposed solution serves as an argument that even a small quarry is able to accommodate the potential waste from the asbestos cement pipes used for supplying a medium sized city on a national scale for Bulgaria.

Съвременни технологии за депониране и съхранение на техногенни отпадъци

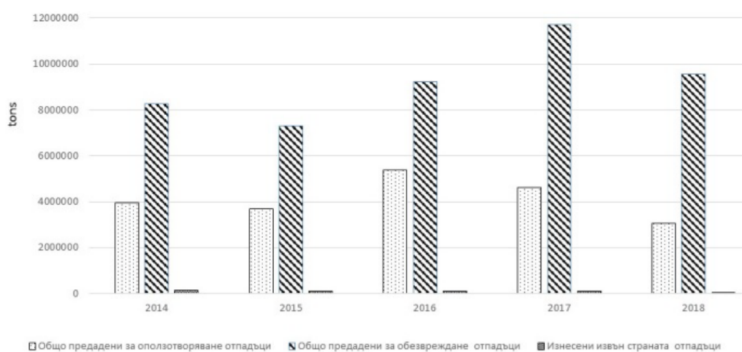
Съвременното общество генерира и голямо количество битови и техногенни отпадъци, като номерирането на безопасен и ефикасен начин за тяхното безопасно и екологосъобразно съхранение и третиране става все по-голям проблем. Европейският съюз иска да насърчи предотвратяването на създаване на отпадъци и повторното използване на продуктите [8]. Там където това не е възможно, предпочитаната алтернатива е рециклиране и компостиране, а след това използването на отпадъците за производство на енергия. Немалко са примерите и за това обществото непосредствено да получава добавен продукт от отпадъците си. Въпреки това, степента на усвояване и използване на техногенните съоръжения като източник за минерални суровини остава засега твърде ниска. В зависимост от вида на съоръженията те са разпределени както следва: хвостохранилища, външни и вътрешни насипища, депа за безрудна минна маса, утайтели за гелообразни утайки, подземни съоръжения, комбинирани съоръжения за съхранение на отпадъци.

По данни от Националния статистически институт, за периода 2014 – 2018 г. общото количество на генерираните отпадъци в България е 663,6 млн. t или средногодишно 132,8 млн. t [10]. Относителният дял на неопасните отпадъци за посочения период е в интервала 88,5 – 92,5%, съгласно списъка на отпадъците в Регламент (ЕО) № 2150/2002, а останалите се отнасят към опасните отпадъци [1], [7].



Фиг. 1. Общо количество генерирани отпадъци в България за периода 2014-2018 г.

Представените на фиг. 1 резултати показват, че през последните три години от изследвания период, общото количество на генерираните отпадъци се изменя незначително от 3,03% до 4,27% [10]. Независимо от това, когато има възможност, третирането на отпадъците е задължително, за да се намалят негативните последици от тяхното натрупване. В зависимост от вида на отпадъците, направленията са насочени към оползотворяване, предаване за обезвреждане и за изнасяне извън страната (фиг.2).



Фиг.2. Разпределение на количествата отпадъци, предназначение за оползотворяване, предаване за обезвреждане и за изнасяне извън страната за периода 2014-2018 г.

От анализа на данните от фиг. 2 става ясно, че средногодишното количество на отпадъците, предназначени за оползотворяване е 4,14 млн. t, което представлява 3,12% от общо генерираните за година неопасни и опасни отпадъци – 132,8 млн. t. Сравнително с по-висок относителен дял са количествата отпадъци, предадени за обезвреждане – 6,9%. Статистическите данни показват, че само една незначителна част от генерираните отпадъци в България са изнесени извън страната - 0,07% [10].

Нов подход за оползотворяването на техногенните отпадъци, който сравнително скоро е навлязал в България, е миксирането им с пастообразни смеси за запълване на иззетите пространства в подземното разработване на находища. Това води до по-ниски експлоатационни разходи и по-малки количества отпадъци в хвостохранилищата [2]. По този начин се намалява негативното въздействие върху околната среда и разходите за мониторинг на съоръжението.

През последните няколко години са разработени нови технологии и подходи за депониране на скалната маса от откритите рудници и хвоста от обогатителните фабрики. Положителният ефект се изразява в значително намаляване на аварийите на хвостохранилищата и последващата опасност за околната среда, като същевременно са сведени до минимум количествата отпадъци [3]. Общият елемент на тези съоръжения е, че отпадъкът от обогатителните фабрики се обезводнява до минимално съдържание на водата преди да бъде депониран и отложен в съоръжението. Често пъти се

прилага технология на редуване на обезводнен хвост със скална маса, което представлява т.нар. комбинирано съоръжение за минни отпадъци.

Проблемът с азбестовите отпадъци – тенденции и перспективи

Азбестът се образува при хидротермална промяна на ултрабазичните скали, при промяна на оливина под въздействието на въглеродния диоксид и водата. Той бива няколко вида:

- Крокидолит (син азбест);
- Хризотил (бял азбест);
- Амосит (кафяв азбест);
- Актинолит;
- Антофилит;
- Тремолит.

Първите две разновидности са най-опасни форми на азбеста, които при вдишване биха навредили на човека най-много. Самият азбест представлява минерално влакно, което има разнородни свойства и поради тази причина, той намира широко приложение. Със своята устойчивост към киселини, към високи температури, гъвкавост, изолационни свойства, той намира следните приложения [4]:

- като диафрагми за електролиза в химическата промишленост;
- незапалителни тъкани като обшивки и облицовки, изолационни материали, спирачки, съединители (поради устойчивостта му към високи температури и изолационност);
- лични предпазни средства, въжета, шнурове, набивки (поради неговата еластичност);

Като цяло, използването на азбест, започва от това да бъде част от филтъра на цигарите до масовото му влагане по покривите под формата на гофрирани циментови и азбестови плочки, както и за производството на тръби, по които се довежда водата до домовете за битови нужди (фиг. 3).



Фиг. 3. Видове продукти, съдържащи азбест, използвани в бита

В България най-много е използван в производство на азбестоцимент за изделия в бита (тръби, плоскости и др.), което започва в 1964г. в циментов завод в Бели извор. Азбестоциментът се получава чрез смесване на средновлакнест азбест (15-20%), цимент (75-80%) и вода [5]. От сместа чрез пресоване се получават тръби, покривни плочи и др. Материалът е огнеупорен, водонепропусклив, но крехък. Богатото разнообразие на размери ($\varnothing = 80, 100, 125, 150, 200, 300, 350, 400, 546 \text{ mm}$) и ниската себестойност спомага за навлизане на пазара в страната ни.

Първите индикации за вредата от азбеста се появяват в САЩ през 1970 г. Установява се, че при продължително вдишвания на малки влакна може да доведе до белодробни заболявания като азбестоза и мезотелиом като форма на рак. До забраната му в САЩ минават още 20 години, а за Европейския съюз – още 35 години до 01.01.2005 година с „ директива 2009/ 148 ЕО” . Единствената държава, която от 2010 г. е създала програма за спазване на директивата на Европейския съюз за елиминиране на азбеста до 2032 г. е Полша. Въпреки това и други държави са започнали да предприемат стъпки за елиминирането на азбестовите продукти. Например, в Италия е развита



регионална програма за подпомагане на заместването на покривните плоскости, съдържащи с азбест, с 10 €/m². В Румъния са въведени два закона, с които се забранява употребата и преработката на азбест и азбест-съдържащи продукти. Във Франция е създаден фонд за подпомагане на замяната на покривни плоскости като средно предвидените средства за къща са около 20 000 €. По прогнозни данни за премахването на азбест-съдържащите плоскости от покривите на повече от 3 млн. къщи във Франция, за транспорт, съхранение на депа за отпадъци или изгаряне при температура над 1500 °C са необходими над 100 млрд. € [11].

С годините обществото все повече е започнало да разбира вредата която хората са си нанесли с използването на азбеста за производството на различни продукти. Все още проблемът за елиминирането на неговото присъствие в ежедневието на хората и третирането му като отпадък остава нерешен за България. Само водопроводната мрежа от азбестоцимент (т. нар. етернит) на общинско ниво е с обща дължина в порядъка на няколко хиляди километри. По данни на в. „Капитал“ „цели 51% от водопроводната мрежа, стопанисвана от ВиК – Бургас, е от етернит – азбестов материал, който доказано е вреден за здравето. Общата дължина на водопроводите на ВиК – Бургас, е 4256 km, а 2180 km от мрежата е от етернит, става ясно от финансовия отчет на дружеството за миналата година... Азбестът е категоризиран като канцерогенен (причиняващ рак) материал и е забранен за използване в ЕС от десетилетия. Продължава подмяната на етернитовите тръби с нови, произведени от повисокотехнологични материали като ПЕВП“ [6]. От 2005 г. производството на материали, съдържащи азбест, е забранено в България. Въпреки това, азбестът може да се яви като примес при производството на продукти от замърсени с азбест суровини [9]. Следователно съществуват хиляди тонове потенциален отпадък, който трябва да бъде депониран при безопасни за хората и околната среда условия.

Азбестовите отпадъци се дефинирани от Закона за управление на отпадъците като продукт. Така депонирането на отпадъци, съдържащи азбест в резултат от разрушаване на сгради, замърсени с азбест или отпадъци от техническо оборудване, съдържащи азбест, може да се счита за производство на материали, съдържащи азбест. Според българското законодателство депонирането на азбестови отпадъци се документира, като се предоставя информация за вида и съдържанието на азбеста и количеството на азбест-съдържащите отпадъци. Опасните отпадъци се класифицират въз основа на Директива на ЕС, според която при депонирането азбестовите отпадъци, те се класифицират като опасни, ако процентът на азбест в отпадъците се равнява или надхвърля 0,1%. В България съществуват 52 депа с издадени разрешителни за приемане на съдържащи азбест материали и отпадъци. Три от тях са закрити поради изчерпан капацитет, а едно от тях е рекултивирано. на табл. 1 са представени количествата на депонираните азбестови отпадъци в хил. t.[9].

Таблица 1. Депониране на азбестови отпадъци (в хил. t) по Данни, предоставени от Министерство на околната среда и водите

Код на отпадъка	Вид на отпадъка	m ³	хил. t
06 07 01*	Отпадъци от електролиза, съдържащи азбест		68,05
16 01 11*	Спирачни накладки, съдържащи азбест		22,86
16 02 12*	Излязло от употреба оборудване, съдържащо азбест		0,36
17 06 01*	Изолационни материали, съдържащи азбест	300	1253,91
17 06 05*	Строителни материали, съдържащи азбест	1704	184,91
17 06 01*	Изолационни материали, съдържащи азбест		64,60
17 06 05*	Строителни материали, съдържащи азбест		
16 01 11*	Спирачни накладки, съдържащи азбест		189,34
17 06 01*	Изолационни материали, съдържащи азбест		
Липсват данни	Липсват данни за източника		7255,94
ОБЩО		2004	9039,63

Забележка: (*) – Маркер за опасни отпадъци, поставян до кода при съдържание на азбест по-голямо от 0,1%



Извеждането от експлоатация на масово използвани азбестови продукти би създавало необходимост от допълнителни технологични решения за неговото обезопасяване, т.е. неговото безвредно третиране и съхранение. Създаването на т. нар. комбинирано съоръжение би позволило депонирането и загробването на азбестовите продукти. Тук трябва да се спомене, че именно минния сектор, като гръбнак за всяка икономика, може да се включи с редица негови преимущества пред другите индустрии. Разглеждането на възможност за решаване на проблема, макар и на идейна фаза, все пак може да послужи за аргумент как една кариера за варовик с малка концесионна площ е способна да акумулира азбестови продукти на един средно-голям град., предстои да се изправи пред въпросния проблем. Създаването на подобно комбинирано съоръжение би имало своите особености, различаващи го от използваните до този момент съоръжения, съхраняващи хвост и откритка. Това води до дефинирането на следните изисквания:

- Приемане и загробването трябва да се осъществяват във време, което ще отговаря на това, че температурите на въздуха няма да са високи;
- Работниците, които посрещат и обработват отпадъка трябва бъдат добре обучени и защитени с лични предпазни средства, защото вдишването му може да нанесе изключително големи щети на белия дроб;
- Избор на подходяща механизация за целта, водещи до незамърсяване на околната среда с азбест;

Предимствата които ще даде една кариера са няколко, по-важните от които са:

- Отдалеченост от населени места;
- Не много голям персонал;
- Нормата на управление на ръководството ще е 100 % с цел спазване на ТБ;
- Ограничен достъп до кариерата – присъствие на охрана;
- Възможност за безопасно съхранение на азбестови продукти под земната повърхност;
- Оползотворяване на вече нарушени терени от предходни минни дейности.

Към настоящия момент в България са предоставени повече от 500 концесии за добив на подземни богатства, началото на някои от които е края на 90-те години на XX век. Предвид сроковете на концесиите, се очаква през следващите години да приключат минно-добивните работи в някои кариери като находище „Христово“, общ. Ветово за добив на кремъчни конкреции (2024 г.), находище „Искър“, общ. Долна Метрополия (2024 г.) за добив на кварц-фелдшпатови пясъци, находище „Кривина“ за добив на пясъци и чакъли (2026 г.), находище Девня, участък "Люляката" и участък "Снежно поле югоизток" за добив на кварцови пясъци (2025 г.) и др. Всеки един от посочените обекти представлява потенциална възможност за депониране на твърди отпадъци и изграждане на екологосъобразно комбинирано съоръжение.

Комбинирано съоръжение за съхранение на азбестови отпадъци – етапи на изграждане

След изземване на полезното изкопаемо в кариерата ще започне загробването на азбеста. Азбестовите отпадъци като плоскости (гофрирани плочи), тръби, които могат да са както от ВИК-мрежата, ще бъдат транспортирани до мястото, където ще бъдат полагани. Тъй като азбестът би навредил на някого само при условие, че се променя състоянието му чрез рязане, чупене, пробиване, мачкане и др., автосамосвалите, транспортиращи азбестовият отпадък до кариерата, е задължително бъдат покривани. От гледна точка на безопасността на работата в комбинираното съоръжение и опазването на околната среда е редно отпадъкът да пристига в предварително подготвено и обезопасено състояние, като неговото съхранение потенциално може да се осъществява в Big bag чували.

Етапите на създаването на интегрираното съоръжение включват:

1. Подготовка на терена - като това включва булдозерни дейности, които се изразяват в насипване на минимум 1 до 2 m подложка от бентонит върху изработеното пространство. Това се прави с цел да се създаде екран, непозволяващ отпадъкът да попадне дълбочина.

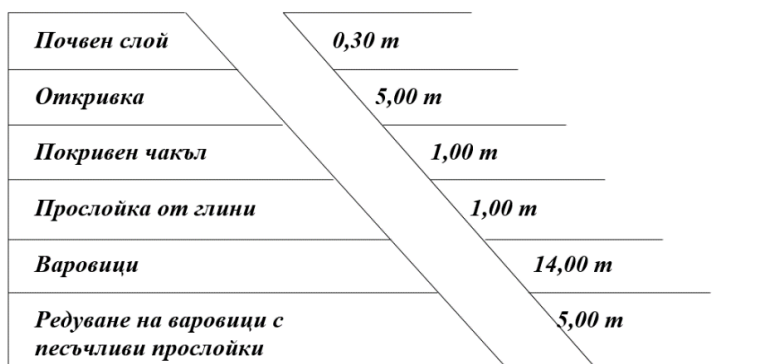


2. Създаване на клетка от откривка посредством хидравличен багер, която цели да акумулира азбестовия отпадък;
3. Поставяне на геомембрана;
4. Депониране на азбестовия отпадък в предварително създадена клетка;
5. Депониране на откривка за запълване на оставащия обем от клетката.
 - 5.1. Булдозерни дейности чрез прибутване на откривка от по-горно ниво към покривания отпадък;
 - 5.2. Автосамосвалите докарват откривка, която се изсипва до мястото, което след това ще бъде прибутано от булдозера.
6. Трамбоване и подготовка за следващо ниво. Подготовката за следващото ниво ще включва да се подготви кариерен път, откъдето да се изкачват до следващото стъпало при подготовката на нова клетка върху съществуващата площадка на комбинираното съоръжение. При изграждане на ново стъпало се повтарят операции 1-5.
7. Рекултивация на откосите и площките на комбинираното съоръжение.

Пример за решение на проблема в идейна фаза

За настоящия материал е взета крайната ситуация от разработването на малка кариера за варовик. Находището попада в източната част на Предбалкана. Районът има равнинно платформен характер. Релефът е низинно-платовиден и ридово-хълмист. Надморската височина в площта е от 30 до 80 m. Концесионната площ на находището е 97,7 dka.

На фиг. 4 са представени средните мощности на литоложките разновидности.

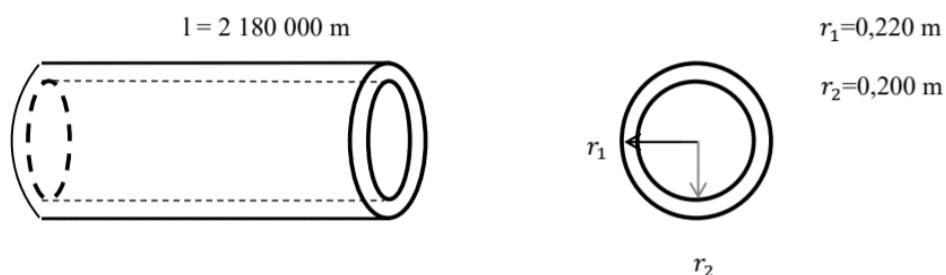


Фиг. 4. Средни мощности на литоложките разновидности

На места откривката достига до мощност от 8 m. Обемът на запаси за находището възлиза на над 1 180 000 m³ плътна маса варовик, а обемът на откривката, подлежаща на депониране е над 518 000 m³.

Депонирането на азбестови отпадъци ще се извършва в отработеното пространство на кариерата. По съображение, свързани с устойчивостта на съоръжението, съотношението между отпадъка и откривката трябва да бъде по възможност по-голям относителен дял от обема на комбинираното съоръжение, поради намалените якостни свойства на нарушения азбестобетнов отпадък. При съотношение на откривка/отпадък 90%/10% за наличното количество откривка, съхранявана на вътрешно насипище в кариерата, съпоставимото количество азбестов отпадък се равнява на около 57 600 m³.

За пример бе посочен град Бургас, който има 4256 km водопроводна мрежа, 2180 km от която са етернитови тръби. Големината на тръбите по мрежата е различна, като е прието среден диаметър Ø400 (фиг. 5).



Фиг. 5. Принципна схема на азбестобетоновите тръби

Обемът на потенциалния отпадък се изчислява по формулата:

$$V_{\text{азбест}} = \pi \cdot l \cdot (r_1^2 - r_2^2), m^3 \quad (1)$$

Където:

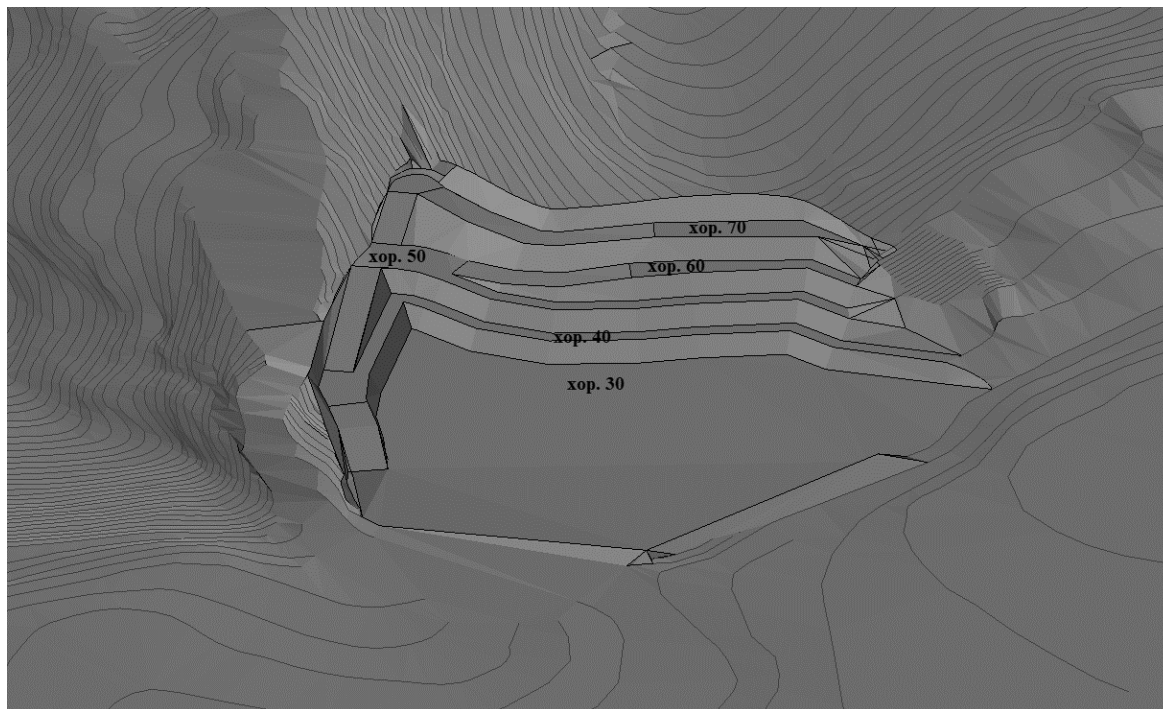
l – дължина на ВиК мрежа, изградена от етернитови тръби, m;

r_1 – външен радиус на тръбата, m;

r_2 – вътрешен радиус на тръбата, m.

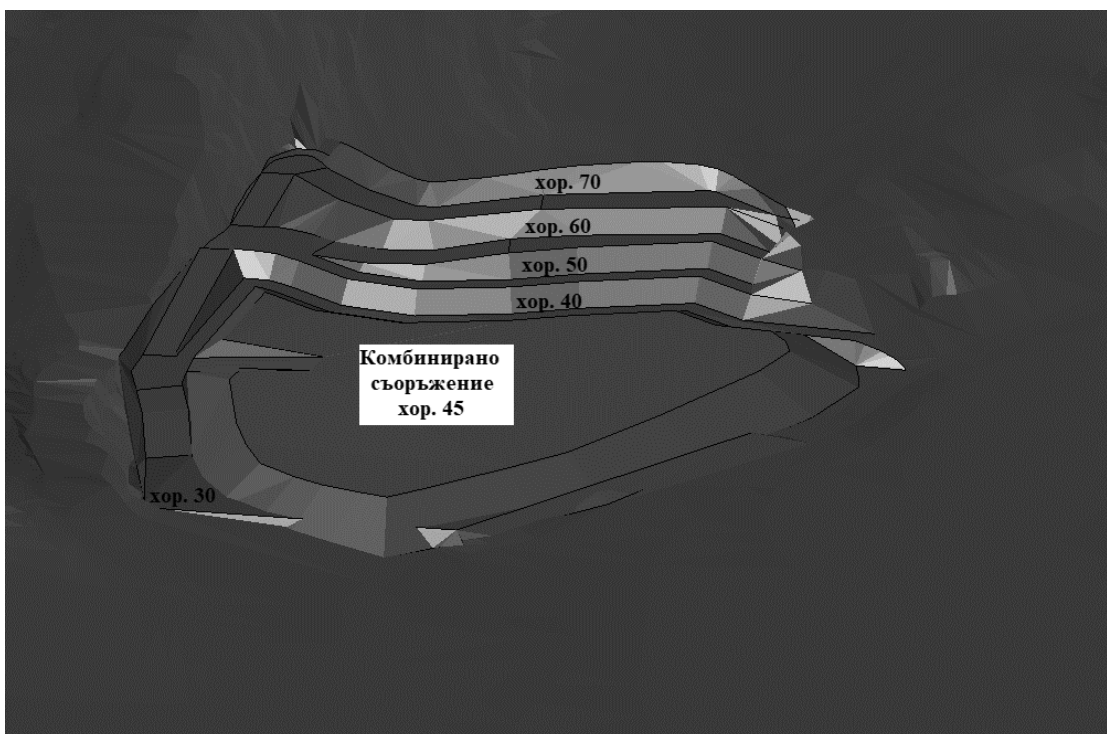
При изчисляването на обема по формула (1), получената стойност отговаря именно на условието съотношението между обемите откритка и азбестов отпадък за комбинираното съоръжение да бъде около 90%/10%.

На фиг. 6 е представен тримерен модел на крайната ситуация за находището след приключване на експлоатационните работи.



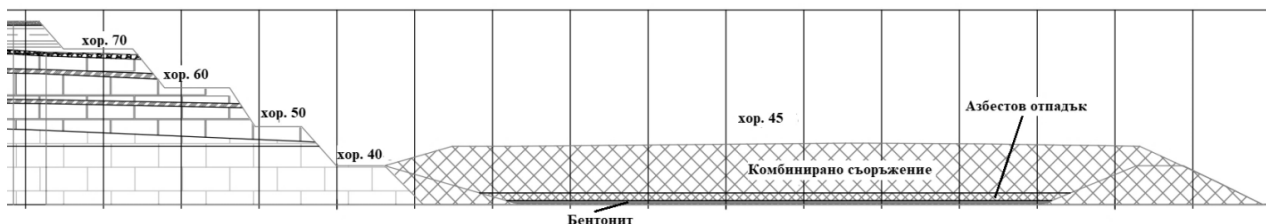
Фиг. 6. Тримерен модел на находището след приключване на експлоатационните работи

На фиг. 7 е представен тримерен модел на комбинираното съоръжение в крайния етап на неговата експлоатация.



Фиг. 7. Тримерен модел на комбинираното съоръжение в крайния етап на неговата експлоатация

От фигурата се вижда, че е налична и допълнителна вместимост на отработеното пространство, което да акумулира допълнителни обеми от азбестовия продукт. На фиг. 8 е показан профил на интегрираното съоръжение.



Фиг. 8. Профил на комбинираното съоръжение в крайния етап на неговата експлоатация

Конструктивните параметри на съоръжението са както следва:

- Височина на насипищното стъпало: 15 m;
- Ъгъл на откоса на клетката (вътрешен): 28° ;
- Външен откос на земно-насипищната стена: 28° ;
- Дебелина на отпадъка в клетката: 2,0 – 2,5 m;
- Дебелина на отквивката в клетката: 7,5 – 8,0 m;
- Площ на основата на съоръжението: 51,5 dka

Изводи

Развитието на обществото, неговите потребности и технологиите, с които то борава, води до неизбежната смяна на по-нискоефективни или опасни технологии с други по-безвредни и ефективни. Потенциалната смяна на азбестовите продукти от нашия бит с нови по безвредни материали би довело до рязко увеличаване на отпадъчните продукти спрямо посочените стойности на фиг. 2. В резултат на



тази бъдеща промяна възниква въпроса – какво би се случило със старите тръби и плоскости, така че те да не са опасни за хората и природата, след депонирането им. Правилното извършване на технологичните процеси по загробването на азбеста би дало решения, които да удовлетворяват всички заинтересовани страни – население, екологични организации и държава. Все пак не бива да се забравя, че азбестът е продукт който не би навредил на някого ако не му се въздейства механично. Изключителните му свойства го правят трудно заменим, а и затова заместването му няма би било лесно. Създаването на комбинирано съоръжение за отпадък би дало решение на проблема. Тъй като той е естествен продукт, то той може да бъде върнат в природата при условие, че няма да има досег с повърхността. Като недостатък на предложената възможност за решаване на проблема се посочва необходимостта от прелопатване на обемите от откривка, които са вече съхранявани в концесионната граница на находището. Безспорно, това би довело до повишаване на оперативните разходи.

Независимо от това, водещият аргумент за оползотворяването на иззетото пространство на посочената кариера е продиктувано от релефа, в който се намира тя. Кариерата е от полупланински тип, което осигурява допълнителна защита напред във времето от това да бъде разкрита депонираната маса от природни бедствия, в т.ч. и наводнения. При завършването на депонирането на отпадъка ще бъдат изградени канавки които благодарение на естествения наклон ще отвеждат повърхностните води. Ветровата ерозия ще бъде преборена с нискостеблени храсти и устойчив тип дървета. И не на последно място ъгъла на откоса е полегат: 28 °, който е съобразен с физикомеханичните свойства на откривката. Независимо от индивидуалните особености на други минни обекти, от геометрична гледна точка бе аргументирано, че една малка кариера за варовик е способна да акумулира обем по-голям от този на потенциалния азбестов отпадък на средноголям град. Следователно депонирането му на комбинирано съоръжение в отработеното пространство на кариерата след приключване на експлоатационните дейности е технически изпълним процес, като прецизното изчисляване на обемите от азбестов отпадък и търсенето на безопасна технология за транспортирането на отпадъка по безопасен начин е обект на следващо изследване.

Литература

- [1] Наредба № 2 от 27.07.2014 г. на МОСВ
- [2] Benzaazoua, M., Fall, M. and Belem, T. (2004) A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill Minerals Engineering. 17, 2, pp. 141–152.
- [3] Driussi, C., Jansz, J. (2006). Technological options for waste minimisation in the mining industry. Journal of Cleaner Production. 14(8), 682-688.
- [4] McLaughlin, Robert W. and Henry A. Jandl. Asbestos Cement: A Basic Building Material. Princeton University School of Architecture. Princeton, New Jersey, (1959).
- [5] <https://www.asbestos-sampling.com/pages/asbestos-cement>
- [6] https://www.capital.bg/politika_i_ikonomika/infrastructure/2020/01/26/4020554_okolo_51_ot_vodoprovodite_na_vik_burgas_sa_ot_azbestov/
- [7] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/LSU/?uri=CELEX:32002R2150>
- [8] <https://www.moew.government.bg/bg/otpaduci/>
- [9] https://ncpha.government.bg/uploads/pages/3001/National%20Asbestos%20Profile_Bulgaria_2015-bg.pdf
- [10] <https://www.nsi.bg/bg>
- [11] <https://www.polibest.eu/>

Последен достъп до линковете на 19.10.2021 г.



МЕТОДИКА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ И ОБРАБОТКА НА ПРЕЦИЗНИ ДЕФОРМАЦИОННИ МРЕЖИ ПОСРЕДСТВОМ GNSS

доц. д-р инж. Юрий Цановски

Университет по архитектура, строителство и геодезия, Геодезически факултет, катедра «Висша геодезия», e-mail: tzanovski_fgs@uacg.bg

METHODOLOGY FOR CONSTRUCTION, MEASUREMENT AND PROCESSING OF PRECISE DEFORMATION NETWORKS BY GNSS

assoc. prof. eng. Yuri Tsanovski, PhD

University of architecture, civil engineering and geodesy, faculty of Geodesy, department "Geodesy",
e-mail: tzanovski_fgs@uacg.bg

ABSTRACT

Tail storage facilities are complex hydraulic structures, the service life of which depends on the structural strength of the building wall. Geodetic measurements are an integral part of a control and measurement system, and the entry of satellite technologies into everyday life and industry is at a high rate. It is necessary to build networks for deformation monitoring, giving sufficiently reliable results in horizontal and vertical direction, while the stabilized points are placed in protected places. GNSS technology is the method by which we could quickly and easily get an idea of the behavior of a hydraulic facility in relation to its surroundings, which requires the application of a methodology for performing and processing GNSS measurements. For a clear idea of the behavior of the facility it is necessary to introduce local coordinate and altitude systems, as the transition from the coordinate system of GNSS definitions should be done using only orthogonal transformations.

Въведение

Хвостохранилищата са сложни хидротехнически съоръжения, чийто експлоатационен живот е в зависимост и от конструктивната якост на изграждащата стена. Геодезическите измервания са неизменна част от една контролно-измерителна система, а навлизането на спътникови технологии в бита и индустрията е с високи темпове. Необходимо е да се изградят мрежи за деформационен мониторинг, даващи достатъчно надеждни резултати в хоризонтално и вертикално направление, като същевременно с това стабилизираните точки са поставени на защитени места. ГНСС технологията е метода, чрез който бихме могли бързо и лесно да придобием представа за поведението на хидротехническо съоръжение спрямо заобикалящата го среда, за което е необходимо прилагането на методология за извършване и обработка на ГНСС измервания. За ясна представа на поведението на съоръжението е нужно и въвеждането на локална координатна и височинна системи, като прехода от координатната система на ГНСС определенията следва да се извърши използвайки само ортогонални трансформации.

Обработка на мрежи измерени посредством ГНСС

ГНСС мрежите имат значително предимство пред класическите мрежи за определяне на местоположението. Обработените пространствени вектори са в обща ортогонална геоцентрична координатна система, което автоматично ги освобождава от нанасянето на каквито и да било редукиции, натоварващи ги с нежелани деформации. Връзките между параметрите на изравнението (координатите на новоопределяемите точки) и пространствените вектори е линейна, т.е. не е натоварена от гледна

точка на законите на геометрията. Конфигурацията на точките от измерваната мрежа не влияе на крайния резултат, както е при класическите ъглово-линейни мрежи. Това от своя страна дава гъвкавост при проектирането на мрежи измервани чрез ГНСС, като единственото условие е осигуряването на „чисто небе“ – безпрепятствено приемане на ГНСС сигнали. Конфигурацията на спътниковото съзвездие е значим фактор за точността на измерванията – критерии за точност. За определяне координатите на единична точка са необходими измервания от минимум 4 сателита за получаване на четири неизвестни - X_P , Y_P , Z_P и t_P . Обикновено по време на измерване се наблюдават едновременно много повече сателити, което води до изравнение по МНМК:

$$A^T A x + A^T f = 0 \rightarrow N x + F = 0 \quad (1)$$

Получената нормална система, а следователно и тежестна матрица е с размерност (4,4):

$$N^{-1} = Q = \begin{bmatrix} Q_{XX} & Q_{XY} & Q_{XZ} & Q_{Xt} \\ Q_{XY} & Q_{YY} & Q_{YZ} & Q_{Yt} \\ Q_{XZ} & Q_{YZ} & Q_{ZZ} & Q_{Zt} \\ Q_{Xt} & Q_{Yt} & Q_{Zt} & Q_{tt} \end{bmatrix} \quad (2)$$

DOP (Dilution of precision) числа – букв. превод “разводняване на точността”- отразява влиянието на конфигурацията на съзвездие спътници върху точността на определяне на координати и/или височини. Различават се различни критерии за точност, в зависимост от отразените елементи от тежестната матрица – GDOP – точност по положение и време; PDOP – точност по положение; TDOP – точност по време:

$$\begin{aligned} GDOP &= \sqrt{Q_{XX} + Q_{YY} + Q_{ZZ} + Q_{tt}} \\ PDOP &= \sqrt{Q_{XX} + Q_{YY} + Q_{ZZ}} \\ TDOP &= \sqrt{Q_{tt}} \end{aligned} \quad (3)$$

Особеността при ГНСС мрежите се състои във включването в обработката на изчислени величини, а не на измерени. Това от своя страна, следва да се вземе предвид, тъй като уравненията на поправките, съответстващи за даден пространствен вектор, не са независими, т.е. включват се в изравнението на мрежата с тежестната си матрица, определена в следствие ковариационните матрици на всеки вектор (3.56):

$$P = kK^{-1} = k(\mu^2 Q)^{-1}, \quad (4)$$

където k – положителен коефициент.

Така матрицата на тежестите за една мрежа става блок-диагонална:

$$P = k \begin{bmatrix} P_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & P_n \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} (s_1^2 Q_1)^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & (s_2^2 Q_2)^{-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & (s_n^2 Q_n)^{-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Коефициентите извън блок-диагоналните елементи ще бъдат 0, само при независими определения на пространствените вектори. В противен случай се получава по-сложна структура на тежестната матрица и изкуствено завишена оценка на точността. Извън диагоналните елементи показват корелацията между параметрите, отговарящи на съответния елемент от матрицата. Коефициентът на математическа корелация между две величини се изчислява по:



$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{m_x m_y} \quad (6)$$

Координатите на точка в ГНСС мрежа се получават в следствие на измерени минимум два пространствени вектора към две точки от същата мрежа, следователно средната квадратна грешка на местоположението на тази точка е функция от средните квадратни грешки на определените пространствени вектори:

$$m_{\Phi}^2 = m_{\Phi_1}^2 + m_{\Phi_2}^2 + 2 \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{P_{\Phi_1}}} \sqrt{\frac{1}{P_{\Phi_2}}}} \frac{P_{\Phi_1} P_{\Phi_2}}{m_{\Phi_1} m_{\Phi_2}} m_{\Phi_1} m_{\Phi_2} \quad (7)$$

където m_{Φ_1} и m_{Φ_2} – грешките на съответните функции; p_{Φ_1} и p_{Φ_2} – тежестите на съответните функции.

От друга страна средната квадратна грешка на функция от корелирани величини е:

$$m_{\Phi}^2 = m_{\Phi_1}^2 + m_{\Phi_2}^2 + 2r_{\Phi_1\Phi_2} m_{\Phi_1} m_{\Phi_2} \quad (8)$$

При независими величини коефициента на корелация е 0, което не е така при зависимите. Обикновено ГНСС пространствените вектори дават отрицателен коефициент на корелация, което от своя страна завишава изкуствено оценката на точността, както е видно от формулата.

Ако се разгледа матрицата на обратните тежести за цялата мрежа, която е с клетъчна структура:

$$P = Q^{-1} \text{ или } Q = P^{-1} \quad (9)$$

където за произволна точка от мрежата съответства блок с размер (3,3):

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{P_1} & \frac{r_{12}}{\sqrt{P_1 P_2}} & \dots & \frac{r_{1n}}{\sqrt{P_1 P_n}} \\ \frac{r_{12}}{\sqrt{P_1 P_2}} & \frac{1}{P_2} & \dots & \frac{r_{2n}}{\sqrt{P_2 P_n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{1n}}{\sqrt{P_1 P_n}} & \frac{r_{2n}}{\sqrt{P_2 P_n}} & \dots & \frac{1}{P_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{12} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{1n} & q_{2n} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

би следвало да се направи извод, че за коректно изравнение на зависими величини каквито са ГНСС измерванията, е необходимо да са известни корелационните матрици, образувани най-често от двойни фазови разлики, при определянето на компонентите на базовите линии между точките.

За повишаване на точността в координатите на дадена точка, би следвало тя да бъде определена от повече пространствени вектори, така в редовете и колоните за тази точка в тежестната матрица, ще бъдат внесени по-голям брой тежестни коефициенти, с което диагоналните елементи от Q матрицата ще заемат по-ниски стойности.

$$q_{ii} = \frac{1}{P_{ii}} \quad (11)$$



Коефициентите p_{ii} се получават от решаването на n на брой системни уравнения, различаващи се едно от друго само по свободните си членове (всеки измерен вектор дава по 3 уравнения на поправките):

$$\begin{aligned}v_{\Delta x} &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 + b_{15}x_5 + b_{16}x_6 + f_{\Delta x} \\v_{\Delta y} &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 + b_{25}x_5 + b_{26}x_6 + f_{\Delta y} \\v_{\Delta z} &= b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + b_{33}x_3 + b_{34}x_4 + b_{35}x_5 + b_{36}x_6 + f_{\Delta z}\end{aligned}\quad (12)$$

Измервания на мрежи за деформационен анализ

ГНСС определенията имат няколко неуспорими предимства пред класическите методи:

- възможност за събиране на значително количество данни, без пряката намеса на оператор, т.е. полуавтоматизирана дейност;
- независимост на постиганата точност от геометрията на мрежата;
- получаване на измервания в тримерното пространство;
- независимост от атмосферните условия;
- сравнително бързо измерване на мрежата в тримерното пространство в сравнение с класическите методи;
- достатъчно добър анализ и интерпретация на получените резултати.

Разбира се за прилагането на метода от първостепенно значение е постигането на желаната точност, което предопределя метода на измерване и обработка, броя и вида на използваните приемници и дължината на измерителна сесия [3].

При създаването на високоточни мрежи се прилага единствено статичния метод на измерване с последваща обработка, при който има контрол върху получените резултати и коректен техен анализ. На база стъпките за предварителна обработка и възможността за управление на изравнителния процес, биха могли да се постигнат желаните резултати. Разбира се, постигането им е възможно само при подходящо избрани момент на измерване, видове приемници и съответни антени, схема за извършване на измерванията, дължина на измерителна сесия и софтуер за обработка на данните, акто всичко казано можем да обобщим в термина „методика на измерване“.

От огромно значение за постигане на коректни резултати е схемата на измерване на дадена деформационна мрежа. Наблюдаваните точки от мрежата следва да бъдат свързани помежду си посредством пространствени вектори. Векторите от своя страна следва да бъдат независими помежду си, за да се получи коректна оценка на точността след изравнението. Това условие е спазено единствено при едновременна работа само с два приемника. В практиката често се случва да се работи с три и повече приемника, в който случай броят на независимите вектори е:

$$v_{ind} = R - 1, \quad (13)$$

където: v_{ind} – брой независими вектори; R – брой използвани приемници.

Броят на всички възможни базови линии в една мрежа зависи от броя на определяните точки:

$$v = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (14)$$

където: v – брой пространствени вектори; n – брой точки в мрежата.

Както вече стана ясно точността в координатите на измервана точка би се повишила при повече на брой измерени базови линии към тази точка (ф-ла 11). Следователно за получаване на независими базисни линии при наличието на повече от два приемника ($R > 2$), измерванията би следвало да се разделят на сесии, чийто брой зависи от броя на приемниците R и броя на определяните точки n . Броят на измервателните сесии s , в които се определят единствено независими вектори, може да се изчисли чрез:

$$s = \left\lceil \frac{n(n-1)}{2(R-1)} \right\rceil, \quad \text{if } s = \text{float}[\quad], \text{ else } s = \text{int} \left\lceil \frac{n(n-1)}{2(R-1)} + 0.75 \right\rceil \quad (15)$$

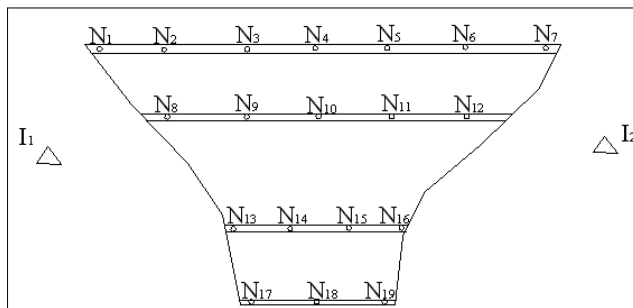
В практиката броят на измерваните точки най-често е в диапазона между 15 и 30, което води до огромен брой измерителни часове. Поради тази причина мрежата може да бъде разделена на части, без това да разделя мрежата класово, т.е. да се прилага съвместната обработка. При разделянето би следвало да се спазва принципа за минимална връзка между подмрежите поне между 4 точки (по две точки от подмрежа) или 6 измерени базисни вектора. Броят на „подмрежите“ следва да зависи от броя на измерваните точки n и броя на използваните приемници R .

$$k = \left\lceil \frac{n}{R} \right\rceil + 1 \quad (16)$$

където квадратните скоби означават закръгление към по-високата целочислена стойност. Броят на измерителните сесии s , ще бъде сума от наблюдателните сесии за всяка подмрежа, чийто брой е минималният с оглед броя на използваните приемници. Така времето за измерването на мрежата може да се намали с повече от 50%.

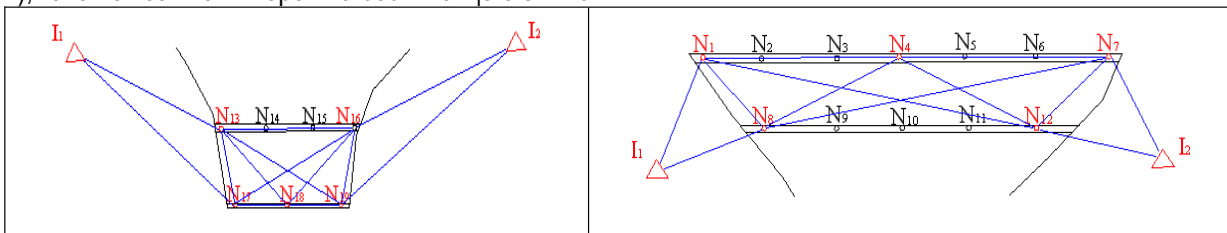
За визуализация на формулата е даден следния пример:

На фигура 1 е дадено разположението на изходните и наблюдаваните точки на земно-насипна стена. Общият брой на точките е $n = 21$, които според формула 14. образуват 210 независими вектора и при работа с 7 приемника (по формула 15) би следвало да се измерят в 35 сесии.



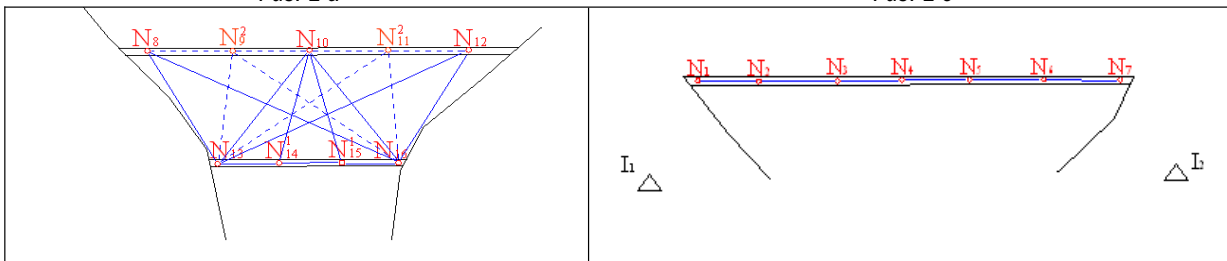
Фиг. 1. Разположение на точки от деформационна мрежа

Според ф-ла (16), схемата от фигура 1 следва да се раздели на 4 подмрежи (фигура 2 а, б, в и г), като по този начин броя на сесиите ще е $s = 16$.



Фиг. 2 а

Фиг. 2 б



Фиг. 2 в

Фиг. 2 г



При извършване на циклични измервания, каквито са изследванията на деформации на инженерни съоръжения, схемата на измерване следва да се запазва за всеки цикъл, като с цел премахване на грешки от центриране и хоризонтиране, както и от вариации на фазовите центрове на антените, едни и същи антени да бъдат поставяни в едни и същи устройства за принудително центриране във всеки цикъл.

Въвеждане на локални планова и височинна системи

Координатните системи са неразделна част от всяко геодезическо измерване. При изследването на деформации, правилният избор на референтна повърхнина и проекция биха довели до коректно интерпретиране на получените резултати. С прилагането на ГНСС технологията несъмнено стои въпроса с използваните координатни системи и връзките им помежду си. Преходът между получените резултати от глобални координатни системи към локални, в каквито се определят деформациите, трябва да бъде ясен, без загуба на точност или завишена такава.

Въвеждането на референтен елипсоид, към който да се отнесат геоцентричните координати е подходящ начин за запазване на директните измервания, без налагането на редукции, породени от прехода към тази нова ниво повърхнина. Параметрите на референтния елипсоид се запазват същите, като на WGS-84, с изключение на голямата полуос, която следва да се увеличи с наделипсоидната височина на най-ниската точка от измерваната мрежа. По този начин точките от мрежата ще лежат почти на избраната референтна повърхност, с което ще се избегнат нанасянето на каквито и да било редукции върху измерванията.

За локална координатна система е подходящо да се избере конформна проекция, поради запазването на мащабния коефициент във всички направления, излизаци от дадена точка. При проектирането на елипсоида върху равнина неменуемо има деформации, но с оглед ограничения обхват на инженерно-геодезическата мрежа (1-2 км), следва да се избере допирателен основен меридиан, а при коничните проекции и паралел, през геометричния център на инженерната мрежа. Така върху измерванията няма да се налагат никакви дължинни редукции при прехода от елипсоид към проекция, а измерванията няма да претърпят нито мащабни нито посочни деформации – елипсоидът напълно се проектира върху равнината.

Преходът между различните координатни системи се отнася не само за измерваните величини, но и за техните грешки. Най-обосновано е това да се случи според закона за предаване на грешките, а не чрез повторно изравнение по МНМК. В противен случай се рискува получаването на завишена оценка на точността, което би довело до грешна интерпретация на получените резултати.

Относно височинните определения, ГНСС технологията осигурява занижена точност (до 2 пъти) спрямо хоризонталните. При подходяща обработка обаче и вземайки предвид многократно по-големия брой свръхизмервания, в сравнение с геометричната нивелация, може да се получи задоволителна оценка на вертикалните деформации [2]. За целта е проведен експеримент и е извършена оценка на точността, сравнявайки вертикални премествания на идентични репери, определени чрез геометрична нивелация и ГНСС измервания по следните формули:

Разлика между установените вертикални премествания по двата метода:

$$d = dH^{GPS} - dH^{LEV} \quad (17)$$

Средна квадратна грешка на установената разлика:

$$m_d^2 = m_{dH^{GPS}}^2 + m_{dH^{LEV}}^2 \quad (18)$$

Средна квадратна грешка на отклонението, при многократно измерване на едн и съща величина:

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n p_{d_i} d_i^2} \quad (19)$$

Презумцията отново е малкия обхват и пренебрежимите превишения между точките от деформационните мрежи, при които стойностите на геоидните ондулации не биха повлияли на изчислените наделипсоидни превишения.



На база проведеното изследване за 18 цикъла, може да се направят следните изводи:

- използваните инструменти, методи на измерване и обработка на ГНСС данни, биха могли да се използват за изчисляването на вертикални премествания на точки стабилизирани на стени от типа земно-насишна. Основа за твърдението са очакваните премествания във вертикално отношение и необходимата точност за получаване на височините на точките. Точността получена чрез ГНСС определения напълно удовлетворява изискването;
- резултатите се характеризират с ниска ср.кв.гр. на регистрираните отклонения, т.е. грешката отново е в порядъка на изискваната точност;
- от направени графики за поведението на точките са видни по-неравномерните „скокове“ при ГНСС определенията, което навежда на мисълта за прилагане на геометрична нивелация под формата на контрол над регистрираните премествания;
- възможността за разреждане на циклите с геометрична нивелация несъмнено има най-вече икономически ефект към поддържане изправността на хидро-инженерно съоръжение.

Заключение

Към днешна дата ГНСС технологията е навлязла масово в геодезическата практика, като цената на апаратурата е достатъчно достъпна, а постигнатите точности биха отговорили напълно на желаните при деформационен анализ. За тази цел е необходимо прилагането на методология за извършване и обработка на ГНСС измервания и извеждане на реални деформационни количествени оценки в тримерното пространство.

В резултат на богатия опит при изследване на премествания на точки, стабилизирани по инженерни съоръжения, са се установили следните правила, валидни за всички цикли (епохи) [1]:

- неизменност на изходната основа (планова и височинна);
- еднакъв план на наблюдение и програма на измерването;
- една и съща точност на измерените величини.

Неизменността на изходната основа се гарантира от стабилността на точките, намиращи се извън деформационната зона, т.е. от неизменността на получените координати и коти на точките в първата епоха – нулевия цикъл. Следователно въпросът с определянето на устойчивостта на опорните точки е от съществено значение при изчисленията на преместванията на точките, като изследванията трябва да се извършват за всеки цикъл от измервания.

При класическите геодезически измервания се определят премествания в едно- или двумерното пространство. Устойчивост на изходните точки следователно се търси в планово и във височинно отношение независимо едно от друго. При използването на ГНСС технологията се работи в 3Д пространството, следователно, изследваната точка трябва да отговаря на критерии за устойчивост в това пространство [4].

С използването на ГНСС измервания бихме могли едновременно да определим с достатъчна точност стойностите на хоризонтални и вертикални премествания на точки от една ИГМ. Това от своя страна е и икономически целесъобразно с оглед спестяването на време за измерване, обработка и не на последно място инвестицията в различен тип апаратура.

Литература

- [1] Пенев, П., Анализ на устойчивостта на изходните репери при приета неизменна средна височина, С., УАСГ, Годишник 2005.
- [2] Цановски, Ю., Използване на GPS за определяне премествания на точки във вертикално отношение, София, годишник на УАСГ – 2013.
- [3] Цановски, Ю., Глобални навигационни спътникови системи – Лекционен курс, София, издателство „Булгед“ ООД, 114 стр., 2015.
- [4] Цановски, Ю., Изследване устойчивост на опорни точки при деформационни мрежи, Висша геодезия Книга №22, БАН-НИГГГ, 2017, София

