

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



Национална научно-техническа конференция
УПРАВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТ
НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА

СБОРНИК
Доклади

26-28 април 2023 г.
СПА хотел Каменград
гр. Панагюрище

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



СБОРНИК ДОКЛАДИ

Втора национална научно-техническа конференция

УПРАВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Консултативен съвет

**проф. д-р Димитър Тошев, проф. д-р Георги Михайлов,
инж. Георги Петров, доц. д-р инж. Екатерина Серафимова,
инж. Иван Чолаков, доц. д-р инж. Кремена Дедеянова,
Лушка Паланкалиева, инж. Мариела Джиджинкова,
Мина Вълева, инж. Стоил Димитров,
д-р инж. Тоньо Чолаков, инж. Щерьо Щерев**

ISSN 2815-472X

**Научно-технически съюз по минно дело,
геология и металургия**





ПРОЕКТИРАНЕ И СТРОИТЕЛСТВО НА
ИНФРАСТРУКТУРНИ ОБЕКТИ
ПРОЕКТИРАНЕ И СТРОИТЕЛСТВО
НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ
ПРОЕКТИРАНЕ И СТРОИТЕЛСТВО
НА ГРАЖДАНСКИ ОБЕКТИ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИ УСЛУГИ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF
INFRASTRUCTURE PROJECTS
DESIGN AND CONSTRUCTION OF
INDUSTRIAL PROJECTS
DESIGN AND CONSTRUCTION OF
CIVIL PROJECTS
LAND SURVEYING SERVICES



МАЛКИ СТЪПКИ. ГОЛЕМИ СЛЕДИ.



www.geotechmin.com



**ТВОЯТ ПАРТНЬОР,
ТВОЯТА СИГУРНОСТ**
www.geotrading.bg



Съвременното лице
на българския рудодобив



ЕЛАЦИТЕ МЕД

ГРУПА ГЕОТЕХМИН

„Елаците-Мед“ АД, част от Група ГЕОТЕХМИН, е водеща минна компания в България, която осъществява открит добив и първична преработка на меднопорфирни златосъдържащи руди от находище „Елаците“.

Дружеството оперира на две работни площадки - Рудодобивен комплекс, гр. Етрополе и Обогатителен комплекс, с. Мирково.

„Елаците-Мед“ АД е един от големите инвеститори, данъкоплатци и работодатели в България.

Днес в компанията работят над 2000 служители.

Едни от най-важните приоритети на дружеството са: оптимално използване на природните ресурси, иновации, подобряване на показателите за безопасност, отговорни инвестиции в околната среда и корпоративна социална отговорност.

„Елаците-Мед“ АД е сертифицирано по международните стандарти ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 и ISO 50001:2018.

УПРАВЛЕНИЕ

с. Мирково 2086, Тел: (02) 923 77 21,
e-mail: office@ellatzite-med.com

РУДОДОБИВЕН КОМПЛЕКС

гр. Етрополе 2180, Тел: (02) 923 76 72,
e-mail: mine.complex@ellatzite-med.com

ОБОГАТИТЕЛЕН КОМПЛЕКС

с. Мирково 2086, Тел: (02) 923 77 29,
e-mail: flotation.complex@ellatzite-med.com





•МИНИ МАРИЦА-ИЗТОК• ЕАД

ЕНЕРГИЙНА НЕЗАВИСИМОСТ И НАЦИОНАЛНА СИГУРНОСТ



„Мини Марица-изток“ ЕАД, гр. Раднево е най-голямото открито въгледобивно предприятие в Република България. Неговата дейност е с определяща значимост, както за националния енергиен баланс, така и за икономическия просперитет на региона и страната. Основната мисия и цел на дружеството е: енергийна независимост и национална сигурност чрез ритмичната доставка на въглища за термичните централи в региона. Дружеството има три открити рудника в експлоатация: рудник „Трояново-1“, рудник „Трояново-север“ и рудник „Трояново-3“. Те доставят лигнитни въглища на термичните електроцентрали в комплекса „Марица-изток“: „ТЕЦ Марица изток 2“ ЕАД, „ТЕЦ Контур Глобал Марица Изток 3“ АД, ТЕЦ „Ей И Ес-Гълъбово“ и „Брикел“ ЕАД.

Седемдесет години историята на „Мини Марица-изток“ е историята на съвременния открит въгледобив в България. Най-голямото българско въгледобивно дружество работи за енергийна независимост и сигурността за развитието на националната икономика. „Мини Марица-изток“ ЕАД (ММИ) е 100% държавно предприятие, което експлоатира най-големите лигнитни мини в България, разположени в югоизточната част на района на Горнотракийската низина с обща площ на лигнитното находище около 240 кв.км.

Добиваната електроенергия от лигнитните въглища е с относително най-ниска себестойност и висока конкурентоспособност, което предопределя изключително важното значение на добива от Източномаришкото находище за енергийния баланс и енергийната независимост на страната.

Цяло седемдесетилетие лигнитните въглища, добивани в „Мини Марица-изток“ са единственият конкурентен местен енергиен ресурс в електроенергийния баланс на Република България сред останалите енергийни източници.

От началото на експлоатацията на „Мини Марица-изток“ ЕАД до юли 2022 г. вкл. в дружеството са добити 1 278 527 986 тона въглища и са разкрити, транспортирани и насипани 4 940 182 548 кубични метра земна маса.

„Мини Марица-изток“ ЕАД е живата история на откритият въгледобив в България. Развитието на дружеството е цел и мисия на няколко поколения българи. От основаването си досега, комплексът е част от енергийната независимост на страната ни. Той е най-големият на Балканския полуостров и стратегически обект от националната сигурност.



МИНСТРОЙ ХОЛДИНГ АД

Водеща компания в добива на оловно-цинкови руди



В хармония с Природата



Фотоволтаични пиедешни центри



Водноелектрически

пиедешни центри



Хотели и банео туризъм



Енергийна инфраструктура



Офиси

Минстрой Холдинг АД
бул. „Д-р Г. М. Димитров“ №57
1700 София
tel.: +359 2 963 55 55
fax: +359 2 962 50 85
www.minstroy.com



Федерацията на научно - техническите съюзи (ФНТС) в България, е творческо - професионално, научно-просветно, неполитическо сдружение с нестопанска цел на юридически лица - съсловни организации, регистрирани по ЗЮЛНЦ, в които членуват инженери, икономисти и други специалисти от областта на науката, техниката, икономиката и земеделието. През 2015 г. ФНТС чества 130 години от учредяването си.

ФНТС обединява 19 национални сдружения - научно-технически съюзи (НТС) и 34 териториални сдружения - ТС на НТС, в които членуват над 15000 специалисти от цялата страна.

ФНТС е съучредител и член на Световната федерация на инженерните организации (WFEO). ФНТС членува и в Европейската федерация на националните инженерни асоциации (FEANI).

ФНТС е собственик на еднолично дружество с ограничена отговорност "ИНОВАТИКС" ЕООД което се занимава с инженерно-внедрителска дейност.

ФНТС издава свой собствен вестник "Наука и общество". Членове на ФНТС издават 12 научно-технически списания.

Към ФНТС функционира Център за професионално обучение, лицензиран от НАПОО - към Министерски съвет.

Основните задачи на ФНТС са:

- **Да утвърждава организацията като активен член на гражданското общество, да съдейства за повишаване общественото влияние и престижа на българските инженери, икономисти, специалисти в земеделието, техници, учени и изобретатели.**
- **Да стимулира и насърчава творческата активност и постижения на своите членове, както и да защитава професионалните им интереси.**

ФНТС, съвместно с националните и териториалните сдружения, организира годишно повече от 600 научно - технически мероприятия: конференции, симпозиуми, семинари, дискусии и др.

Нашият Дом на техниката се намира на ул. Г. Раковски 108, в гр. София.

Повече информация ще намерите на www.FNTS.bg.

СЪС СЪДЕЙСТВИЕТО НА

- Министерство на енергетиката
- Министерство на икономиката
- Министерство на околната среда и водите

СЪОРГАНИЗАТОРИ

- Федерация на научно-техническите съюзи в България
- Българска минно-геоложка камара
- Българска асоциация на металургичната индустрия
- Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
- Университет по архитектура, строителство и геодезия
- Химикотехнологичен и металургичен университет
- Българско дружество по големите язовири

ПАРТНЬОРИ

- "Асарел-Медет" АД
- "Аурубис България" АД
- "Геопроект" ЕООД
- "Геострой" АД
- "Геотехмин" ООД
- "Геотрейдинг" АД
- "Горубсо-Мадан" АД
- "Дънди прешъс металс Крумовград" ЕАД
- "Дънди прешъс металс Челопеч" ЕАД
- "Екоинженеринг-РМ" ЕООД
- "Елаците-Мед" АД
- "Каолин" ЕАД
- "КЦМ" АД
- "Лъки Инвест" АД
- "Мини Марица-изток" ЕАД
- "Минстрой Холдинг" АД
- "Родопи Еко Проджектс" ЕООД
- "Рудметал" АД
- ТЕЦ „АЕС Гълъбово“

С МЕДИЙНОТО СЪДЕЙСТВИЕ НА

- сп. "Минно дело и геология"
- сп. "Геология и минерални ресурси"
- в-к "Рудничар"
- в-к "Наука и общество"

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председател	
доц. д-р инж. Кремена Дедеянова	Председател, НТС по минно дело, геология и металургия
Почетен председател	
проф. д-р инж. Цоло Вутов	Почетен председател, НТС по минно дело, геология и металургия
Зам.-председатели	
инж. Николай Пелтеков	Изпълнителен директор, "Асарел-Медет" АД
д-р инж. Владимир Вутов	Зам.-председател, НТС по минно дело, геология и металургия
проф. д-р инж. Димитър Тошев	Университет по архитектура, строителство и геодезия
инж. Драгомир Драганов	Изпълнителен директор, "Елаците-Мед" АД
проф. д-р инж. Ивайло Копрев	Ректор, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
инж. Илза Чинкова	Изпълнителен директор, "Мини Марица-изток" ЕАД
проф. д-р инж. Илия Гърков	Старши вицепрезидент "Оперативни дейности в Европа", Дънди Прешъс Металс
проф. д-р инж. Николай Вълканов	Председател, Българска минно-геоложка камара
инж. Румен Цонев	Главен изпълнителен директор, "Холдинг КЦМ 2000" АД
проф. д-р инж. Сеня Терзиева	Ректор, Химикотехнологичен и металургичен университет
инж. Щерьо Щерев	Зам.-председател, НТС по минно дело, геология и металургия
Членове	
доц. д-р инж. Андриана Сурлева	Химикотехнологичен и металургичен университет
инж. Андриян Вълчев	Ръководител направление „Оперативна дейност“, "Каолин" ЕАД
инж. Данчо Тодоров	Изпълнителен директор, "Нипроруда" АД
доц. д-р инж. Димитър Пешев	Химикотехнологичен и металургичен университет
инж. Димо Кирилов	Директор Производство, "Аурубис България" АД
инж. Ивайло Станев	Управител, "Геопроект" ЕООД
инж. Иван Арсениев	Зам. изпълнителен директор, "Мини Марица-изток" ЕАД
д-р инж. Иван Вутов	Председател на СД, "Геотрейдинг" АД
проф. д-р инж. Иван Калчев	Университет по архитектура, строителство и геодезия
доц. д-р инж. Иван Митев	Изпълнителен директор, Българска минно-геоложка камара
инж. Иван Цанков	Изпълнителен директор, ТЕЦ „AES Гълъбово“
инж. Никола Рангелов	Председател, Българска асоциация на металургичната индустрия
проф. д-р Румяна Вацева	Геологически институт, БАН
инж. Стоил Димитров	Генерален директор, "Елаците-Мед" АД
инж. Стоян Пехливанов	Зам.-председател на НС, "КЦМ" АД

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪРХУ УПРАВЛЕНИЕТО И БЕЗОПАСНОСТТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАТА	1
Димитър Тошев, Тоньо Чолаков	
УПРАВЛЕНИЕ НА ВОДИТЕ ОТ ВОДОСБОРНАТА ОБЛАСТ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“ С ЦЕЛ ГАРАНТИРАНЕ НА СИГУРНОСТТА МУ	8
Стоил Трошанов, Стефан Тангъров	
ВЛИЯНИЕ НА МЪД ФАРМИНГ ВЪРХУ КОНСОЛИДАЦИЯТА НА ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ В ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „БЕНКОВСКИ-2“, „ЕЛАЦИТЕ-МЕД“ АД	18
Цветан Дилов, Стоил Димитров	
ИЗГРАЖДАНЕ И ВЪВЕЖДАНЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА АВТОМАТИЗИРАН МОНИТОРИНГ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ЧЕЛОПЕЧ	25
Людмил Кантарджиев	
СЕИЗМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА	32
Николай Милев и Такаши Кийота	
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТТА НА ОПОРНИТЕ ТОЧКИ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИИ НА СЪОРЪЖЕНИЯ ЧРЕЗ GNSS МРЕЖИ	40
Пеньо Пенев, Юри Цановски	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЧРЕЗ МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗМЕРВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИТЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ДОЛНА ПРЕГРАДНА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „РУДОЗЕМ - 2“ КЪМ „ГОРУБСО - МАДАН“ АД	47
Десислава Атанасова-Венкова, Ива Чавдарова	
ЕЖЕГОДНО ПОЕТАПНО ИЗГРАЖДАНЕ НА НАМИВНИТЕ ДИГИ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“	53
Ст. Тангъров, Вл. Додников, Т. Ганджов	

ПРОЕКТИРАНЕ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЪГЛАСНО ДОБРИТЕ ИНЖЕНЕРНИ ПРАКТИКИ. ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЧЕЛОПЕЧ“	61
Николай Николов, Людмил Кантарджиев	
РЕКУЛТИВАЦИЯ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА „БЕНКОВСКИ 1“ И „БЕНКОВСКИ 2“	69
Стоил Димитров, Лъчезар Геров, Момчил Бояджиев	
ПРИЛАГАНЕ НА ДОБРИ ЕКОЛОГИЧНИ И ИНЖЕНЕРНИ ПРАКТИКИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ДЕПА ЗА НЕОПАСНИ ОТПАДЪЦИ	77
Тенко Палазов	
НАТУРНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПЛОЩАДКИТЕ И СЪОРЪЖЕНИЯТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“	84
Светослав Симеонов, Кирил Хаджийски, Румяна Вацева	
ГЕОПОЛИМЕРИТЕ КАТО АЛТЕРНАТИВЕН ПОДХОД ЗА ВАЛОРИЗАЦИЯ НА ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ ОТ БЪЛГАРСКИ ИЗТОЧНИЦИ	92
Андриана Сурлева, Даря Илиева, Людмила Ангелова, Теменужка Радойкова	
ИЗПОЛЗВАНЕ НА БИНДЕРИ ЗА ПРЕДОТВРАТЯВАНЕ НА ВЕТРОВА ЕРОЗИЯ И ОТДЕЛЯНЕ НА НПЕ ОТ НАСИПИЩА И КУПОВЕ. НЯКОИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ	98
Велислав Калчев	
„НИПРОРУДА” АД	103
Данчо Тодоров	



ВЪРХУ УПРАВЛЕНИЕТО И БЕЗОПАСНОСТТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАТА

Проф. д-р инж. Димитър Тошев, dim.toshev45@abv.bg
Д-р инж. Тоньо Чолаков, tonyomc_fhe@uacg.bg
Катедра „Хидротехника и хидромелиорации“ при УАСГ

Въведение

Язовирните стени и отпадъкохранилищата (хвостохранилища, сгуроотвали и депа за отпадъци) са едни от най-грандиозните инженерни съоръжения със значителен риск за опазване на околната среда и защита на населените места и инфраструктурните обекти от повреди и разрушения. 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.

Хвостохранилищата са присъщи най-вече за индустриално развитите държави, като неотменен елемент от системата за добив на метали или добив на електроенергия от каменни въглища. Експлоатационният им живот в зависимост от подземните залежи достига няколко десетилетия. Върхово постижение в тази област е хвостохранилището „Антамина“ в Перу с проектна височина 250 метра.

В Р България има изградени, консервирани и в експлоатация общо над петдесет хвостохранилища и сгуроотвали. 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. за условията и изискванията за изграждане и експлоатация на депа и на други съоръжения и инсталации за оползотворяване и обезвреждане на отпадъци“ и др., както и в международни нормативи.

1. Специфични особености на хвостохранилищата

Хвостохранилищата в сравнение с язовирите стени се отличават с няколко специфични особености. Техният строителен период и техният експлоатационен живот съответно съвпадат и продължават десетки години, след което се нуждаят от рекултивация и консервация за бъдещи поколения. Целта е в края на експлоатацията тези съоръжения да се върнат на околната среда без физични, химични, радиоактивни и други замърсявания.

Тази цел налага високо ниво на експлоатация с отчитане на характерните особености присъщи на темата и провеждане на релевантен мониторинг:

- ✓ Изграждането продължава 20-30 и повече години, при променливи условия на експлоатация. Първите хвостохранилища у нас датират от 50-60 години;
- ✓ Свойствата на конструктивните материали варират през различните етапи на изграждане – от влажно състояние в началото на изграждането до пълно водонасищане след това;
- ✓ Изменението на качеството на материалите може да наложи промяна в технологията на депониране и промяна в конструкцията;
- ✓ Хвостохранилищата имат негативен ефект върху околната среда (ОС) и застрашават човешки животи;
- ✓ Зърнометричният състав, ниската плътност и слабото сцепление са причина за развитие на високо динамично налягане в порите и втечняване при земетръс – загуба на якост на срязване.

С оглед на това се прилагат наблюдения и периодични измервания с цел:

- ✓ Проверка на качествата на конструктивните материали чрез опробване;
- ✓ Проверка на валидността на проектните предпоставки и показатели;
- ✓ Периодична проверка на сигурността на конструкцията;
- ✓ Оценка на изчислителните методи;



- ✓ Изследване на влиянието на различните параметри върху поведението на конструкцията – по-ситно смилане на отпадъка, промяна в плътността на хвоста и пулпа, промяна или пропуск в технологията на намиване, промени в сеизмичните условия, актуализация на изчислителните хидроложки данни и др.;
- ✓ Набиране на данни през продължителния период на строителство относно филтрация, ниво на депресионна повърхност, порово налягане, динамично порово налягане и влиянието им върху сигурността на хвостохранилището;
- ✓ На базата на тези данни се правят периодични прогнози за устойчивостта на стената на хвостохранилището през 5 до 10 години според конкретните условия.

2. Управление на хвостохранилищата

Хвостохранилищата са хидротехнически съоръжения за природосъобразно и безопасно съхранение на минни отпадъци (хвост) като краен продукт от преработка на руди. Прието е определението: "Хвостохранилище (шламоохранилище) е инженерно съоръжение за съхраняване на ситно смлени минни отпадъци, обикновено от обогатяването на полезни изкопаеми, наред с променливи количества свободна вода".

Хвостохранилищата се строят и експлоатират съобразно с „Наредба за управление на минните отпадъци“ в сила от 19.01.2016 г. Оператора изготвя „План за управление на минните отпадъци“. Съгласно чл. 16. (1) Съоръжение за минни отпадъци е всяко пространство - насипище, хвостохранилище (шламоохранилище) или друго, предназначено за събиране или депониране на минни отпадъци в твърда или в течна фаза, в разтвор или суспензия.

Съгласно чл. 17. (1) съоръженията за минни отпадъци се категоризират съгласно чл. 22б, ал. 4 ЗПБ по критерии, определени с Методика за категоризиране на съоръженията за минни отпадъци, като 1-съоръжения категория "А" 2 - съоръжения категория "Б".

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

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 съоръженията, 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.

Съдържат (1) Операторите на съоръжения за минни отпадъци в съответствие с програмата за обучение на персонала периодично организират и провеждат обучения и курсове за повишаване квалификацията на персонала, ангажиран с управление и изпълнение на дейностите по строителство, експлоатация и закриване на съоръженията за минни отпадъци.

(2) Обученията и курсовете по ал. 1 са задължителни и са за сметка на оператора

I. Условия и критерии за категоризиране на съоръжения за минни отпадъци.

1. Съгласно чл. 22б, ал. 4 ЗПБ съоръженията за минни отпадъци се категоризират според степента на тяхната опасност и риска за околната среда и човешкото здраве на съоръжения категория "А" и съоръжения категория "Б".

2. Съгласно чл. 16, ал. 3 съоръжения за минни отпадъци са:

- а) насипища (табани);
- б) хвостохранилища и шламоохранилища;
- в) други.

3. Дадено съоръжение за минни отпадъци се категоризира като съоръжение категория "А", в случай че е налице поне едно от следните условия:

а) Условие 1: съществува вероятност от възникване на голяма авария вследствие на:

аа) нарушаване на конструктивната цялост на съоръжението;

бб) неправилна експлоатация на съоръжението;

б) Условие 2: съоръжението съдържа отпадъци, класифицирани като опасни според чл. 15, в количества над определен праг;

в) Условие 3: съоръжението съдържа вещества и/или смеси, класифицирани като опасни по смисъла на Регламент (ЕО) № 1272/2008 на Европейския парламент и на Съвета от 16 декември относно класифицирането, етикирането и опаковането на вещества и смеси, за изменение и за отмяна на директиви 67/548 ЕИО и 1999/45/ЕО и за изменение на Регламент (ЕО) № 1907/2006.

Определянето на максималната годишна концентрация на всяко опасно вещество и смес става по реда, описан в т. V "Категоризиране на съоръженията за минни отпадъци по Условие 3".

4. Дадено съоръжение за минни отпадъци се категоризира като съоръжение категория "Б", ако не отговаря на условията, посочени по-горе.

5. Съоръженията за минни отпадъци, съдържащи само инертни отпадъци или незамърсени почви, не се категоризират по Условие 2 и Условие 3.

Хвостохранилищата въвеждат два аспекта, които касаят обществото:

- ✓ Конструктивна устойчивост на стената на хвостохранилището изградена от хвост или привозен земен материал и възможност от авария, при която вода и хвост преливат през стената.
- ✓ Замърсяване на околността – подземни води, въздух, почви, радиоактивно замърсяване и загуба на човешки животи.

В тази връзка хвостохранилищата задължително се проектират, изграждат и експлоатират по „природосъобразен“ и сигурен начин.

Когато методът на полагане, геотехническите характеристики и поведението на отпадъка не са подходящи, катастрофи като разрушение на откосите се случват. Преливане през стената причинява ерозия на откосите, вътрешна ерозия и втечняване на хвоста.

На определеното място за депониране се позиционира т.н. "отпадъчно стопанство" или „хвостово стопанство“, в което се извършват последователно и непрекъснато следните процеси:



- ✓ Транспортиране на отпадъка от рудопереработвателното предприятие (РПП) до мястото на протичане на процеса на депониране – мокър, сух или след пастиране;
- ✓ Изграждане на основна (стартова) стена, депониране на отпадък пред нея и поетапно надграждане във височина;
- ✓ Намиване или наливане на хвост в отпадъкохранилищата;
- ✓ Утаяване на суспендираните частици в утаечно езеро;
- ✓ Избистряне на използваните технологични води и включването им в оборотен цикъл на връщане в РПП.

При нормална експлоатация, водите от хвостохранилищата постъпващи в оборотен цикъл се използват в технологичния процес (смилане на рудата, флотация и отделяне на отпадъка от концентрата). Този процес е екологосъобразен. Съществува обаче проблем за безопасно отвеждане на високите атмосферни води, за които се изграждат преливници и безнапорни колектори.

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

В исторически план, след аварията на хвостохранилище „Згориград“ над Враца на 1 май 1966 година у нас се сложи начало на управление на процесите протичащи в хвостохранилища. Постепенно се създаде и поддържа стройна организация по експлоатация на хвостохранилищата. Днес те се експлоатират съгласно План за експлоатация и План за действие при аварийни ситуации. Изпълнява се Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата експлоатация на язовирните стени и съоръженията към тях. Тласък в правилната посока е създаването на длъжността Оператор, в която се включва задължително специалист по хидротехническо строителство и/или хидрогеолог. Провеждат се ежедневни наблюдения върху състоянието на съоръженията и регулярни измервания върху деформациите и филтрацията през стената. Съоръженията са под постоянна физическа защита. На редица обекти функционира система за ранно оповестяване в случай на авария. Разбира се има немалко да се желае.

Два пъти годишно комисия, назначена от собственика, с представители на проектанта, общината, органите по опазване на природната среда, пожарна безопасност и др. организира оглед на хвостохранилищата и дава препоръки за подобряване на безопасността на отделните съоръжения.

3.Безопасност на хвостохранилищата

Какво означава едно хвостохранилище да бъде безопасно?

Едно хвостохранилище е безопасно, когато е изградена сигурна конструкция на стената и прилежащите ѝ съоръжения и се провежда безопасна експлоатация като цяло. Безопасно е това хвостохранилище/сгуроотвал/шламохранилище, което е изградено след задълбочени проучвания за определяне на място с подходящи топографски, геоложки, хидрогеоложки, климатични и сеизмични условия с прилагане на съвременни методи за изчисление. Необходимо е конструкциите на стената и съоръженията да отговарят на съвременните изисквания за здравина и устойчивост при екстремни въздействия върху тях, като високи води в реката и земетръс.

Възниква въпросът имаме ли подготвени кадри за проучване, проектиране, изграждане и надеждна експлоатация на сигурни хвостохранилища и депа за отлагане на индустриални, в частност минни отпадъци.

През втората половина на двадесети век водното стопанство на нашата страна бе едно от най-интензивно развиващите се. То ни остави в наследство значителен брой хидротехнически съоръжения, всичките дело на българските хидроинженери.

През този период Българските специалисти добиха богат опит в проучването, проектирането, строителството и експлоатацията на повече от 2000 язовирни стени, над 100 ВЕЦ, четири ПАВЕЦ, голям брой водоснабдителни и мелиоративни съоръжения, над 40 хвостохранилища и сгуроотвали, 750 км хидротехнически тунели.

Значителен е българският опит в реализирането на проекти в Алжир, Мароко, Сирия, Либия, Иран, Ирак и др. И сега наши специалисти работят в ЮАР, Мозамбик, Нигерия, Турция и др.



Повишените изисквания към опазване на околната среда разшириха полето на изява на хидроинженерите в складирането, депониране както на индустриални, така и на битови отпадъци.

От техническото състояние на хидротехническите съоръжения, в частност язовирните стени и хвостохранилища, като едни от най-големите инженерни съоръжения, зависи животът на хора, опазването на материалните блага и природната среда. Проблемът "Безопасност на ХТС" има много страни. Нашите разбирания са, че сигурността може да бъде конструктивна, технологична и екологична. Тук акцентираме главно на сигурността на конструкцията, чиито основи са заложили в: Методите на проучване и избор на проектно решение; Строителство с високо качество; Надеждна експлоатация чрез поддържане и рехабилитация на хидротехническото съоръжение.

Освен за обичайните дълготрайни натоварвания, 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 негативни природни въздействия.

Обичайно стените на хвостохранилищата и сгуроотвалите са изградени от земен насип, с полегати откоси, устойчиви срещу свличане и слабо податливи на бомбени атаки. Залагат се 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 на 10000 години, характерно за съответния район.

Земетресение с интензитет като този при град Перник е безопасно. Доказателство за това са сгуроотвалите „Шести септември“ и „Кудин дол“ в околностите на града, които не показаха дефекти при последното земетресение.

Най-честите аварии са от преливане през короната на стената поради недостатъчен капацитет на преливните съоръжения. Напомням, че такъв е случаят на аварията на хвостохранилище „Згориград“ при мина „Плакалница“. При нормална експлоатация, водите постъпващи в хвостохранилищата се включват в оборотен цикъл и се използват в технологичния процес (смилане на рудата, флотация и отделяне на отпадъка от концентрата). За безопасно отвеждане на високите води при наводнения се изграждат преливници и колектори.

Отпадъкът (хвост) е фино смляна скала. Насипът от отпадъка е с ниска якост. Депонира се върху плаж, където през сухите периоди на годината се създават условия за запрашаване на околния въздух при силни ветрове. За намаляване на прахоотделянето се изграждат оросителни системи, които навлажняват повърхностния слой на отложения върху плажа отпадък. Най-фините почвени частици се утаяват в утайтелни езера, формирани на значително разстояние от короната.

За предпазване на насипа от вътрешна ерозия и 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. Пример за това е сгуроотвала на ТЕЦ Марица 1, където като мярка срещу запрашаване експлоатацията залива изцяло плажната ивица. В резултат на това се покачва недопустимо депресионната повърхност и дигата се разкъсва.

Пример за разрушаване, причинено от вътрешна ерозия (втечняване в статични условия), е хвостохранилище „Става“ - Италия, което се разруши през 1985 година след недопустимо покачване на водата в него, втечняване на насипа и суфозионно изнасяне на хвост. Резултатът е загуба на 268 човешки живота, разрушение на 53 къщи, 3 хотела, 8 моста.

Пример за безопасна експлоатация понастоящем са хвостохранилищата "Челопеч", "Бенковски 2" и "Люляковица". 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 посредством оросителна система, с обратно водоснабдяване се редуцират излишните води, предпазват се от замърсяване природните води и околните терени.



На "Безопасността" трябва да се гледа като на крехка конструкция, стояща върху три опори: Проект, Строителство и Експлоатация. Нарушението на някое от опорните условия води до бързо или бавно изчерпване на якостта и/или устойчивостта и до пълно или частично разрушение.

Детайлните проучвания на геоложкия строеж, хидрогеоложките и хидроложките условия, както и сеизмичните условия са база за проектиране на сигурни съоръжения.

През 1987 г. бе извършена промяна в сеизмичното райониране в България. Само по себе си това налага преоценка на сигурността на конструкциите в условия на земетръс. За да се отговори на този въпрос се извършват статичен и динамичен анализ с актуализирани данни за динамичните свойства на материалите. В противен случай ново изчисление на конструкцията е безсмислено.

Бързото развитие на технологиите днес позволява да се прилагат модерни числени методи за Статичен и динамичен анализ, Оценка на риска при земетръс, Филтрационни изследвания за прогнозиране на загубите на вода и редица други изследвания.

Сигурността на едно ХТС се разглежда като резултат от качествено изпълнение на строителните работи. Конструктивната сигурност на стената през периода на изграждане се осигурява със специални мерки за отвеждане на високите води. У нас оразмерителното водно количество през строителния период е както за временни съоръжения. При продължително строителство нараства вероятността от преминаване на висока вълна с по-високи размери. Това водно количество може да се надвиши неколкостранно при стена, която се строи десет и повече години. Вече два пъти бе разрушаван частично отбвният яз на спряната от строителство язовирна стена "Раков дол".

Основните причини за повреди и разрушаване на една стена са комплексни. Те са дължат на пропуски в проучването, проектирането, строителството и експлоатацията.

Трябва да се отбележи, че при старателна и прецизна експлоатация е възможно протичащите негативни процеси в стената да се идентифицират навреме и аварията да бъде предотвратена.

4. Основни изводи и препоръки

Представеният от нас анализ на управлението и безопасността на хвостохранилищата ни дава основание за следните констатации и препоръки:

1). Българските специалисти, хидроинженери и хидрогеолози, имат богат опит в проучванията, проектирането, изграждането и експлоатацията на наливни хидротехнически съоръжения, като хвостохранилища, шламохранилища, депа за индустриални отпадъци и сгуроотвали.

2). Създадената нормативна база трябва периодично да се актуализира и разширява.

3). Осигуряването на безопасност на хвостохранилищата през целия експлоатационен живот е задължение на собствениците. На средствата необходими за безопасността на хвостохранилищата трябва да се гледа като инвестиции за сигурност, при липса на които се нанасят значителни щети на собствениците и на обществото.

4). За началници на хвостовото стопанство да се назначават експерти инженери по хидротехническо строителство или по инженерна геология и хидрогеология.

5). Стената и съоръженията се въвеждат в експлоатация след назначаване на обучен експлоатационен персонал.

6). Експлоатацията на хвостохранилищата да се извършва съгласно:

- ✓ Проект за експлоатация и поддържане, който периодично се актуализира;
- ✓ Ежегодна програма за технически контрол;
- ✓ Инструкции за експлоатация на съоръженията.

7). Да се спазват изискванията на 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.

- ✓ Технически прегледи на стената и съоръженията – 2 пъти годишно;
- ✓ Пробни манипулации на затворните органи и механизми – 2 пъти годишно;

8). Периодично проучване на стените и съоръженията на базата на:

- ✓ Актуална хидроложка информация;



- ✓ Промени в сеизмичната информация;
- ✓ Промени в качествата на конструктивните материали;
- ✓ Промени в антропогенната дейност;
- ✓ Резултатите от измерванията и оценка на работата на КИС.

9). Създаване и поддържане на база данни за всяко съоръжение.

10). Периодична оценка на риска.

Лесно е да се направи **изводът**, че тяхната якост и устойчивост и безопасност за околната среда трябва да бъдат осигурени за много дълъг период. Това е възможно, когато по време на проектирането са приложени надеждни методи за проучване и проектиране и съвременни технологии на строителство и експлоатация, с които да се реализира дълготрайна якост на конструктивните материали и устойчивост на стената и прилежащите съоръжения.

5. Нормативни документи

В съответствие с нашето законодателство се прилагат следните нормативни документи:

1. "Методология за оценка на риска на установените критични инфраструктури и обектите им в сектор "Икономика", издание на Министерство на икономиката, София, 2016 г. разработена на основание на чл.12, ал.2 .
2. "НАРЕДБА за реда, начина и компетентните органи за установяване на критичните инфраструктури и обектите им и оценка на риска за тях", приета с ПМС №256 от 17.10.2012г.[1]. Методологията е съобразена с международните стандарти за управление на риска ISO.
3. Закон за управление на отпадъците, 13.07.2012 г.
4. НАРЕДБА № РД-02-2 от 27 януари 2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони.
5. НАРЕДБА за управление на минните отпадъци, ДВ бр.5 от 2016 г.
6. НАРЕДБА за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасна експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние, ДВ бр.9 от януари 2020 г.
7. Наръчник за оценка на риска и съществените изисквания към обема и съдържанието на експертизите на потенциално опасните обекти, София, 2008 г.
8. Норми за проектиране на насипни язовирни стени. БСА, кн. 42, 1985 г
9. Норми за проектиране на хидротехнически съоръжения. Основни положения. БСА, кн.11 от 1985 г.

УПРАВЛЕНИЕ НА ВОДИТЕ ОТ ВОДОСБОРНАТА ОБЛАСТ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“ С ЦЕЛ ГАРАНТИРАНЕ НА СИГУРНОСТТА МУ

Стоил Трошанов, Стефан Тангъров
„Асарел-Медет“ АД гр. Панагюрище
Съавтор за кореспонденция, stangarov@asarel.com

РЕЗЮМЕ

В процеса на експлоатационното надграждане на наливен тип хвостохранилища, каквото е „Люляковица“, се проявяват редица външни фактори, които оказват влияние: атмосферни условия – дъждове, ниски температури, снеготопене, ветрове, градушки и т.н.; земетресения; и други.



Фигура 1 – Хвостохранилище „Люляковица“

Въведение

Настоящият доклад представя съоръженията, които са изградени, дейностите и мероприятията, които се извършват от „Асарел-Медет“ АД за управление на водите от водосборната област на хвостохранилище „Люляковица“, за да бъде гарантирана сигурността му.

В стратегията за управление на водите основни цели са:

- недопускане на смесване на отпадъчни с повърхностни води;
- всички повърхностни води да бъдат изведени от водосбора на хвостохранилището;
- автоматизирано управление при съвместен режим на пречиствателна станция за руднични и пречиствателна станция за дренажни води, с цел ограничаване на постъпващите към хвостохранилището отпадъчни руднични води;
- ежегодно изпълнение на проектите за техническа и биологична рекултивация на всички площи, профилирани в крайно положение, с цел намаляване на площите, генериращи замърсени води.

През последните години в района на хвостохранилище „Люляковица“ се наблюдават периоди с продължителни засушавания, редувани с екстремни краткотрайни проливни валежи.

Изготвяни са множество проектни разработки за определяне на характеристиките на интензивните дъждове, както и различни неблагоприятни сценарии за потенциални екологични последствия, които следва да бъдат предотвратени.

Оразмерителните характеристики на хидротехническите съоръжения, които сме възприели за интензивните валежи на територията на дружеството, са с обезпеченост 0,01%, тоест повторяемост един път на 10 000 години. Изградените отводнителни съоръжения от двете страни по въздушния откос

на стената на хвостохранилище „Люляковица“ са оразмерени да провеждат тези водни количества. Проверени са и за водни количества с обезпеченост 0,001%.



Фигура 2 – Промислена площадка „Асарел“

По изготвения работен проект за изграждане на хвостохранилището от к. 829 до к. 900 бермите са проектирани да провеждат дъжд с интензивност 0,002%, т.е. веднъж на 50 000 години. Това е значително по-голяма обезпеченост от определената в наредбата за проектиране на хидротехнически съоръжения от 1985 г.

Промислена площадка „Асарел“, фигура включваща рудника, обогатителната фабрика и съоръженията за минни отпадъци, е разположена във водосборните области на 3 реки – р. Асарелска, р. Панова и р. Люляковица. Водосборната област на хвостохранилището е около $9,546 \times 10^6 \text{ m}^2$.
Фигура 2

За намаляване на обема на водните количества, постъпващи от нея към утаечното езеро, през годините са реализирани множество съоръжения за диференцирано управление на водите:

1. На територията на ПП „Асарел“ е изградена и функционира система за диференцирано управление на водите.

Битовите отпадни води се подават за пречистване към Пречиствателна станция „Битови води“ (ПСБФВ), след което се заустват в р. Асарелска при спазване на определените в разрешително за заустване индивидуални емисионни ограничения

Управлението на водите на територията на промислената площадка включва недопускане на смесването на чистите и замърсени водни количества.

Канализационната система за повърхностни води се състои от два главни клона – източен и западен. В долните участъци на двата клона са изградени шахти, през които замърсените води се подават към „Еко-помпата“.

2. Отпадъчните води от територията на рудник „Асарел“ се подават към Пречиствателна станция „Руднични води“ (ПСРВ) и пречиствателна станция за дренажни води /ПСДВ/, които работят в съвместен режим. Фигура 3



Фигура 3 - Схема с местоположението на рудничен водоотлив, дренажна галерия и ПСРВ.

При екстремни валежи водата се ретензира в котлована на рудника и впоследствие се подава към пречиствателни станции.

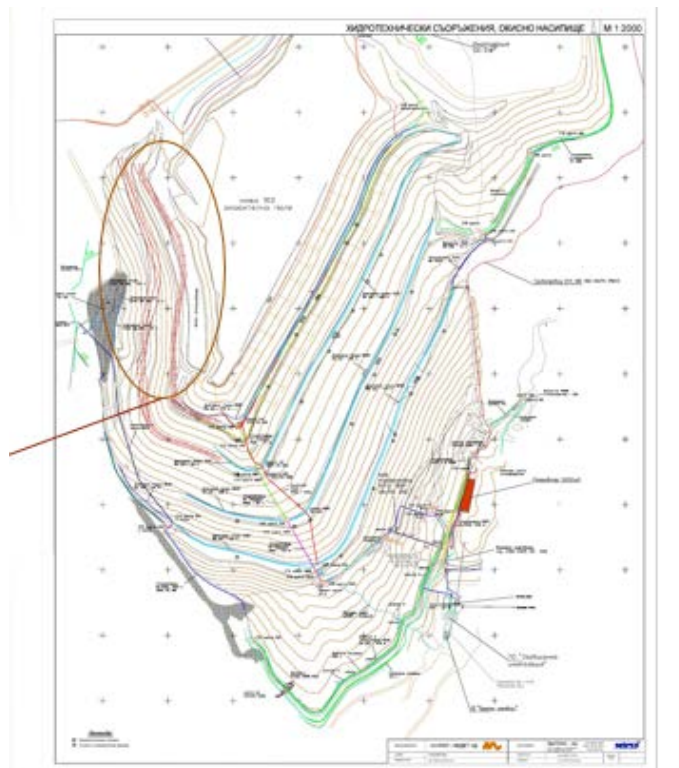
Чистите води на р. Панова са изведени чрез стоманобетонова корекция покрай рудник „Асарел“.



Фигура 4 - Пречиствателна станция за руднични води след модернизацията

3. На Окисно насипище е пред завършване (до м. септември 2023 г.) цялостна биологична рекултивация. Изградени са хидротехнически съоръжения за диференцирано управление на водите.

Фигура 5



Фигура 5.

Дренажните води се събират с изградена дренажна система. Оттам по тръбопроводи се подават към резервоар с обем 2000 куб. м, от който се подават към Инсталацията за екстракция и електролиза на катодна мед.

Замърсени повърхностни води се събират във водоем „Богати разтвори“.

Навсякъде, където е възможно филтриране на замърсени води, са изградени противифилтрационни завеси.

4. Въздушен откос на основната стена на хвостохранилище „Люляковица“.

Площта му е около 800 дка. Към момента са изпълнени 17 броя отводнителни берми.

В западната и източната контактна зона са изградени стоманобетонени канали с правоъгълно сечение, събиращи повърхностните води от бермите.

Бермите до к. 829 са оразмерени за водни количества с обезпеченост 0,01%, а над к. 829 - с обезпеченост 0,002% в съответствие с работния проект.



Фигура 6 – Трасе на западен отводнителен колектор



Фигура 7 – Трасе на източен отводнителен колектор



Фигура 8 – Стоманобетонени канали с правоъгълно сечение за повърхностните води от въздушния откос на стената

5. Водосборните области от незасегнатите горски площи над хвостохранилище „Люляковица“ са отведени извън утаечното езеро.

6. Модернизация на пречиствателните станции.

Изградени са допълнителни буферни резервоари с обем 9000 куб.м. Изпълнена е модернизация с възможност за съвместна работа на двете пречиствателни станции - ПСРВ и ПСДВ, като максималният дебит, който може да бъде пречистван от системата, достигна до 360 куб. м на час. Фигура 4

С изградените през годините надеждни хидротехнически съоръжения във водосборната област на хвостохранилище „Люляковица“ се постигна значително ограничаване на обема на постъпващите към утаечното езеро водни количества. Вследствие на това на годишна база водният баланс на хвостохранилището е отрицателен. Дори и във влажни години за обезпечаване на производството на ОФ „Асарел“ към утаечното езеро на хвостохранилището се подават над $1,5 \times 10^6$ куб. метра „свежа“ вода от „Ломашко дере“ (фигура 9), „Жеков вир“ и „Контактен водоем“ (фигура 10). В по-сухи години количеството на подадената „свежа“ вода достига до над 3×10^6 куб. м.

Вследствие на предприетите действия за ограничаване на постъпващите към хвостохранилището чисти води, освен гарантиране на неговата сигурност, се наблюдава устойчиво екологично състояние на реките в долните им течения след „Асарел-Медет“.

Това може да се проследи и чрез автоматичните мониторингови станции, които са изградени след площадката по поречията, като данните от тях са достъпни чрез интернет страницата на компанията и могат да се проследят от всички заинтересовани в реално време.



Фигура 9 – Сезонен изравнител „Ломашко дере“



Фигура 10 – „Контактен водоем“

Управление на водите от утаечното езеро на хвостохранилището.

Съгласно регламента, определен в работния проект на хвостохранилище „Люляковица“, минималната дължина на плажа, която трябва да бъде поддържана е 1000 м, а денивелацията от началото на плажа до утаечното езеро да е минимум 3,5 метра. Допуска се дължината да бъде намалена до 800 м, вследствие на екстремни атмосферни условия, но за не-повече от 20-25 дни.

Спазвайки това изискване, свободният обем в утаечното езеро е възможно да ретензира висока вълна около $1,7 \times 10^6$ куб. м, която съответства на оразмерителна висока вълна с обезпеченост $p=0,01\%$.

Проверен е екстремен случай при постъпване в утаечното езеро на висока вълна с обем $6,5 \times 10^6$ куб. м, която е над три пъти по-голяма от оразмерителната, дори надвишава висока вълна с обезпеченост $p=0,001\%$. Няма риск за сигурността на стената.

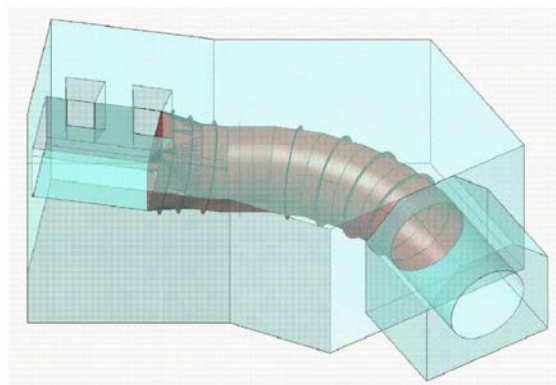
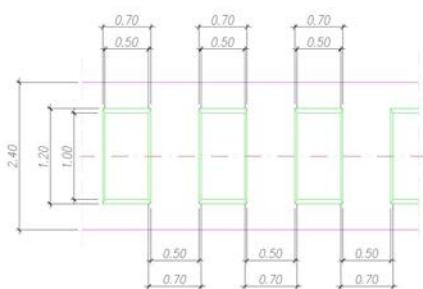


Водоотливна система на хвостохранилище „Люляковица“

Водоотливните съоръжения на хвостохранилище „Люляковица“ се състоят от:

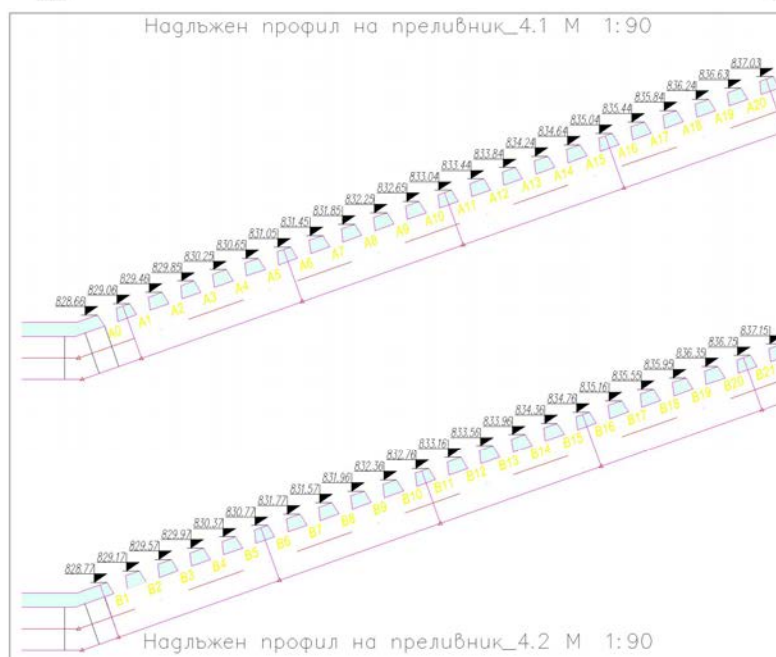
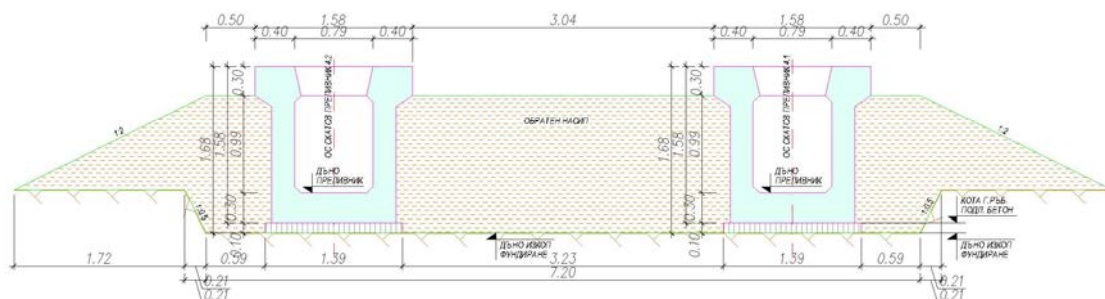
- Скатни преливници №4.1 и №4.2 – стоманобетонено правоъгълно сечение със светли размери Ш/В - 120/150см заустени в Главен колектор №3. Водовземните отвори на преливниците са правоъгълни със светли размери 50/100 см. Денивелацията между отворите е 40 см.

СКАТЕН ПРЕЛИВНИК
ТИПОВО РАЗПОЛОЖЕНИЕ ПРЕЛИВНИ ОТВОРИ М 1:50



Фигура 11 – Скатен преливник типове разположение на преливни отвори с размери и връзката на скатни преливници №4.1 и №4.2 с главен колектор №3

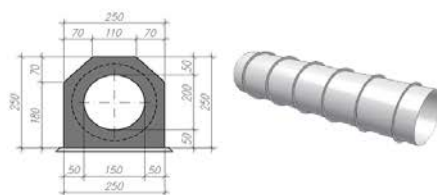
СКАТЕН ПРЕЛИВНИК, ТИПОВ НАПРЕЧЕН ПРОФИЛ СКП.4 М 1:50



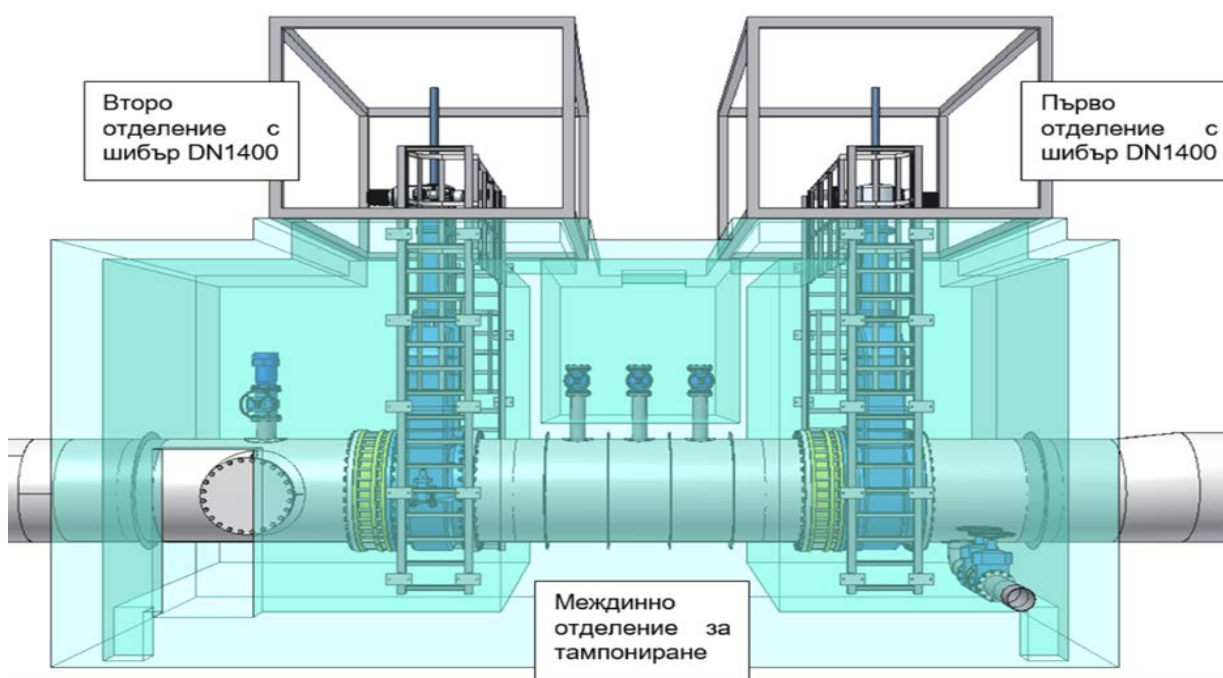
Фигура 12 – Скатни преливници №4.1 и №4.2 в напречен и надлъжен профил



- Главен колектор №3 – панцерован стоманобетонен колектор със светъл отвор с диаметър $\varnothing 1500$. В крайната му точка е разположена стоманобетонена шахта със спирателна арматура. В случай на авария по колектора, е предвидено шахтата да може да бъде тампонирана.



Фигура 13 – Стоманобетонен колектор №3 $\varnothing 1500$



Фигура 14 – Шахта в края на Главен колектор №3 с междинно отделение за тампониране

Потенциална авария по водоотливната система на хвостохранилището е една сериозна предпоставка не само за спиране на работата на обогатителната фабрика, но и за възникване на риск за сигурността на хвостохранилището.

Поради тази причина водоотливната система на хвостохранилище „Люляковица“ е дублирана. Освен работните скатни преливници №4.1 и №4.2 и главен колектор №3 е изграден допълнителен аварийен стоманобетонен колектор $\varnothing 1400$ и аварийен скатен преливник с идентични размери.



Фигура 15 – Аварийен стоманобетонов преливник и колектор Ø1400

Решението за дублиране на водоотливната система е продиктувано от степента на значимост на обекта и поради спецификата на съоръженията. След като бъдат изградени колекторът и скатните преливници, с покачването на нивото на хвоста те биват залети, поради което ремонтите по време на експлоатационния им живот са изключително трудни, а в някои ситуации и невъзможни.

Поради това, както по-горе споменахме, в случай на авария са предвидени аварийни камери за тампониране.

Считаме, че това е добра практика и е препоръчително да се предвижда при проектиране на такъв тип съоръжения.

От експлоатационна гледна точка, за спазване на проектния регламент за дължина и денивелация на плажа, и за осигуряване на избистрена вода за целите на производството в обогатителната фабрика, най-дълбоката част на утаечното езеро при скатните преливници се поддържа в границите от 1,0 м до 2,0 м. За целта на двата скатни преливника едновременно работещите водоземни отвори са общо 4 бр. - по два от всеки скатен преливник. При този режим на работа през скатните преливници могат да се водоземат до $Q=2,88 \text{ м}^3/\text{сек}$.

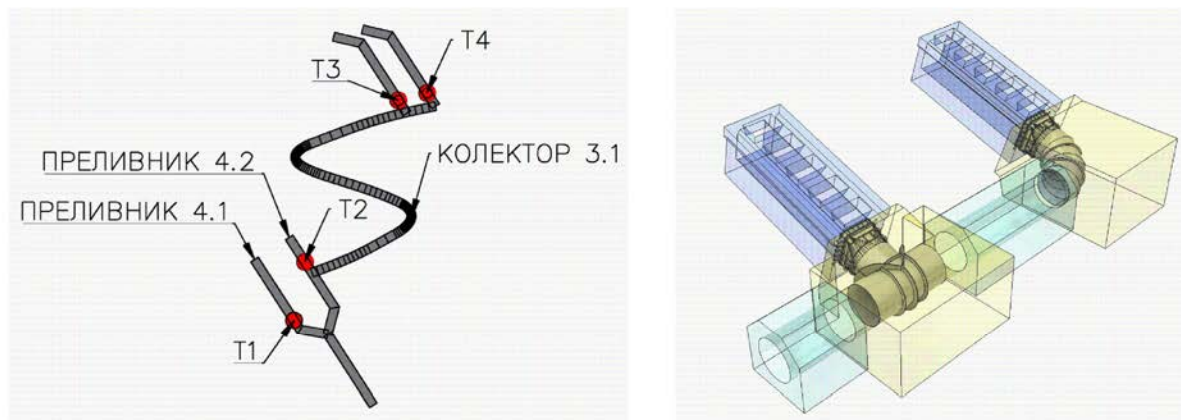
В началото на тази година приключи удължаването на колектора до крайното му положение, както и изграждането на 2 броя нови скатни преливници.

С удължаването на главния колектор и отдалечаването на водоземните съоръжения се постигна допълнително увеличение на плажа с около 150 м.

Вследствие на това се увеличи обемът, който може да бъде ретензиран в случай на необходимост.

Аварийният колектор и скатен преливник, освен за обезпечаване на водоотливната система, изпълняват функцията на преливник на хвостохранилището. Чрез него се ограничава неконтролируемото нарастване на утаечното езеро и скъсяването на плажа при екстремно природно явление. Чрез предварително отворени водоземни отвори на аварийния скатен преливник, над нивото на плажа с 50 см, при постъпване на висока вълна над оразмерителната, вследствие на повишаване на водното ниво в утаечното езеро, водата ще бъде отведена към „Контактен водоем“, без да се допуска

допълнително скъсяване на плажа. В момента аварийният скатен преливник е на около 1000 м от наливния фронт.



Фигура 16 – Удължаване на Главен колектор №3 и скатни преливници №4.3 и №4.4

Излишните водни количества от аварийния колектор са насочени към „Контактен водоем“, разположен под хвостохранилището.

При пускане на хвостохранилището в експлоатация през 1989 г. функцията на „Контактният водоем“ е била водата от утаечното езеро да престоява минимум 3 денонощия за допълнително избистряне преди последващо подаване към ОФ при евентуални течове от езерото. Стената на водоема е каменно-насипна с глинено ядро. Височината ѝ е 30 м, а дължината на короната е 122 м.

Контактният водоем в момента събира дрениралите водни количества от основата на стената на хвостохранилището, както и замърсени повърхностни води от работните берми и откоси, преди да бъдат рекултивирани. При необходимост в него могат да бъдат акумулирани и води от езерото на хвостохранилището.

За поддържане на водното ниво под водоема е разположена помпена станция.

През 2019 г. изградените утайници за шлам над водоема бяха зарибени с няколко вида риби: шаран, каракуда, бял амур. Впоследствие рибите се разпространиха и в „Контактният водоем“.

Към днешна дата е създадена и се развива една цяла екосистема между хвостохранилището и „Контактният водоем“, което доказва постигнатите добри екологични резултати.

Литература

1. Работен проект за обновяване на водоотливна система, обратно водоснабдяване и аварийен преливник на хвостохранилище „Люляковица“ – „Проектиране и анализи“ ЕООД.
2. Работен проект за експлоатационно изграждане на хвостохранилище „Люляковица до кота 900“ етапно изпълнение- изготвен от „ЦНИП-УАСГ“ ЕООД
3. Работен проект за реконструкция на хвостопровод и обратно водоснабдяване в участъка засегнат от развитието на минните работи на рудник „Асарел“ – етапно изпълнение- изготвен от „Минпроект“ ЕАД



ВЛИЯНИЕ НА МЪД ФАРМИНГ ВЪРХУ КОНСОЛИДАЦИЯТА НА ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ В ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „БЕНКОВСКИ-2“, „ЕЛАЦИТЕ-МЕД“ АД

Цветан Дилов^{1*}, Стоил Димитров¹

¹Обогатителен комплекс, "Елаците-Мед" АД, с. Мирково, Софийска област

*Съавтор за кореспонденция, ts.dilov@ellatzite-med.com

РЕЗЮМЕ

Нарастващата нужда от минерални ресурси налага прилагането на нови подходи за управление на хвостохранилища, които да способстват за депониране на повече обем върху по-малка площ, за по-кратко време. Един такъв подход прилаган през последните години е мъд фарминг. Въпреки, че първите му приложения са от 70-те години на 20 в., едва през последните десетина години методът започва да се използва в съоръжения по целия свят за обработка на различни видове минни отпадъци и драгирани материали.

„Елаците-Мед“ разполага с две машини за провеждане на мъд фарминг, произведени през 2018 и 2022. Това са машини-амфибии способни да плават и да се движат върху суспензия или твърд субстрат. Задвижването е през хидравлично контролирани шнекове, които спомагат машината да може да плава.

Настоящото изследване използва динамични пенетрационни тестове до дълбочина от 30 m, за да се оцени реалното състояние на намит хвостов материал в плажната зона между короната на хвостовата стена и утаечното езеро, която е обработвана за мъд фарминг. Пенетрациите са направени по профил приблизително перпендикулярно на оста на хвостовата стена. Профилът е разположен в средата на „Ай дере“, едната от двете работни секции на хвостохранилище „Бенковски-2“. Секцията е била в състояние на покой, без оперативни наливни дейности, в продължение на 12 месеца. През наливния период преди покоя, плажната зона на секцията е интензивно обработвана чрез мъд фарминг.

Нашето изследване показва известно подобряване на консолидацията на намития хвостов материал в дълбочина, сравнено със зони, които не са обработвани чрез мъд фарминг. Оценената степен на консолидиране е индикатор за плътността на материала в дълбочина. Тази степен на консолидация е вследствие комбинация от естествената консолидация поради отгоре-лежащия литостатичен товар, продължителността на покой за секцията, степента на обезводняване и обработката на слоеве хвостов материал с определена дебелина чрез мъд фарминг.

Коментираме различните срещнати трудности при прилагането на мъд фарминг заедно с ползотворните резултати. Също така са изброени някои препоръки за подобряване на целия процес на мъд фарминг, както и намерение за по-нататъшни изследвания.

Ключови думи: Мъд фарминг, хвостохранилища, консолидация на хвостов материал

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Мъд фарминг е подход за консолидация на хвостови и драгирани материали. Прилага се при минния добив на различни черни, цветни и благородни метали, въглища, нефтени пясъци, както и при различни геотехнически дейности, вкл. за отвоюване на нова земя от водни площи. Прилагането на мъд фарминг обезводнява намития и положен материал значително по-бързо спрямо естественото обезводняване и консолидиране след период на покой. Дренирането се осъществява посредством разрушаване на структурните връзки между частиците на материала, като същевременно намалява и поровото налягане предизвикано от включената вода в капсулираните пространства между частиците. Използваните в днешно време машини за мъд фарминг се характеризират с тяхната амфибийна способност да се движат както върху твърда повърхност, така и да плават в свободни водни площи. Това се постига посредством шнековете на машината. Те могат да са с по-голям диаметър и по-леки, за по-голяма Архимедова сила, която да поддържа машината в плаващо състояние или с по-малък



диаметър и по-тежки, което е подходящо за производствени условия при които машината стъпва върху консолидиран материал и обработва тънък слой от неконсолидиран такъв (суспензия или течност).

Шнекови амфибийни машини се използват за военни цели или различни дейности в отдалечени и блатисти терени от първата половина на 20 в. Приложението им при минни дейности започва от началото на 21 в. Разработването на подхода на мъд фарминг го превръща в няколко-стаиен технологичен процес с което се постига бързо отводняване и консолидация на намит фин хвостов материал.

Решението „Елаците-Мед“ АД да започне използването на мъд фарминг технологията при нейния технологичен процес бе взето след внимателно проучване на добрите практики в тази област, като се премина през тестов период с мъд фарминг машина на територията на хвостохранилище „Бенковски-2“.

2. МЕТОДОЛОГИЯ И ВХОДНИ ДАННИ

2.1. Технология на депониране на хвостов материал в хвостохранилище „Бенковски-2“

Отпадъкът излизащ от флотационната фабрика се транспортира по хвостопровод посредством хидро-гравитационен метод. Хвостопроводът е с дължина от 7.97 km. По протежение на короната на хвостовите стени материалът се хидроциклонира. Грубият материал се полага за изграждане на въздушния откос и в някои от плажните зони. Последното цели безопасно управление на позицията на утаечното езеро. Финият материал се намира през изпускателни тръби, като се оставя той да меандрира свободно. Процесът на седиментация е самоорганизиращ се и по този начин се формира широка плажна зона с много малък ъгъл на наклона. Ширината на плажната зона варира, според това къде се намира материал, дали секцията е активна или не, позицията и дълбочината на утаечното езеро и геометрията на хвостовите стени и оградни диги.

Цялото хвостохранилище като съоръжение се управлява с две работни секции – „Сулуджа дере“ на изток и „Ай дере“ на запад, като те са разделени от междинна дига. От юг, секциите са ограничени от хвостовите стени, които са изградени от груб хвостов материал – пясъци. Няколко оградни диги от земно-каменен тип ограждат съоръжението от изток, север и запад. Намиваният материал в тегловно количество от 60% е с размер по-малък от 80 μm . Двете секции се редуват, като една е в период на активно намяване, а другата почива. Оперативният период за една от секциите е между 1.0 и 1.25 години. Периодът за почивка е необходим за постигане на определена степен на консолидация и плътност, която да осигури стабилитета на проектите наклони на въздушните откоси на хвостовите стени и оградните диги. Дебелината на един оперативен цикъл за секция е 5 m, което води до нарастване на нивото на съоръжението в последователност от 5 m за всяка секция. Дългият период за почивка на дадена секция мотивира управлението на компанията да потърси добри световни практики за консолидация на хвостов материал, каквато е технологията мъд фарминг.

2.2. Мъд фарминг в хвостохранилище „Бенковски-2“

Мъд фарминг в хвостохранилище „Бенковски-2“ се провежда в активните секции покрай короните на хвостовите стени и оградни диги. За по-добро управление на влиянието на утаечното езеро върху мъд фарминга са построени къси перпендикулярни на короната диги, върху плажната зона. Те разделят общата площ за мъд фарминг на няколко подзони. Така мъд фармингът се управлява по по-добър и по-лесен начин.

Мъд фармингът започва работа в подготвителен слой от намит материал, където машината плава в суспензия, без да стъпва върху твърд субстрат. През този етап се използват по-леки шнекове с по-голям диаметър. След като подготвителният слой е напълно обработен, следва производствените етапи, когато машината стъпва върху подготвената твърда основа. Тогава се използват по-тежки шнекове с по-малък диаметър (Фигура 1). Последователното полагане на слоеве за обработка става на дебелина от 0.9 до 1.0 m. Дебелината на всеки намит слой се контролира с предварително поставени дървени колчета, стърчащи над твърдата основа на 1 m. С тях се постига визуален контрол за дебелина от 90 cm.

Всяка обработана площ се нарязва 8 до 9 пъти, с което се постига подходяща якост на срязване на обработения материал. Така той ще може да издържи товара на тежка механизация, в т.ч. булдозери и вибрационни валащи. Процесът на нарязване оформя лек наклон към езерото в плажната зона, което спомага повърхностната вода бързо да се оттича към езерото.

2.3. Консолидиране на намит хвостов материал чрез мъд фарминг

Целият процес на мъд фарминг ускорява обезводняването и консолидацията на хвостовия материал до 6 пъти спрямо естествения покой на даден площ.

Консолидация от 0 kPa якост на срязване до поне 35 kPa протича за около 40 дни по време на подготвителния етап и около 30 дни за производствения етап (Фигура 1). Якостта на срязване се контролира с ръчна крилчатка. Осигуряването на поне 35 kPa позволява навлизането на тежка механизация в обработената площ за подравняване и допълнително уплътняване.

В някои от производствените кампании успяваме да постигнем свиване на 1 m обработена дебелина до 78 cm консолидиран материал. Това е 22% намаляване на дебелината. В някои от случаите, при допълнително използване на вибрационни валащи, може да се постигне до 40% намаление на дебелината на консолидирания материал. Някои от кампаниите за обработка се контролират посредством ортофотограметрия.



Фигура 1 – Подготвителен мъд фарминг в слой с неконтролирана дебелина (4 снимки вляво) и производствен мъд фарминг в слой с контролирана дебелина (4 снимки вдясно). Числата до снимките показват дните за които площта е обработвана (Munro, 2017)

2.4. Консолидиране на погребан хвостов материал под зони с проведен мъд фарминг

За оценка на влиянието на мъд фарминга върху по-дълбоки нива с погребан материал под плажната зона бяха проведени шест DPTH (Dynamic Penetration Tests, Heavy) – динамични пенетрационни тестове, тежък тип. Измерванията се проведеха до дълбочини между 23 и 30 m. Наблюденията показаха слабо подобрене на плътността на материала погребан под зони обработвани с мъд фарминг, сравнено с материали на по-голямо разстояние от короната на стената и по-близо до утаечното езеро.

Изследваната площ е част от плажната зона на „Ай дере“, т.е. западната секция. Тестването беше проведено след пълен период на покой, в продължение на 15 месеци. Естествено консолидираната почвена повърхност позволи издърпването на тестовата машина доста навътре в посока на езерото. За гарантиране на безопасността, якостта на срязване на местата за тестване беше проверявана с ръчна крилчатка. Някои от тестовите бяха прекратени преди достигане на 30-метровата планирана дълбочина, поради невъзможност тестовият инструмент да проникне по-дълбоко.

2.4.1. Параметри на тестовата машина DPTH

Съпротивлението на пенетрация беше измервано посредством броя на ударите (N10) необходими да се проходите 10 cm. Непрекъснат отчет се взимаше на всеки 10 cm. Динамичната пенетрация се проведе чрез използването на универсален динамичен пенетрометър DPT-H, произведен от C-TECH, Китай (Фигура 2). Параметрите на тестовата машина са представени в Таблица 1.

Таблица 1 – Параметри на тестовата машина, тип DPT-H (Енчев, 2022)

параметър	стойност
Тегло на чука	50 kg
Височина на свободно падане	0.50 m
Тегло на наковалнята заедно с насочващ лост	18 kg
Диаметър на конуса	42 mm
Конична площ	15 cm ²
Дължина на единичен лостов сегмент	1 m
Тегло на лоста	6 kg/m
Дължина на интервала за отчитане	0.10 m
Индекс за брой удари	N(10)
Корелационен коефициент DPH-SPT	
(динамична пенетрация – стандартна пенетрация)	2.034
Коничен връхен ъгъл	90°

3. АНАЛИЗ НА ДАННИТЕ И РЕЗУЛТАТИ

3.1. Повърхностни данни

Ръчно опробване за якост на срязване, посредством крилчатка, показва нарастване на якостта с увеличаване на броя нарязвания при мъд фарминг, както и при намаляване на разстоянието от короната на хвостовата стена (Дилов и Димитров, 2021) (Фигура 3). Водното съдържание намалява с нарастване на броя на нарязванията и с увеличаване на якостта на срязване (Фотев, 2021) (Фигура 4).

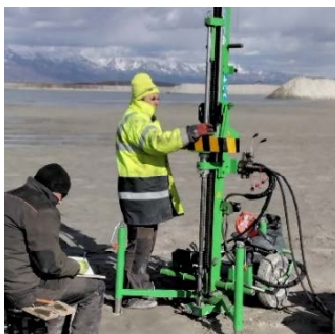
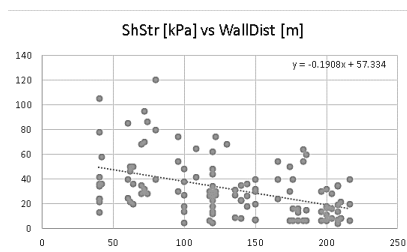


Figure 2 – Тестова машина DPT-H използвана за изследването (Енчев, 2021)

3.2. Тестове чрез динамична пенетрация, тежък тип в дълбочина

Бяха проведени шест DPT-H теста в зони с проведен мъд фарминг. От тях единичен тест е контролен и още пет теста са разположени по профилна линия, приблизително перпендикулярно на оста на хвостовата стена (Фигура 5). Два от тестовете попадат в зона без проведен мъд фарминг (DP5 и DP6) в посока към езерото. Разстоянията между съседни сондажи и до короната на хвостовата стена са представени в Таблица 2.



Фигура 3 – Якост на срязване спрямо отдалеченост от короната на хвостовата стена след проведен мъд фарминг (Дилов и Димитров, 2021)

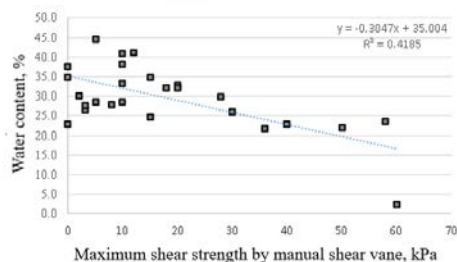


Figure 4 – Водно съдържание спрямо якост на срязване след проведен мѐд фарминг (Фотев, 2021)

Полученият от изследването разрез (Фигура 6) показва слабо увеличение на степента на консолидация за материала разположен под зоните с проведен мѐд фарминг. Тази тенденция трябва да бъде допълнително потвърдена, тъй като данните не показват силна корелация на плътността между зони с проведен мѐд фарминг и такива без. За повече подробности вижте дискусията по-долу.

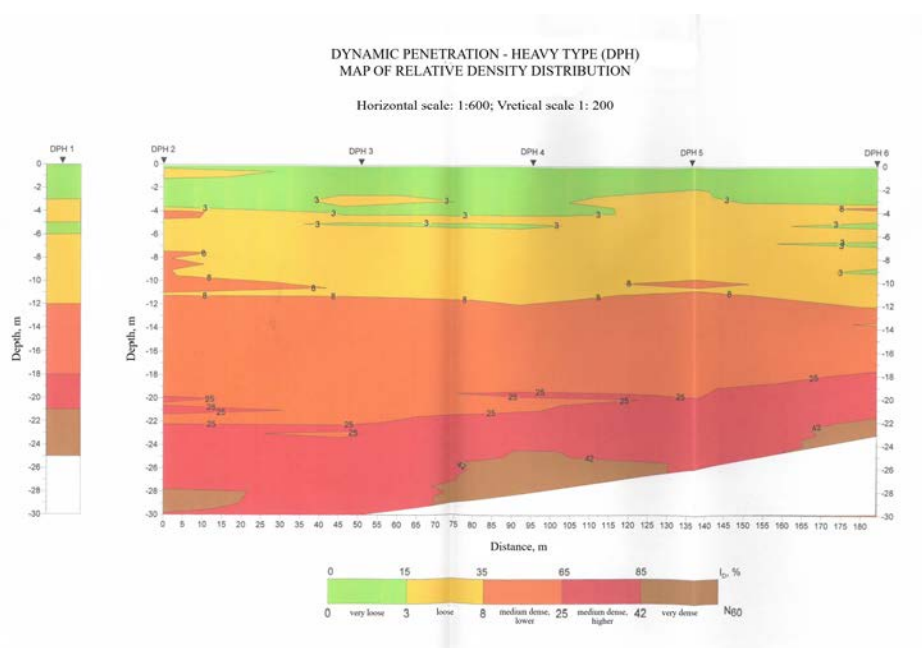
Полевите данни са обработени със софтуер Dynamic probing VI.00 на GEOSTRU, Румъния.

Таблица 2 - Разстояния по профилната линия на тестване, заедно с дълбочина на сондажите

Интервали между тестваните сондажи	Разстояния между сондажите и между короната и сондажи	Дълбочина на сондажа
Корона – DP1	95.293 m	25 m
Корона – DP2	214.000 m	30 m
DP2 – DP3	50.819 m	30 m
DP3 – DP4	44.471 m	28 m
DP4 – DP5	41.157 m	26 m
DP5 – DP6	47.718 m	23 m



Фигура 5 - Локации на DPT-N тестване: точките показват позицията на сондажите (отгоре е обозначен сондажният индекс, а отдолу – котата на сондажното дѐно); зоните с проведен мѐд фарминг са показани с правоъгълници, с обозначена тяхната площ в хектари; за разстоянията по профилната линия виж Таблица 2.



Фигура 6 – Интерполирана относителна плътност, I_d [%], в тестваните сондажи; единичният сондаж DP1 е показан отляво за сравнение; DP5 и DP6 попадат извън зоната с проведен мъд фарминг (Енчев, 2021).

4. ДИСКУСИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Мъд фармингът притежава няколко преимущества. При оперативните условия на хвостохранилище „Бенковски-2“ той ускорява консолидацията на намития материал до 6 пъти. При благоприятно стечение на обстоятелствата, свиването на заетия обем може да достигне до 40%. В допълнение се увеличава склоновата устойчивост на стените, посредством увеличаване на плътността и обезводняването на материала, като успоредно намалява и поровото налягане. Влиянието на последното допълнително повишава склоновата устойчивост при статични и динамични състояния. Крайната геометрия на терен обработен с мъд фарминг е груба, с жлеbove и малки хребети, което способства за намаляване на кинетичната енергия на праховите частици в образуващия се аерозол при силни ветрове. С това значително се намалява прахообразуването. Машината за мъд фарминг може да бъде оборудвана с GPS приемник за по-добро управление на трасето на работа. Управлението на машината е сравнително лесно, благодарение на елементарен контрол на движението посредством джойстикове. Работната площадка на машината може лесно да бъде променяна при нужда – машината може да прекоси цялото хвостохранилище за кратко време. Машината може да се използва 24/7, само с кратки прекъсвания за обслужване и смяна на операторите.

Намивният процес по отношение на полагането на твърдия хвостов материал е силно самоорганизиращ се. Водата се оттича с меандри и анастомозна геометрия, което влияе на седиментацията на нехомогенни слоеве. Мъд фармингът противодейства на това и хомогенизира материала, което е особено благоприятно за повишаване на стабилитета на стените.

По-бързите отводняване и консолидация спомагат за по-дълги периоди на експлоатация на една секция, посредством освобождаването на част от планирания за депониране обем. Това увеличава цялостния проектен живот на съоръжението и намалява необходимостта да се търсят допълнителни обеми за намиване.

Въпреки преимуществата на мъд фарминг технологията, тя притежава и недостатъци. Не е особено подходяща за региони с постоянно замръзнали почви и сурови зими с продължителни периоди на температурата под 0 °C. Ледената покривка на почвата може лесно да повреди хидравличното задвижване на машината. Работа в прекалено абразивни субстрати, каквито са и условията с отпадния материал на „Елаците-Мед“ АД, води до бързо износване на шнековете. Те трябва да бъдат навреме



подменяни за да се осигури безопасната работа с машината. Операторът трябва да поддържа постоянно внимание относно как машината си взаимодейства с обработвания материал, особено когато тя стъпва върху такъв със значителни разлики в консолидацията и размера на частиците. Самоорганизиращата се нехомогенност в отложените слоеве, може да доведе един от шнековете да попадне в по-мек материал, а другия шнек да остане върху по-твърда повърхност. Това може да предизвика голям страничен наклон на машината, ако тя се управлява от неопитен оператор, и да се получи критична ситуация.

Оперативните условия в хвостохранилище „Бенковски-2“ могат да доведат до бърза промяна на геометрията на утаечното езеро, при все, че неговата дълбочина се поддържа относително постоянна. Случвало се е по време на обработката с мърд фарминг, зоната да бъде наводнена от страна на езерото. Това води до прекъсване на отводнителния процес и удължава обикновената продължителност за един работен цикъл на осушаване на дадена зона.

В заключение, преимуществата на метода значително надминават недостатъците. Това е в силна подкрепа за използване на мърд фарминг обработка на депониран хвостов материал на място и по конкретно за случая на хвостохранилище „Бенковски-2“.

БЛАГОДАРНОСТИ

Предварителни изследвания на Димитър Фотев са използвани в настоящата публикация. Той беше служител на „Елаците-Мед“ АД по време на въвеждане в експлоатация на първата машина за мърд фарминг. Благодарности изказваме към инженерно-геоложката компания „Геотехника Инженеринг“ ООД и управителя ѝ Румен Енчев. Компанията беше наета да проведе тестове чрез динамична пенетрация, тежък тип. Служителите ѝ работиха при трудни зимни условия. Никола Тошков, служител на „Елаците-Мед“ АД, помогна с изчисляване на разстояния по профилната линия за тестване чрез динамична пенетрация.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Дилов, Цв., Димитров, Ст. (2021). Ускорено обезводняване и уплътняване на депониран хвостов материал чрез мърд фарминг, Национална научно-техническа конференция “Управление и безопасност на хвостохранилища”, Етрополе, Софийска област.
2. Енчев, Р.. (2022). Динамична пенетрация, тежък тип – тестови резултати, „Геотехника Инженеринг“ ООД, София.
3. Фотев, Д. (2021) Непубликувани данни за якост на срязване на обработен с мърд фарминг хвостов материал, „Елаците-Мед“ АД, с. Мирково, Софийска област.
4. Munro, L. (2017), Ellatzite-Med AD mud farming trial final report, *Residue Solutions Plc.*, Brisbane, Australia.



ИЗГРАЖДАНЕ И ВЪВЕЖДАНЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА АВТОМАТИЗИРАН МОНИТОРИНГ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ЧЕЛОПЕЧ

инж. Людмил Кантарджиев, e-mail: Lyudmil.Kantardjiev@Dundeeprecious.com

РЕЗЮМЕ

Автоматизацията на мониторинга на хвостохранилище Чelopeч се извършва с цел централизация на управлението и повишаване количеството и качеството на оперативните отчети, необходими за анализ и превенция. Основен акцент е възможност за осигуряване на оперативно присъствие на всяка точка във всеки момент. Изискването към автоматизацията е пълно покритие на всички аспекти, подлежащи на мониторинг. Разделът мониторинг е продължение в етапната автоматизация на хвостохранилището, чието начало е поставено с изпълнените проекти в последните години и продължава с непрекъснато усъвършенстване. В предходния период бяха автоматизирани напълно: управление и отчет на водите в производството; количество и качество на пулпа, метеорологични данни, количество и качество на дренажите.

Хвостът е отпадъчен продукт, който няма финансова печалба за оператора на мината в момент на активен добив и преработка. Обикновено се съхранява по възможно най-рентабилния начин, за да отговаря на нормативните изисквания и специфичните за обекта фактори, посредством преградни съоръжения в долини, насипи и други методи за съхранение, познати в практиката при планиране и депониране на хвостохранилища. Конкретният дизайн на тези поддържащи конструкции е уникален за конкретна среда и минна техника и технологии, използвани от оператора.

Предизвикателствата, свързани със съхранение на минни отпадъци, непрекъснато нарастват с напредъка в технологиите, които изискват дълготрайно и безопасно съхранение. Завишените критерии за опазване на околната среда също напредват, поставяйки по-строги условия към минната индустрия, особено по отношение на практиките за съхранение на минен отпадък, щадящ здравето на хората и околната среда. Това в крайна сметка поставя допълнителен натиск върху операторите на хвостохранилища, които изпълняват ежедневните дейности по депониране, управление на водите и мониторинг. По-голямата част от историческите инциденти, свързани с хвостохранилища, са били повлияни от недостатъчното оперативно управление и занижени критерии при извършвани наблюдения и измерване, което създава предпоставка за въвеждане на строги правила, контролиращи съхранението на минен отпадък днес. Параметрите, които влияят върху стабилността, ежедневната работа и управление, са идентифицирани и представени заедно с методи за контрол и мониторинг в национални и международни ръководства, чието съдържание е относително сходно.

Особен интерес на хвостохранилищата представлява мониторингът на индикативни параметри, свързани със функционалността на съоръжението, които биха могли да дадат ранно предупреждение през време на рутинна дейност, или за начало и развитие на всякакъв вид проблеми свързани със сигурността. На практика, честотата на провеждане е съществен фактор при анализ на данните. С нарастване на изискванията за точност и обем на мониторинга, се оказва сравнително сложно да се осигури комплексно измерване на серия от параметри в един и същ момент, използвайки познатите методи. В нормални експлоатационни условия мониторингът се извършва чрез физически наблюдения и измерване, което отнема значителен период от оперативно време на различни направления от дружеството и често води до натрупване на грешки, резултат от субективна преценка и неправилен подход при измерване.

Въпреки увеличените площи, високите критерии за представяне на мониторинга и строгите изисквания към експлоатацията на хвостохранилищата, човешкият фактор остава незаменим при периодична оценка, обработка на данни и вземане на решение в резултат от представени наблюдения и измерване. В унисон с напредъка на техническите средства и технологии за добив и преработка на минералите, съществен напредък се отчита и в методите и средствата за експлоатация и мониторинг



на хвостохранилища. Въвеждане на електронни средства за мониторинг и контрол, е предпоставка за придобиване на значителен набор от познания, анализи и прогнози относно поведението и състоянието на депонираните материали в дългосрочен аспект. Автоматизацията на голяма част от процесите позволява оперативните служители да наблюдава комплекс от мониторингови параметри, както и да проследяват развитие и история във времето на всяко явление, свързано с конкретния случай. Комбинацията от измерване и наблюдение на серия от мониторингови елементи в един и същ момент спомага за бърза локализация, навременни мерки за смекчаване и вземане на решения, както в условията на рутинна експлоатация така и при индикация на нередност или проблем.

Хвостохранилище Челопеч

Хвостохранилището е изградено в естествената долина, южно от производствената площадка на Обогабителния комплекс към Дънди Прешъс Металс Челопеч ЕАД. Площадката на съоръжението за съхранение на минни отпадъци (Хвостохранилище Челопеч) е на 4 км южно от Челопеч, с надморска височина 630 МНВ. Непосредственият път за достъп към хвостохранилището и прилежащите съоръжения са отклонения на подбалкански път I-6.

Районът на Хвостохранилището включва хълмистата част южно от с. Челопеч, в централната част на Златишко-Пирдопската котловина. На север граничи с източно етрополската част на Стара планина, а на юг със северните склонове на Средна гора. Хълмистият релеф тук се формира от скалите на арденската група, характерни с висока степен на изветряне в повърхностните зони и нисък коефициент на филтрация.

Експлоатацията до кота 614 МНВ се извършва по класическата схема, възприета в началния период, с гравитачен хидротранспорт по открит улей, конвенционално депониране и връщане на пречистените води в производството. След надграждане до кота 620, схемата за експлоатация търпи генерални промени, като фокусът е върху повишаване на сигурността и опазване на околната среда. Хидротранспортът се осъществява в гравитачно – напорен режим, по тръбопровод, монтиран върху естакада, като съществуващите улей остават осигуряваща обваловка при евентуални пропуски в тръбопровода. Надграждането на стената се извършва от местни, земноскални материали, със затежнение по цялата част на въздушния откос. Съществена промяна е въведена в технологията на депониране на състен, до 50% пулп. Предимствата на технологията са значителни, с насоченост към опазване на околната среда, като свеждат до минимум възможността запрашаване и постъпване на извънбалансови количества контактна вода. През този период е надградена мониторинговата система във всички детайли, като измерванията се извършват предимно ръчно.

С реализация на следващите проекти за Модернизация и Надграждане до кота 630, мониторинговата система претърпява оптимизация, което разширява периметъра за оперативен мониторинг и увеличава броя на измерваните параметри. Поради необходимост от прецизни измервания с по - висока честота, точност при анализ, планиране и ранно прогнозиране, след завършване на надграждането до 630, стартира изграждане на система за автоматичен мониторинг на хвостохранилището. Интеграцията на системата се извършва поетапно като основната част е изградена в три етапа, обединени в един проект, след което продължава с непрекъснато надграждане и оптимизация.

Принцип за привеждане на оперативния модел в съответствие

Мониторинг на хвостохранилище Челопеч до кота 620. Оперативната дейност, след надграждане до кота 620 продължава по установения ред за депониране на състен отпадък и връщане на избистрените води обратно в производството. Съгласно Инstrukция за експлоатация наблюдения и измервания на хвостохранилището се разделят на две части:

- **Оперативен мониторинг**

Състоящ се във визуални инспекции на оперативния персонал: Ежемесни, провеждани от дежурен оператор; Инспекции насипни съоръжения; Инспекции на залята площ; Инспекции на линейни



съоръжение (в т.ч. канали, пътища, тръбопроводи); Инспекции на съоръжение на оперативната инфраструктура (в т.ч. помпени станции и агрегати, дренажи, водосъбирателни и водоотвеждащи съоръжения); Месечни, визуални инспекции; Обобщаващи в присъствието на инженер; Двумесечни, визуални инспекции; Обобщаващи в присъствието заинтересовани страни от дружеството (Оперативни, Поддръжка, БЗР, ООС);

- **Мониторинг за съответствие**

Съответствието се определя от критериите поставени в Инструкцията за експлоатация, актуалните препоръки в тримесечните доклади за одит на оперативни данни и докладите на Инженер – Консултанта. Периодичните измервания и отчет, извършвани от оперативния персонал като: Отчет на дебит и налягане в тръбопроводи; Ръчно измерване на активна реакция; Ръчно измерване Пиезометрични нива, се актуализират с ниска честота. Измерване за съответствие от специализиран персонал към дружеството се извършва за: Деформации в насипите; Водни нива и нарастване на хвостохранилището; Площи на езера и хвостохранилище, отново с недостатъчна честота;

- **Периодичен анализ на измерванията**

Данните от мониторинга, за определен период, съгласно Инструкцията за експлоатация, се анализират оперативно - вътрешнофирмен анализ и от външен Консултант с периодичност както следва: Вътрешна оценка за съответствие; Тримесечна и годишна оценка за съответствие; Тригодишна оценка за съответствие;

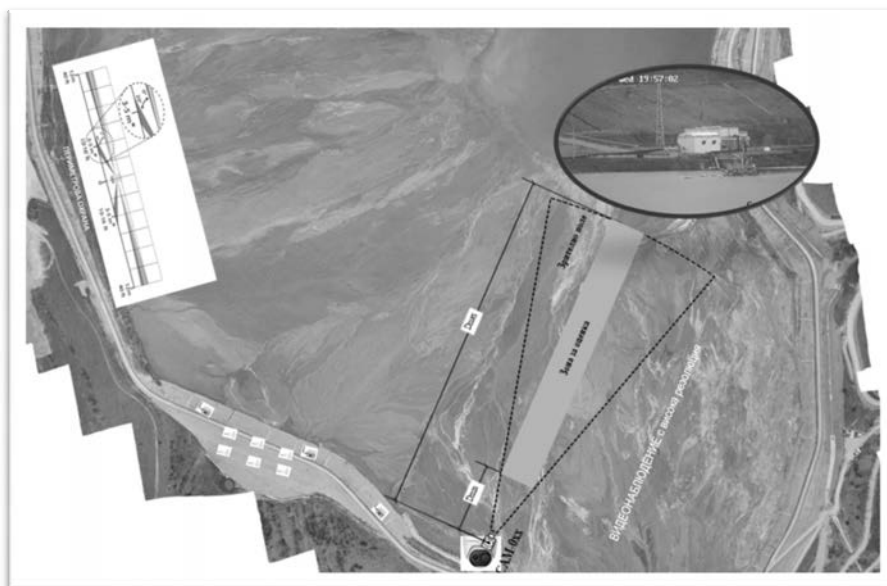
Оптимизация на мониторинг и докладване след надграждане на хвостохранилище Челопеч до кота 630. С надграждане на хвостохранилище Челопеч до кота 630 се увеличава височината на стената и достига до 80 метра, надграден е и целият периметър на заливаемата площ. В паралел с надграждането, дружеството приема принципи за въвеждане в съответствие на оперативната дейност с Международните стандарти. Мониторинговата система е разширена значително, като се възприемат високите критерии за сигурност на Съоръженията за съхранение на минни отпадъци СМО, поставени в Глобален стандарт. С цел да отговори на новите предизвикателства, изисквания за безопасност и екологични норми, за оперативната дейност се поставя нов етап в развитието на мониторинга чрез автоматизация и цифрово моделиране, изпълнено в три основни етапа.

Последователност при изграждане на автоматичните модули на мониторинговата система на хвостохранилище Челопеч

Проектът е разделен на три части, следващи принцип на последователност, като всеки етап е зависим от предходния. Проектиране и изпълнение следват подходящ алгоритъм който започва с разработка на идеен план: - проучване на възможностите - разработка на чертежи и записки, избор на оптимални и съвместими варианти и реализация. Етапността за планиране и изпълнение е приета след моделно изследване и проучване за съвместимост на теренните характеристики и предлаганите измервателни компоненти със съществуващата инфраструктура.

- **Първи етап на изграждане**

Последователността за реализация на първи етап с фокус към оптимизация на Оперативен – Визуален мониторинг, Превенция и Охрана, с осигуряване на хранваща, поддържаща и комуникационна инфраструктура. За покриване целите в този етап, е изготвена проектна разработка с цялостна визия за елементите които трябва да бъдат монтирани и техните технически характеристики. Рамката към която се придържа е осигуряване на пълно покритие за детайлен, визуален оглед на тръбопроводи, сгради, насипни съоръжения плаж, езеро, дренажи и т.н. по всяко време на денонощието, независимо от метеорологичните условия.

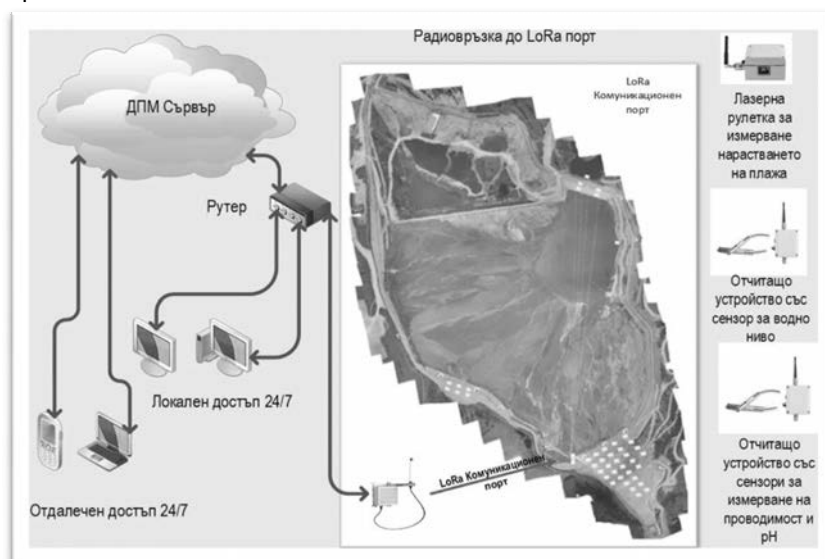


Фиг. 1. Визуален мониторинг и Периметрова охрана

Монтажът на захранващите и комуникационни модули е извършен в рамките на планирания срок, с което е осъществена връзка до всеки детайл от съоръженията. Съгласно проекта, са монтирани разклонителни портове за всяка точка, подлежаща на мониторинг. Паралелно с изграждането на комуникационния и захранващ блок се монтират опорните елементи, включващи опори на устройствата за визуален мониторинг, опори на сензорите за налягане и дебит и охранителните сензори. Обхватът на този етап придава завършен вид за дигитализацията на оперативния - визуален мониторинг, мониторинг на хидравличните режим в тръбопроводите и охранителна система.

- Втори етап

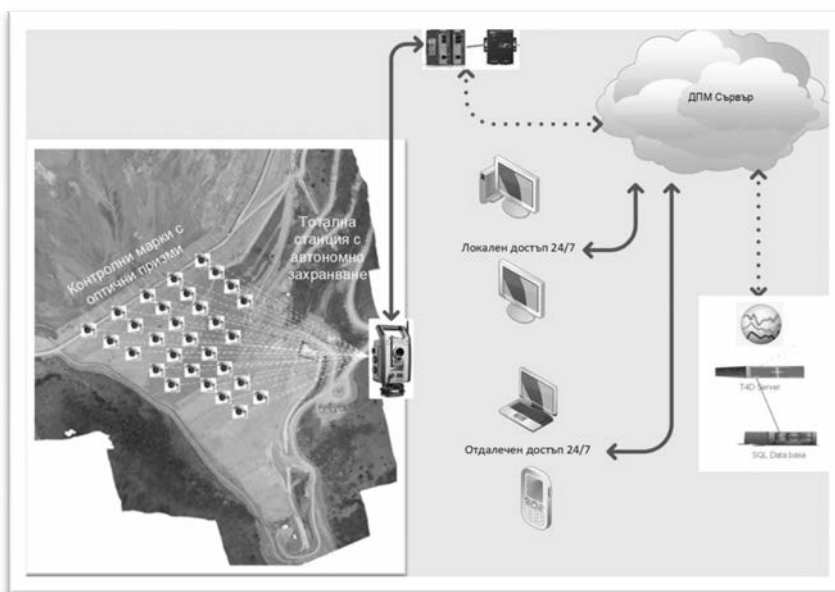
Обхватът на втория и трети етап от проекта, е съсредоточен в дигитализация на мониторинга за съответствие. През втория етап са инсталирани устройства за измерване на нива, в т.ч. водни, пиезометрични и на сухата повърхност в плажа, чиито възможности за прецизност, честота на измерване и представителност варират в широк диапазон, с възможност за контрол. Измерванията се извършва посредством широкоразпространените, в последните години, сензори с вибрираща струна, автономно захранване и безжична, радио връзка с комуникационен порт, свързан към новоизградената комуникационна мрежа.



Фиг. 2. Принцидна схема на комуникация при Етап 2

- Трети етап

Третиет етап завършва един от най - значимите мониторингови елементи за отчет на деформациите в земен насип. Възможностите на системата покриват и най - консервативните изисквания за честота и точност на измерванията. Не на последно място е програмният продукт , осигуряващ визуализация на данните от измерванията. Възможностите на тази програма са в състояние да осигурят представяне на данните във всички посоки, сравнителни характеристики, анализи доклади, своевременна сигнализация при отчет на несъответствия и редица възможности за модификация необходими за съставяне на прогноза, като резултат от отминали събития и текущо състояние. Всички дейности по реализация на проекта се извършват в рамките на година и половина, като се спазва принципът за алгоритъм и задължението за съгласуване.



Фиг. 3. Измерване на деформации и комуникация между потребителите

Визуализация, мониторинг и анализи

Всяка стъпка от реализацията на проекта е придружавана с визуализация на наблюдения и измервания. През първия етап, видеонаблюдението се интегрира в програмен продукт, собственост на дружеството с възможности за детайлно наблюдение на целия периметър на хвостохранилището в един и същ момент. Камерите се характеризират със значително увеличение и способност за въртене на 360° и заснемане по всяко време на денонощието. Програмен продукт отчита и движенията по периметъра на хвостохранилището посредством сензорите от периметровата охрана, които имат двойно предназначение, поради способността си да идентифицират топлинен обект в обхвата на действие. Монтирани върху опорите на хвостопровода сензорите могат да отчитат както преминаване на тяло с различна температура, така и вероятен пропуск на пулп от тръбопровода. Друга осигуровка за ранно сигнализиране, срещу нарушения в хидравличния режим на тръбопроводите са сензорите за налягане, монтирани в критични точки на хвостопровода и тръбопровода за обратно водоснабдяване. В случай на промяна в хидравличния режим, дежурен оператор сигнализира към поддържащото звено. Наблюденията на всеки детайл, графично или визуално, въведен през първи етап на автоматизацията, се извършват под формата на непрекъснати дежурства 24/7, от създаден за целта видеоцентър, което покрива напълно изискванията за превантивен, оперативен мониторинг. Допълнително, отчетите от всички сензори се наблюдават от квалифициран, оперативен персонал, към хвостохранилището с дежурство 24/7.

Елементите на мониторинговата система въведени през втори и трети етап с акцент към мониторинг за съответствие. Нестандартно въведение при втори етап са „лазерни рулетки“ за



измерване нарастването на сухата част на плажа пред Основната и Западна стени. Измерванията са индикативни с цел превенция срещу възможността за образуване на ниски участъци пред стените и влияние на водите, в случай на Високи вълни. Съществен фактор, спомагащ оперативния анализ на данни, през втори етап, е автоматизираното измерване на водни нива в безнапорни пиезометри. Отчетите се вземат с контролируема честота, в зависимост от необходимостта тя е в широк диапазон от 30 сек, до 24 часа. Комбинация от същия тип устройства дава отчет за нивата в двете езера, ретензионното над Североизточна ретензионна стена и утаителното езеро за оборотни води.

Трети етап от автоматизацията е свързан с монтаж на роботизирана тотална станция и устройства за ориентация и отчет. Станцията е монтирана на подходящо място с осигурени визури към всички устройства, прилежащи към измервателната система на Основната стена. Според настройките, честотата на измерванията е с възможност за корекция според необходимостта. Предимство в случая е възможността за измерване при необходимост, по всяко време. Типичен пример за необходимост от извънредно измерване е преминаване на екстремно събитие. С цел да се създаде непрекъснатост на измерванията, дори и в екстремни ситуации, системата е с изградено автономно захранване.

Етап на допълнителна интеграция. С цел подобряване на анализ и превенция, през този етап се въвеждат поредица от подобрения в програмния продукт. Като превантивна мярка се въвежда сензорна индикация за наличието на дренажни води в тялото на Западна стена. Стената е осигурена в случай на филтрация, но сензорите ще отчетат началото на процеса. Друг предмет на този етап е интеграцията на автоматизираната метеорологична станция, с цел оптимизация мониторинга на води. С въвеждане на отчетите, успешно се съставят сравнителни зависимости между валежи-вятър – изпарение - филтрация – езера и т.н. Неделима част от този етап е интеграцията на отчетите на част от разходомерите свързани, непосредствено с хидравличният режим на дренажите и водния баланс.

Всички отчети на електронните устройства се събират и анализират в специализиран програмен продукт с възможности за въвеждане на исторически данни, анализ, обработка и настройки на аларми в зависимост от необходимостта и оценката на риска. Обработените данни, представени от програмния продукт се анализират на оперативно ниво и от Консултанти под формата на Доклад за съответствие.

Заклучение и постигнати резултати

Етап 1. Система за видеонаблюдение и електронен трансфер на данни. Автоматизиран мониторинг на хидравличния режим в тръбопроводите. Автоматизирана система за охрана

- Редукция на субективния фактор при вземане на текущи решения. Възможност за преглед на история в краткосрочен план;
- Възможност за наблюдение анализ на всички компоненти подлежащи на визуален мониторинг;
- Квалифицирана оценка при забелязани несъответствия от всяка точка без задължително посещение на място;
- Запис и история на развитието на събитието от началния момент;
- Индикация и локализация на всяка точка при нарушение в хидравличния режим. Превантивни мерки за недопускане на аварийни ситуации;
- Ритмичен отчет на всички компоненти едновременно в няколко или всички точки;
- Аларма при констатирани нередности във всяка точка от съоръжението;

Етап 2. Система автоматичен мониторинг на пиезометри, водни нива в езерата и нарастване на плажа във вертикална посока

- Редукция на грешката при ръчно измерване и отчет;
- Увеличена честота на измерване;
- Аларма, чрез телефон и електронна поща, при достигане на критични нива в пиезометрите;
- Отчет с висока честота на нивата във всеки момент;
- Редукция на субективната грешка при отчет на ниво във водоем, следствие слаба видимост или вълнение;
- Създаване на план за депониране, ритмично преместване и равномерно запълнение на плажа;



Етап 3. Система автоматичен мониторинг на деформации

- Увеличена честота на измерване според необходимостта и препоръките;
- Провеждане на измерване след преминаване на екстремно събитие без да се ангажира човешки ресурс;
- Редукция на грешката при ръчно измерване и отчет при монтаж и демонтаж на геодезически уреди;
- Унифициран подход за провежданите измервания;

Използвана литература:

1. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries (2018);
2. Global Industry Standard on Tailings Management (ICMM, August 2020);
3. Tailings Management: Good practice guide (ICMM, May 2021);
4. How monitoring can help make tailings dams safer (World Sensing);



СЕЙЗМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Николай Милев¹ и Такаши Кийота²

¹ Катедра „Геотехника“, Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, България; milev_fte@uacg.bg

² Лаборатория за редуциране на риска от геотехнически бедствия, Токийски университет (Институт за индустриална наука), 4-6-1 Комаба, Мегуро, 153-8505 Токио, Япония; kiyota@iis.u-tokyo.ac.jp

РЕЗЮМЕ

Докладът очертава някои базови подходи (с възможност за приложение в България) за динамично изследване на хвостохранилища и дефиниране риска от втечняване (увеличаване на порния натиск, което води до намаляване на коравината на материала) при сеизмично въздействие. За да бъдат постигнати тези цели е необходим разумен баланс между изследвания (геофизични, полеви и лабораторни) и анализ (аналитични процедури и числени методи), което да гарантира точност на заключенията. От една страна, строго прецизиран набор от проучвания би позволило сеизмичната устойчивост на съществуващи хвостохранилища да бъде оценена чрез прилагане на добре установени класически методи и процедури, а от друга – би послужила за база за калибриране на относително сложни и задълбочени числени модели, които впоследствие могат да дадат количествено измерение на напрегнатото и деформирано състояние на масива при различни стойности на земетръсното въздействие (според локалния сеизмичен hazard). Нещо повече, резултати от геофизични („suspension P-S logging“ и „RI logging“) и лабораторни тестове (измерване на скорост на разпространение на срязващи вълни чрез бендер-елементи и циклични триосови / торсионни изпитвания) биха позволили да бъде приложен иновативен и доказано прецизен подход за определяне на риска от втечняване (официално представен през м. ноември 2022 г. пред Технически комитет „ТС 221 – Хвостови и минни отпадъци“ към Международно геотехническо дружество, ISSMGE). Основните предимства на подхода са свързани с използването на нарушени образци (както е добре известно, вземането на ненарушени образци хвост е на практика невъзможно) и неговата точност (доказана чрез анализ на вече случили се земетресения) – понастоящем той се използва от редица японски фирми в практиката.

Ключови думи: геотехнически триъгълник, хвостохранилища, втечняване, сеизмично въздействие, циклични лабораторни изпитвания, геофизични методи, полеви геотехнически методи, сеизмичен hazard, скорост на разпространение на срязващи вълни, конститутивни модели, числено моделиране

SEISMIC ANALYSIS AND ASSESSMENT OF LIQUEFACTION RISK IN EXISTING TAILING DAMS

Nikolay Milev¹ and Takashi Kiyota²

¹ Department of Geotechnics, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, 1 Hristo Smirnenski Blvd., Sofia 1164, Bulgaria; milev_fte@uacg.bg

² Geo-disaster Mitigation Laboratory, The University of Tokyo (Institute of Industrial Science), 4-6-1 Komaba, Meguro City, 153-8505 Tokyo, Japan; kiyota@iis.u-tokyo.ac.jp

ABSTRACT

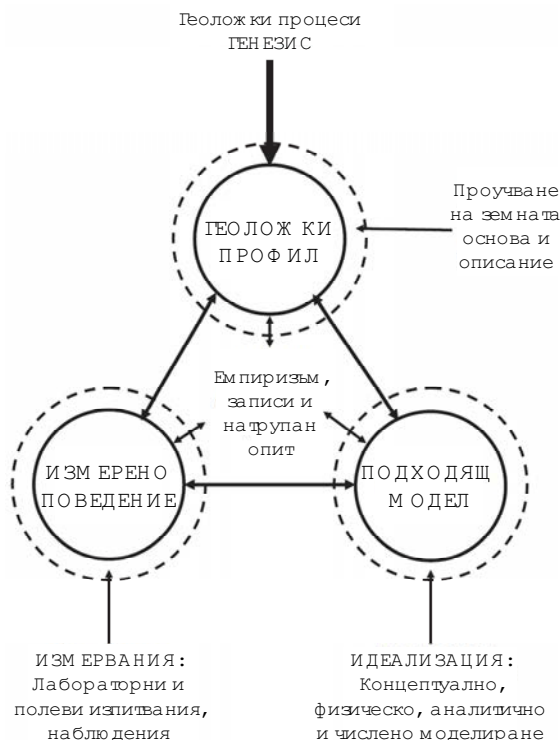
This paper outlines some basic approaches for studying the dynamic response of tailing dams (applicable in Bulgaria) and introduce some methods for assessing liquefaction (pore-water pressure increase which causes stiffness degradation of the material) risk during seismic excitation. In order to do so reasonable balance

between investigations (geophysical, on-site and laboratory) and analysis (analytical procedures and numerical approaches) is needed – in such way precision of conclusions might be guaranteed. On one hand, a strictly precise number of investigations might allow evaluation of seismic stability of existing tailing dams by implementing well-known classical methods (procedures) and on the other hand – to be able to act as calibration basis of relatively sophisticated and detailed numerical models which are capable of demonstrating in a quantitative way the stressed and deformed shape of the dam for various earthquakes (according to local seismic hazard). Moreover, results from geophysical tests (suspension P-S logging and RI logging) and laboratory tests (shear wave velocity measurements and cyclic triaxial / torsional shear tests) might allow the application of innovative and relatively precise approach for assessment of liquefaction risk (the above-mentioned method has been officially presented in November 2022 at the Technical Committee 221 – Tailing and Mine Wastes of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE). Main advantages of the method are linked with the use of disturbed samples (it is a well-known fact that the extraction of undisturbed samples of tailings is nearly impossible in practice) and its precision (proven by earthquakes which have occurred in the past) – it is currently used in industry in Japan.

Key words: geotechnical triangle, tailing dams, liquefaction, seismic excitation, laboratory cyclic tests, on-site geotechnical investigations, seismic hazard, shear wave velocity, constitutive models, numerical modelling

ВЪВЕДЕНИЕ – "ГЕОТЕХНИЧЕСКИЯТ ТРИЪГЪЛНИК"

Целта на представянето на т. нар. „геотехнически триъгълник“ е да акцентира върху баланса в базовите механизми за разрешаване на всяко инженерно предизвикателство в направление „земна механика“.



Фиг. 1 Геотехнически триъгълник. Всяка дейност е свързана със своя собствена специфична методология и прецизност – [7]

В общия случай, основните проблеми пред инженерите не са свързани със спецификата на почвата като материал (колкото и сложен да е той), а с игнорирането на редица аспекти, които трябва



да бъдат отчетени при разрешаването на даден геотехнически казус. Още в първата половина на XX век „бащата на Земната механика“, Карл Терцаги, изпитва затруднения с ясната формулировка на геотехниката, като инженерно направление. Той разграничава три отделни, но взаимно свързани, аспекта, които трябва да бъдат взети под внимание (и трите – подкрепени от емпирични процедури, записи от проекти и натрупан опит):

- Геоложки профил (включващ хидрогеоложки условия);
- Измерено поведение на земната основа;
- Избор на подходящ модел за предвиждане на реагирането на масива.

Успешното разрешаване на всеки геотехнически проблем е свързан с равномерно отчитане на именно тези базови аспекти в трите върха на „геотехническия триъгълник“, а инженерният стремеж следва да е свързан с това той да бъде „равностранен“ и „балансиран“ – Фиг. 1. Едностранчивото наблягане в дадена точка (например – прекалено сложно числено моделиране без необходимите входни данни за него) може да бъде прекалено консервативен подход или да има тежки последици за даден проект.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ ПРИ СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ, КАЛИБРИРАНЕ НА ЧИСЛЕНИ МОДЕЛИ И ПРОВЕЖДАНЕ НА НЕЛИНЕЕН ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ

Разглежданата методология се стреми да балансира „геотехническия триъгълник“ и да разгледа в еднаква дълбочина: 1) анализ на сеизмичния хазарт и условията за изграждане на разглежданото хвостохранилище (влияещи директно върху формирането на физико-механичните им параметри); 2) проучванията – геофизични, полеви и лабораторни; 3) методите за моделиране и оценка на сеизмичния риск.

За да бъде постигнато равновесие в гореизложеното докладът предлага да бъде направено следното:

1) Измервания:

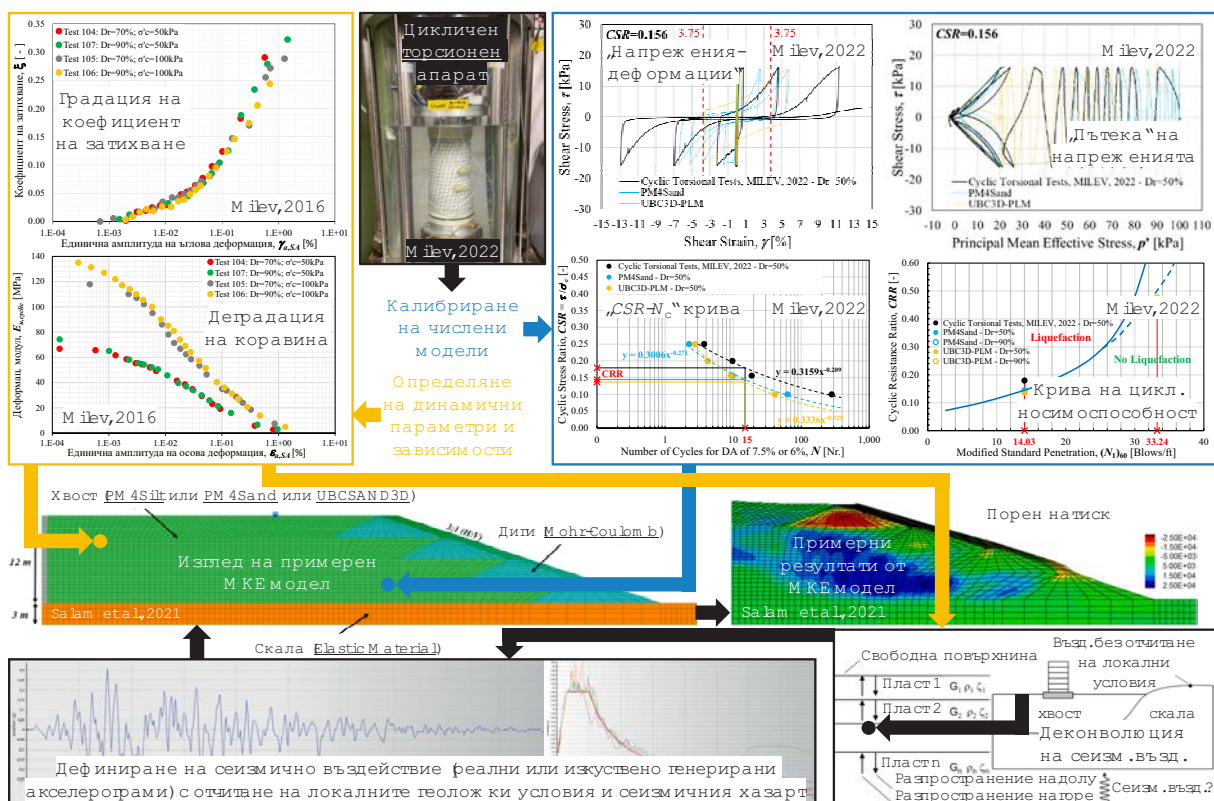
- Геофизични (изпитванията се провеждат в един и същ сондаж) – скорост на разпространение на сръзващи вълни („suspension P-S logging“) и плътност („RI logging“).
Цел: 1) оценка на риска от втечняване по класически и общоприети методи; 2) определяне на риска от втечняване по иновативна процедура; 3) определяне на коравина на хвоста при малки деформации (G_0); 4) дефиниране на сеизмичен профил до дълбочина 30 m ($V_{s,30}$).
- Полеви – стандартизирани пенетрационни изпитвания (позволяват вземането на нарушени проби, които да бъдат изпитани в лаборатория), SPT, и/или статични пенетрационни изпитвания, CPT.
Цел: 1) оценка на риска от втечняване по класически и общоприети методи, [5] и [6]; 2) определяне на риска от втечняване по иновативна процедура (описана по-надолу); 3) определяне на остатъчна недренирана якост на сръзване (процедура, която е разработена и използвана за хвостохранилища).
- Лабораторни – базови опити за определяне на физични параметри (зърнометричен състав, обемни плътности, Атербергови граници и др.), монотонни триосови изпитвания (при вариране с относителната плътност: консолидирани дренирани, консолидирани недренирани и неконсолидирани недренирани тестове) и недренирани циклични торсионни и/или триосови изпитвания – [10].
Цел: 1) предварителна оценка на склонността към втечняване на материала на база физични показатели; 2) оценка на риска от втечняване по класически и общоприети методи; 3) определяне на риска от втечняване по иновативна процедура (описана по-



надолу); 4) определяне на коравина на хвоста при малки деформации (G_0); 5) получаване на „статични“ якостни и деформационни параметри (ъгъл на вътрешно триене и кохезия при пълни и ефективни напрежения, недренирана якост на срязване, ъгъл на дилатансия, E_{50} , E_{ur} и др.) 6) определяне на ключови динамични параметри и зависимости за хвоста, които са необходими за провеждане на задълбочен числен анализ (крива на деградация на коравината, крива на градация на коефициента на затихване, обвивна „backbone“ крива, „CSR- N_c “ крива, зависимост „напрежения-деформации“, „пътека“ на напреженията, нарастване на порния натиск и др.); 7) калибриране на конститутивни модели за числено моделиране по MKE – „статично“ втечняване (например: NorSand) и „динамично“ втечняване (например: PM4Sand, PM4Silt и UBCSAND 3D, [3]).

- 2) Оценка на сеизмичния hazard и дефиниране на сеизмично въздействие за числени модели
- Дефиниране на спектър на реагиране с отчитане на локалните геоложки условия;
 - Подбор и скалиране на реални акселерограми от предишни земетресения на база на спектър на реагиране;
 - Генериране на изкуствени акселерограми на база на спектър на реагиране;
 - Провеждане на деконволюционен анализ за определяне на сеизмичното въздействие, което впоследствие да бъде зададено от ниво „здрава скала“ (под хвоста) – за целите на численото моделиране.
- 3) Моделиране и изследване – особено важно е използването на резултатите от 1) и 2):
- Опростен анализ по метод на граничното равновесие („Limit Equilibrium Method“): оценка на общата устойчивост в „статично“ и „динамично“ състояние – [11], [12] и [21].
Коментар: използват се базови физични и механични параметри; устойчивостта се дефинира като коефициент на сигурност, базиран на отношение между съпротивителните сили (носимоспособност) и активните сили (ефект от въздействие); анализът не дава информация относно напрегнатото и деформирано състояние – [13].
 - Оценка на риска от втечняване по класически и общоприети методи;
Коментар: резултатите често са твърде консервативни.
 - Оценка на риска от втечняване по иновативен метод (описан по-надолу);
Коментар: резултатите са прецизни и отговарят на действителното реагиране – твърдението е проверено на база вече случили се земетресения.
 - Динамичен анализ по метод на крайните елементи (MKE): оценка на риска от „статично“ и „динамично“ втечняване; получаване на напрегнато и деформирано състояние на масива за различни степени на надграждане и разнообразен сеизмичен hazard (за различен референтен период на повтаряемост); идентифициране на уязвими зони в хвостохранилището.
Коментар: за успешното провеждане на такъв тип анализ от фундаментално значение са измерванията (геофизични, полеви и лабораторни), както и внимателното дефиниране на сеизмичното въздействие в моделите – в противен случай начинанието е необосновано и може да доведе до прекалено консервативни или опасни изводи и препоръки.

Както се вижда от изложеното, проучванията (особено лабораторните) са базата за провеждане на задълбочен числен анализ. Пълната методология за оценка на сеизмичния риск е демонстрирана схематично на Фиг. 2, като тя кореспондира добре с изложеното в [14], [15] и [16].

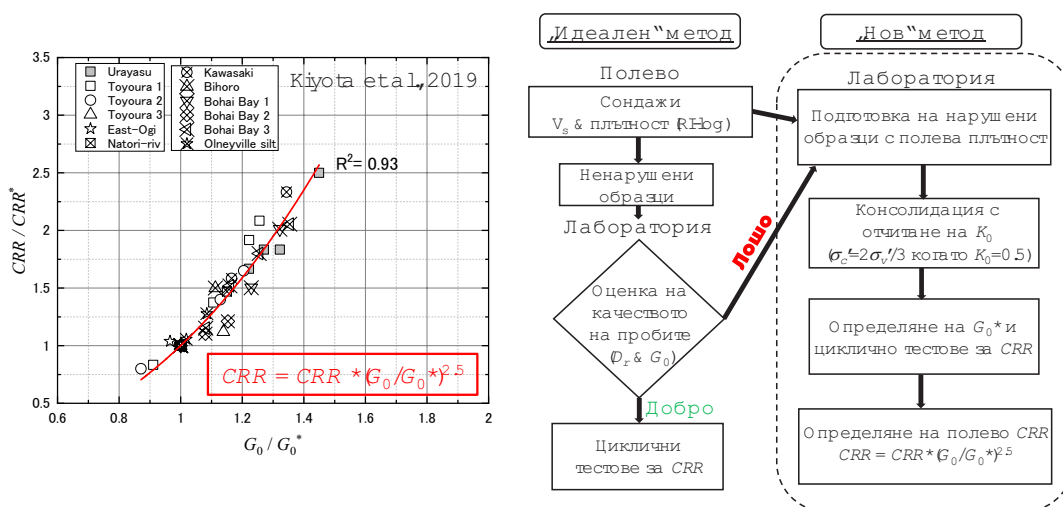


Фиг. 2 Опростено представяне на обхвата от дейности, свързани със сеизмичното изследване на хвостохранилища – удовлетворяващи концепцията за „геотехнически триъгълник“

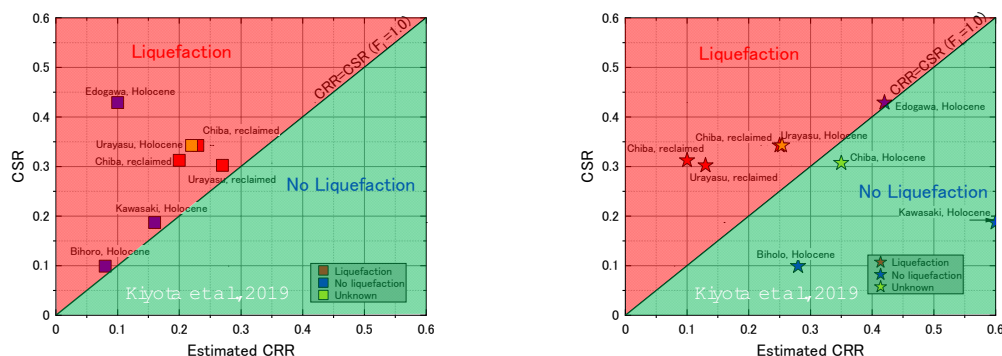
ИНОВАТИВЕН И ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖИМ ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Най-прецизният метод за определяне на недренираната якост на срязване (параметър, който силно се влияе от почвената разновидност и нейното състояние) на материала (почва или хвост) е базиран на лабораторни изследвания на проби, взети посредством сондиране (например триплексна система). С изключение на скъпите, сложни и на практика неприложими методи за вземане на проби чрез замразяване на почвения масив, [18], в геотехниката не съществува подход, който гарантира вземането на ненарушени образци от рохки пясъчливи или прахови почви – материал, от който са изградени и хвостохранилищата (някои специфики, които касаят флотацията, са показани в [9]). Нещо повече, вграждането на подобен материал като гореописания в лабораторни апарати (триосови, торсионни и други – [22]) при същевременно запазване на структурата му (изразена чрез плътност и подредба на твърдата фаза, „soil fabric“), е невъзможно без нарушаването му. Ето защо провеждането на лабораторни тестове с образци, които се смятат за „ненарушени“, е нецелесъобразно, тъй като резултатите са подвеждащи и могат да доведат до прекалено консервативни или още по-лошо – „смели“ заключения.

Предложената процедура (Фиг. 3) е базирана на някои традиционни методи за геотехническо проучване (не предвижда вземане на ненарушени проби) и прецизно определя риска от втечняване на съществуващи хвостохранилища – [8] и [17]. Чрез прилагане на предложението подход става възможна оценката на полевия и „действителен“ коефициент на циклична носимоспособност, CRR , което позволява „улавяне“ на значими и специфични полеви условия (плътност и подредба на частиците, „soil fabric“) – включва отчитане на стареенето на масива без изпитване на ненарушени образци и изключва несигурността в качеството на вземане на почвени проби чрез конвенционални методи.



Фиг. 3 Схематично представяне на предложената иновативна процедура



Фиг. 4 Оценка на риска от втечняване: а) конвенционален подход; б) предложен подход.

Стъпките за прилагане на метода могат да бъдат систематизирани както следва, [1], [2], [4] и [19]:

- 1) Първата стъпка е да бъдат взети нарушени проби чрез стандартизирано пенетрационно изпитване, SPT, или друг подход, а след това да бъдат измерени скорост на разпространение на срязващи вълни, V_s , и плътност посредством геофизични методи (съответно – „suspension P-S logging“ и „RI logging“);
- 2) Втората стъпка е свързана с оформяне на лабораторни образци (например – въздушна или „мокра“ плувация и водонасищане чрез двоен вакуум) с плътност, отговарящата на полевата, и измерване на скорост на разпространение на срязващи вълни, V_s^* (например чрез бендер-елементи) и коефициент на циклична носимоспособност, CRR^* (например чрез серия от недренирани циклични триосови или торсионни тестове) – напрегнатото състояние следва да кореспондира с напреженията от геоложки товар на дълбочината, от която е взета съответната проба.
- 3) Накрая, на база на експериментално получена зависимост, $CRR = CRR^* (G_0/G_0^*)^{2.5}$ (където: CRR^* – коефициент на циклична носимоспособност, определен лабораторно чрез недренирани циклични триосови или торсионни тестове; G_0^* – начален модул на срязване, определен лабораторно чрез „улавяне“ на скорост на разпространение на срязващи вълни, V_s^* , посредством бендер-елементи – [20]; G_0 – начален модул на срязване, определен полево чрез „улавяне“ на скорост на разпространение на срязващи вълни, V_s , посредством геофизичен метод – „suspension P-S logging“), се определя „действителния“ коефициент на циклична носимоспособност, CRR .



Понастоящем методът се използва от редица частни фирми в Япония и е изпробван за оценка на риска от „динамично“ втечняване за вече случили се земетресения – Фиг. 4. Резултатите, изразени чрез коефициентите на сигурност (отношение на коефициент на циклична носимоспособност, *CRR*, към коефициент на циклично натоварване, *CSR*), показват забележително съвпадение с действителното наличие или отсъствие на втечняване при предишни земетресения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложената концепция навлиза в достатъчна дълбочина на всички компоненти на „геотехническият триъгълник“. Покриването на необходимия набор от изследвания, както и провеждането на опростен (аналитичен) и задълбочен (метод на крайните елементи) анализ гарантира удовлетворяването на всички съвременни изисквания за оценка на сеизмичния риск на съществуващи хвостохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ahmadi M.M., Paydar N.A., 2014, *Requirements for soil-specific correlation between shear wave velocity and liquefaction resistance of sand*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 57:152–63.
- [2] Baxter C.D.P., Bradshaw A.S., Green R.A., Wang J.H., 2008, *Correlation between cyclic resistance and shear-wave velocity for Providence silts*. Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering; 134(1):37–46.
- [3] Beaty M.H., Byrne P.M., 2011, UBCSAND constitutive model version 904aR, Itasca.
- [4] De Alba P., Baldwin K., Janoo V., Roe G., Celikkol B., 1984, *Elastic-wave velocities and liquefaction potential*. Geotechnical Test Journal ASTM; 7(2):77–88.
- [5] Beaty M.H., Perlea V.G., 2011, *Several observations on advanced analyses with liquefiable materials*, 21st Century Dam Design-Advances and Adaptations, 31st Annual USSD Conference, San Diego, California.
- [6] Been, K., Jefferies, M., 2006, *Soil liquefaction: A critical state approach*, Taylor and Francis, London and New York.
- [7] Burland J., Chapman T., Skinner H., Brown M., 2012, ICE manual of geotechnical engineering: Volume I, UK.
- [8] Byrne P.M., Cheung H., Yan L., 1987, *Soil parameters for deformation analysis of sand masses*, Canadian Geotechnical Journal, 24(3): 366–376.
- [9] Dedelyanova K., Dimitrov J., 2015, *Impact the Parameter Effect of Vibration on Collision Efficiency in Flotation*. Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, April 14-17, Antalya, Turkey, ISBN 978-605-01-0705-0, 742-746.
- [10] El Takch A., Sadrekarimi A., El Naggar H., 2016, *Cyclic resistance and liquefaction behaviour of silt and sandy silt soils*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 83:98–109.
- [11] Finn W.D., Ledbetter R.H., Marcuson W.F. III, 1995, *Modern practice in the seismic response analysis of embankment dams*, Scientia Iranica, Vol. 2, No 2, pp 145-164.
- [12] Gazetas G., 1987, *Seismic response of earth dams: some recent developments*, Soil dynamics and Earthquake engineering Vol. 6, No 1, pp.2-47.
- [13] Hardin B.O., 1978, *The nature of stress-strain behaviour of soils*, Earthquake Engineering and Soil Dynamics-Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference, June 19-21, 1978, California, Volume I: 3-90.



[14] ICOLD, 1989, *Selecting seismic parameters for large dams*, Guidelines, Bulletin 72, International Commission of Large Dams, Paris.

[15] ICOLD, 2001, *Design features of dams to resist seismic ground motion*, Bulletin 120, International Commission on Large Dams, Paris.

[16] ICOLD, 2010, *ICOLD Position Paper on Dam Safety and Earthquakes*, ICOLD Committee on Seismic Aspects of Dam Design, International Commission on Large Dams, Paris.

[17] Idriss I., Boulanger R., 2008, *Soil liquefaction during earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute, USA.

[18] Kiyota T., Ikeda T., Yokoyama Y., Kyokawa H., 2016, *Effect of in-situ sample quality on undrained cyclic strength and liquefaction assessment*, Soils and Foundations; 56(4):691–703.

[19] Kiyota T., Maekawa Y., Chiehyu W., 2019, *Using in-situ and laboratory-measured shear wave velocities to evaluate the influence of soil fabric on in-situ liquefaction resistance*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 117:164–173.

[20] Koseki J., Ohta A., 2001, *Effects of different consolidation conditions on liquefaction resistance and small strain quasi-elastic deformation properties of sands containing fines*, Soils and Foundations; 41(6):53–62.

[21] Olson S.M., Mattson B.B., 2008, *Mode of shear effects on yield and liquefied strength ratios*, Canadian Geotechnical Journal, 45: 574-587.

[22] Vaid Y.P., Sivathayalan S., 1996, *Static and cyclic liquefaction potential of Fraser Delta sand in simple shear and triaxial tests*, Canadian Geotechnical Journal, 33(2): 281-289.



АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТТА НА ОПОРНИТЕ ТОЧКИ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИИ НА СЪОРЪЖЕНИЯ ЧРЕЗ GNSS МРЕЖИ

проф. д-р инж. Пеньо Пенев

Университет по архитектура, строителство и геодезия, Геодезически факултет, катедра
«Приложна геодезия», e-mail: penevp_fgs@abv.bg

доц. д-р инж. Юри Цановски

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

ANALYSIS AND EVALUATION OF THE STABILITY OF ANCHOR POINTS IN DEFORMATION STUDIES OF STRUCTURES USING GNSS NETWORKS

prof. eng. Penio Penev, PhD

University of architecture, civil engineering and geodesy, faculty of Geodesy, department "Applied
Geodesy", e-mail: penevp_fgs@abv.bg

assoc. prof. eng. Yuri Tsanovski, PhD

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

РЕЗЮМЕ

Най-важният проблем при изследване на деформации на инженерни съоръжения е изследването на устойчивостта на опорните от мрежата за определяне преместванията на наблюдаваните точки стабилизирани по съоръжението. Опорните точки реализират въведената локална координатна система, осигуряваща реални и надеждни стойности на определяните премествания [1]. Тяхната устойчивост гарантира един от принципите при циклични измервания на деформационна мрежа, а именно неизменност на изходната основа.

С използването на ГНСС наблюдения (Глобални Навигационни Спътникови Системи) се цели бързо и ефикасно определяне на преместванията на наблюдаваните точки в тримерното пространство. Поради тази причина се цели разработване на методика, осигуряваща надеждното изследване за устойчивост именно в пространствена координатна система. В статията се предлага използване на пространствена унимодална трансформация на координатите между текущия и нулевия цикли на измерване, като разработката може да бъде приложена както за ГНСС, така и за класически пространствени мрежи.

Ключови думи: GNSS, устойчивост, трансформация, алгоритъм

ABSTRACT

The most important problem in the study of deformations of engineering structures is the study of the stability of anchor points of the network to determine the displacements of the observed points stabilized on the structure. These points, also called "reference" points implement the introduced local coordinate system providing real and reliable values of the determined displacements [1]. Their stability guarantees one of the principles in cyclic deformation network measurements - the invariance of the output basis.

The use of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) observations aims at fast and efficient determination of the displacements of the observed points in three-dimensional space. For this reason, the aim is to develop a methodology that provides a reliable stability study precisely in a spatial coordinate system. The paper proposes the use of a spatial unimodal coordinate transformation between the current and zero measurement cycles, and the development can be applied to both GNSS and classical spatial networks.

Keywords: GNSS, stability, transformation, algorithm

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че опорните точки се избират на стабилни места и извън деформационната зона на съоръжението. Поради това обстоятелство координатните разлики на идентичните опорни точки между циклите са малки величини и се дължат главно на грешки в измерванията.

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 редукии, 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.

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.

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

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

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. Коефициентът на математическа корелация между две величини се изчислява по:

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{m_x m_y} \quad (2)$$

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:

$$m_\Phi^2 = m_{\Phi_1}^2 + m_{\Phi_2}^2 + 2 \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{P_{\Phi_1}}}} \sqrt{\frac{1}{P_{\Phi_2}}} m_{\Phi_1} m_{\Phi_2}, \quad (3)$$

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

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

$$m_\Phi^2 = m_{\Phi_1}^2 + m_{\Phi_2}^2 + 2r_{\Phi_1\Phi_2} m_{\Phi_1} m_{\Phi_2} \quad (4)$$

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:

$$P = Q^{-1} \text{ или } Q = P^{-1}, \quad (5)$$

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

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{p_1} & \frac{r_{12}}{\sqrt{p_1 p_2}} & \dots & \frac{r_{1n}}{\sqrt{p_1 p_n}} \\ \frac{r_{12}}{\sqrt{p_1 p_2}} & \frac{1}{p_2} & \dots & \frac{r_{2n}}{\sqrt{p_2 p_n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{1n}}{\sqrt{p_1 p_n}} & \frac{r_{2n}}{\sqrt{p_2 p_n}} & \dots & \frac{1}{p_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{12} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{1n} & q_{2n} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

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.

$$q_{ii} = \frac{1}{p_{ii}} \quad (7)$$

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):

$$\begin{aligned} v_{\Delta x} &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 + b_{15}x_5 + b_{16}x_6 + f_{\Delta x} \\ v_{\Delta y} &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 + b_{25}x_5 + b_{26}x_6 + f_{\Delta y} \\ v_{\Delta z} &= b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + b_{33}x_3 + b_{34}x_4 + b_{35}x_5 + b_{36}x_6 + f_{\Delta z} \end{aligned} \quad (8)$$

На база описаните разсъждения, следва да се приложи методика за измерване на деформационни мрежи посредством ГНСС, отчитайки броя на точките и броя на използваните приемници [2].

При предпоставката, че получените координати на точките от мрежата са с висока точност, ако се въведат ортогонални координатни системи за двата цикъла, то трансляционните и ротационните параметри са малки величини, което позволява значително опростяване на формулите за прилагане на пространствената унимодална трансформация.

Известен факт е занижената точност (около 2 пъти в сравнение с хоризонталната компонента), която се получава във вертикалната компонента след обработка на ГНСС измерванията. Често в практиката ГНСС измерванията се използват за следене само на хоризонтални премествания, докато за вертикалните се извършват прецизни нивелачни измервания. При разработената методика е съставен и модул, с който опорните точки могат да се следят за устойчивост само в планоно отношение, чрез въвеждането на подходяща конформна проекция.

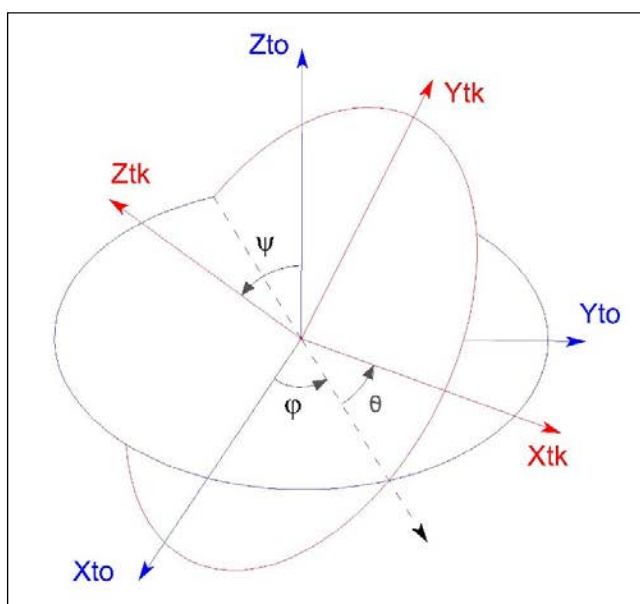
МАТЕМАТИЧЕСКИ АПАРАТ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ УСТОЙЧИВОСТ НА ОПОРНИ ТОЧКИ

Изследванията за устойчивост се извършват сравнявайки получените резултати в координатите на опорните точки в изследвания цикъл, спрямо първоначалния „нулев“ цикъл.

Нека (фиг.1) координатната система в нулевия цикъл да е (X_{to}, Y_{to}, Z_{to}) , а в текущия – (X_{tk}, Y_{tk}, Z_{tk}) . Трансформацията между двете координатни системи [3], се записва като:

$$\begin{bmatrix} X_{to} \\ Y_{to} \\ Z_{to} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + R \cdot \begin{bmatrix} X_{tk} \\ Y_{tk} \\ Z_{tk} \end{bmatrix} \quad (9)$$

където T е вектор колона с параметрите на трансляция, а R е ротационната матрица на завъртането между двете координатни системи.



фиг.1: Трансформация между ортогонални координатни системи

За матрицата R е в сила

$$R = R_z(\varphi) \cdot R_y(\Theta) \cdot R_x(\psi) \quad (10)$$

където φ , Θ и ψ са Ойлеровите ъгли на ротация спрямо всяка една от координатните оси.

Въртенето около осите се дава с матриците:

$$R_x(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$R_y(\Theta) = \begin{pmatrix} \cos\Theta & 0 & \sin\Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Theta & 0 & \cos\Theta \end{pmatrix} \quad (12)$$



$$R_z(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Центъра на тежестта на системата от точки на двата цикъла е

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= \frac{\sum_{i=1}^{Nt} (Xto_i + Xtk_i)}{2 \cdot Nt} \\ Y_0 &= \frac{\sum_{i=1}^{Nt} (Yto_i + Ytk_i)}{2 \cdot Nt} \\ Z_0 &= \frac{\sum_{i=1}^{Nt} (Zto_i + Ztk_i)}{2 \cdot Nt} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

където Nt е броя на идентичните точки във всеки цикъл.

С цел облекчаване на изчисленията се транслират двете координатни системи центъра на тежестта (X_0, Y_0, Z_0) . Новите координати на двата цикъла при общо начало на двете координатни системи е:

$$\left. \begin{aligned} xto &= Xto - X_0, & xtk &= Xtk - X_0 \\ yto &= Yto - Y_0, & ytk &= Ytk - Y_0 \\ zto &= Zto - Z_0, & ztk &= Ztk - Z_0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Формула (8) приема вида

$$\begin{bmatrix} xto \\ yto \\ zto \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} xtk \\ ytk \\ ztk \end{bmatrix} \quad (16)$$

Ротационните ъгли φ , Θ и ψ са малки величини поради обстоятелството, че разликите в координатите на опорните точки се дължат единствено на грешки в измерванията. Така функцията синус се замества със стойността на ъгъла в радиани, а функцията косинус – с единица. Ротационните матрици (11, 12 и 13) приемат следните стойности:

$$R_x(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\psi \\ 0 & \psi & 1 \end{pmatrix} \quad R_y(\Theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\Theta & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_z(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & -\varphi & 0 \\ \varphi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Общата ротационна матрица (9) приема вида:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -\varphi & \Theta \\ \varphi & 1 & -\psi \\ -\Theta & \psi & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Тук е прието, че величините φ , ψ , $\varphi \cdot \Theta$, $\psi \cdot \Theta$ и $\varphi \cdot \psi \cdot \Theta$ са пренебрежимо малки величини. Например за стойности на ротационните ъгли под $60''$ за разстояния от 1 km грешката е по-малка от 0.05 mm.

От (16) могат да се напишат следните уравнения на поправките



$$\left. \begin{aligned} vx_i &= -ytk_i \cdot \varphi + ztk_i \cdot \Theta + \Delta x_i \\ vy_i &= xtk_i \cdot \varphi - ztk_i \cdot \psi + \Delta y_i \\ vz_i &= -xtk_i \cdot \Theta + ytk_i \cdot \psi + \Delta z_i \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

където

$$\Delta x_i = xtk_i - xto_i \quad \Delta y_i = ytk_i - yto_i \quad \Delta z_i = ztk_i - zto_i \quad (20)$$

Образува се функцията $[vv] = [vx_i \cdot vx_i] + [vy_i \cdot vy_i] + [vz_i \cdot vz_i]$, намират се частните й производни по отношение на неизвестните φ , Θ и ψ и се получава системата нормални уравнения

$$N \cdot X + F = 0 \quad (21)$$

Матрицата N на системата нормални уравнения е

$$N = \begin{pmatrix} [xx] + [yy] & -[yz] & -[xz] \\ -[yz] & [xx] + [zz] & -[xy] \\ -[xz] & -[xy] & [yy] + [zz] \end{pmatrix} \quad (22)$$

където

$$\left. \begin{aligned} [xx] &= [xtk \cdot xtk] & [yy] &= [ytk \cdot ytk] & [zz] &= [ztk \cdot ztk] \\ [xy] &= [xtk \cdot ytk] & [xz] &= [xtk \cdot ztk] & [yz] &= [ytk \cdot ztk] \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Неизвестните и свободните членове на (21) са

$$X = \begin{pmatrix} \varphi \\ \Theta \\ \psi \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} [xtk \cdot \Delta y] - [ytk \cdot \Delta x] \\ -[xtk \cdot \Delta z] + [ztk \cdot \Delta x] \\ [ytk \cdot \Delta z] - [ztk \cdot \Delta y] \end{pmatrix} \quad (24)$$

Неизвестните се изчисляват по известната формула

$$X = -N^{-1} \cdot F \quad (25)$$

След това се извършва трансформация на координатите (xtk_i, ytk_i, ztk_i) към системата (xto_i, yto_i, zto_i) , т.е

$$\left. \begin{aligned} xtk_i^0 &= -ytk_i \cdot \varphi + ztk_i \cdot \Theta + \Delta x_i \\ ytk_i^0 &= xtk_i \cdot \varphi - ztk_i \cdot \psi + \Delta y_i \\ ztk_i^0 &= -xtk_i \cdot \Theta + ytk_i \cdot \psi + \Delta z_i \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Разликите между последните трансформирани координати и съответните им от нулевия цикъл са:

$$dx_i = xtk_i^0 - xto_i \quad dy_i = ytk_i^0 - yto_i \quad dz_i = ztk_i^0 - zto_i \quad (27)$$

Изчислява се дължините на векторите в равнината (x, y) и в пространството

$$rxy_i = \sqrt{(dx_i)^2 + (dy_i)^2} \quad rxyz_i = \sqrt{(dx_i)^2 + (dy_i)^2 + (dz_i)^2} \quad (28)$$

Точките за които



$$r_{xy_i} < \max_{m_{xy}} \quad r_{zyz_i} < \max_{m_{xyz}} \quad (29)$$

се приемат за **стабилни**.

Точките за които не е изпълнено условието (29) са неустойчиви. Процеса за установяване на устойчивите точки е итерационен. Първо се изключва неустойчивата точка с най-големи стойности на r_{xy_i} и r_{zyz_i} и на ново се проверява стабилността на останалите опорни точки.

По разработения алгоритъм е съставена програма на C++ Visual Studio.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пенев Пеньо Д., 2006, Анализ на стабилността на изходните точки при изследване хоризонтални деформации на съоръжения, сп."Геодезия, картография и земеустройство, кн.1-2, стр.9-14, София.
2. Цановски Ю., 2013, Приложение на ГНСС за изследване преместванията на точки при насипни язовирни стени, Дисертационен труд, София.
3. Янков Ив., 2012, Извеждане на параметрите на пространствена унимодална трансформация по идентични точки, Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ2012



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЧРЕЗ МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗМЕРВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИТЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ДОЛНА ПРЕГРАДНА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „РУДОЗЕМ - 2" КЪМ „ГОРУБСО - МАДАН" АД

Десислава Атанасова-Венкова¹

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София, България,
dessislava.atanassova@abv.bg

Ива Чавдарова²

² „Горубсо – Мадан“ АД, гр. Мадан, България, chawdarowa.98@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Строителството на хвостохранилище „Рудозем – 2“ е започнало през 1989 г. Чашата му се ограничава от долна и горна преградна стена в долината на р. Малка река преди вливането ѝ в р. Арда. Хвостохранилището е II-ри клас съоръжение до кота 753 m за долна преградна стена. Изследването на устойчивостта е извършено при сеизмична интензивност VIII степен. Хвостохранилището попада в периферията на район от VII степен, в съседство с район от VIII степен. По архивна документация на „Горубсо – Мадан“ АД за хвостохранилище „Рудозем – 2“ [1] е изградена наблюдателна станция за проследяване устойчивостта на стената по створен метод, но интерпретацията им не дава достатъчна обективност на преместванията. Надграждането на долна преградна стена налага изграждането на нова наблюдателна станция и нова мрежа от стабилизирани точки за наблюдение. Новата наблюдателна станция (от октомври 2022 г.) дава възможност за определяне на евентуални хоризонтални и вертикални премествания, като се използва метода линейно-ъгловата мрежа. Анализът на резултатите преминава през определяне на успоредните и перпендикулярни движения на наблюдаваните точки спрямо стената, определяне на посоката и скоростта на вектора на преместването им.

EXPERIMENTAL RESEARCH THROUGH MARKSHEIDER MEASUREMENTS TO DETERMINE THE DEFORMATION VARIATION OF THE LOWER PARTITION WALL OF THE "RUDOZEM - 2" TAILINGS DAM AT "GORUBSO - MADAN" JSC

Desislava Atanasova-Venkova¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria, dessislava.atanassova@abv.bg
Iva Chavdarova²

² "Gorubso – Madan" JSC, Madan, Bulgaria, chawdarowa.98@gmail.com

ABSTRACT

The construction of the "Rudozem - 2" tailings dam facility began in 1989, its basin is limited by a lower and upper barrier wall in the valley of the Malka Reka river before its confluence with the Arda river. The tailings dam facility is a class II facility up to an elevation of 753 m for lower partition wall. The stability test was carried out at seismic intensity level VIII. The tailings repository falls on the periphery of a Grade VII area adjacent to a Grade VIII area. According to archival documentation of "Gorubso - Madan" JSC, an observation station was built for the "Rudozem – 2" [1] tailings dam facility to monitor the stability of the wall according to the established method, but their interpretation does not provide sufficient objectivity of the displacements. The upgrade of a lower bulkhead requires the construction of a new observation station and a new meshwork of stabilized observation points. The new observation station (since October 2022 g.) makes it possible to determine possible horizontal and vertical displacements using the linear-angular grid method. The analysis of

the results goes through determining the parallel and perpendicular movements of the observed points relative to the wall, determining the direction and speed of the vector of their displacement.

Обект на изследванията е устойчивостта на долна преградна стена на Хвостохранилище „Рудозем – 2“ към „Горубсо – Мадан“ АД, обслужващо обогатителна фабрика за преработка на оловно-цинкови руди в гр.Рудозем.



Фиг. 1

Хвостохранилище „Рудозем – 2“ е разположено в коритото на Малка река, изведена с отбивен тунел и заустваща в р. Арда. Обектът се намира на около 2 km северно от центъра на гр.Рудозем, на 300 m северозападно от предприятие за козметични продукти „Рубелла“ и на 300 m югозападно от кв. Възраждане. Терените, контактуващи с хвостохранилището в посоки запад, север и юг са Държавен горски фонд, а тези на изток попадат в Застроително-регулационния план на гр. Рудозем (фиг.1).

Хвостохранилището се обслужва от Багерна помпена станция, която е разположена в чертите на гр.Рудозем на около 50 m от р. Арда, успоредно на нея. Средната кота на района е 690 m. Отпадъкът постъпва в хвостохранилището като суспензия с плътност 1100-1200 g/l и плътност 15-20 %.

Хвостохранилището е от наливен тип, изградено в коритото на Малка река, която е изведена с отбивен тунел. Има две преградни стени – долна /ДПС/ и горна /ГПС/. Стените са каменно-насипни с глинено ядро.

Долна преградна стена (фиг.2), е с височина 63 m. Изградена е от стерилен материал от рудниците с обемно тегло 2,5 t/m³. Котата на короната е 745 m, а дължината е 230 m.

Съществен елемент при експлоатацията и поддържането на хвостохранилищата е изследването на деформационните изменения на стената. От нейната устойчивост зависи надеждната и безопасна експлоатация на съоръжението, както и безопасните условия за околните населени места и природата.

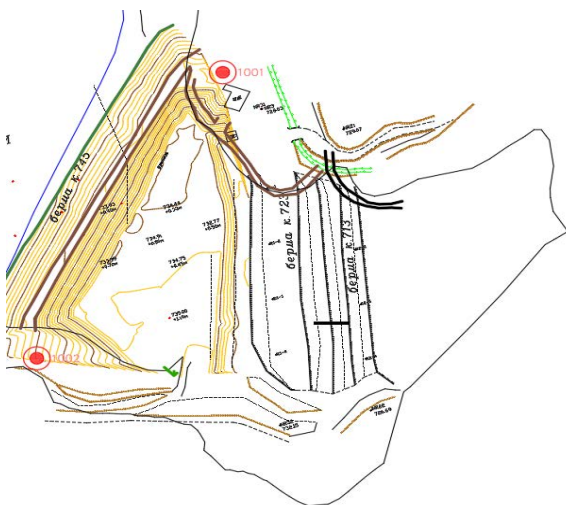


Фиг.2

Използваният при предходните измервания створен метод, щадящ време и средства, притежава някои недостатъци, които ограничават обективността на получените резултати [2]. Директното определяне на линейното отклонение от створа свежда до минимум разнообразната интерпретация на данните, тъй като се регистрират премествания само в една посока (перпендикулярна на створа) [2]. Недостигът на информация за скоростта, посоката и големината на вектора на преместване на всяка наблюдавана точка, може да доведе до неблагоприятни последствия [2].

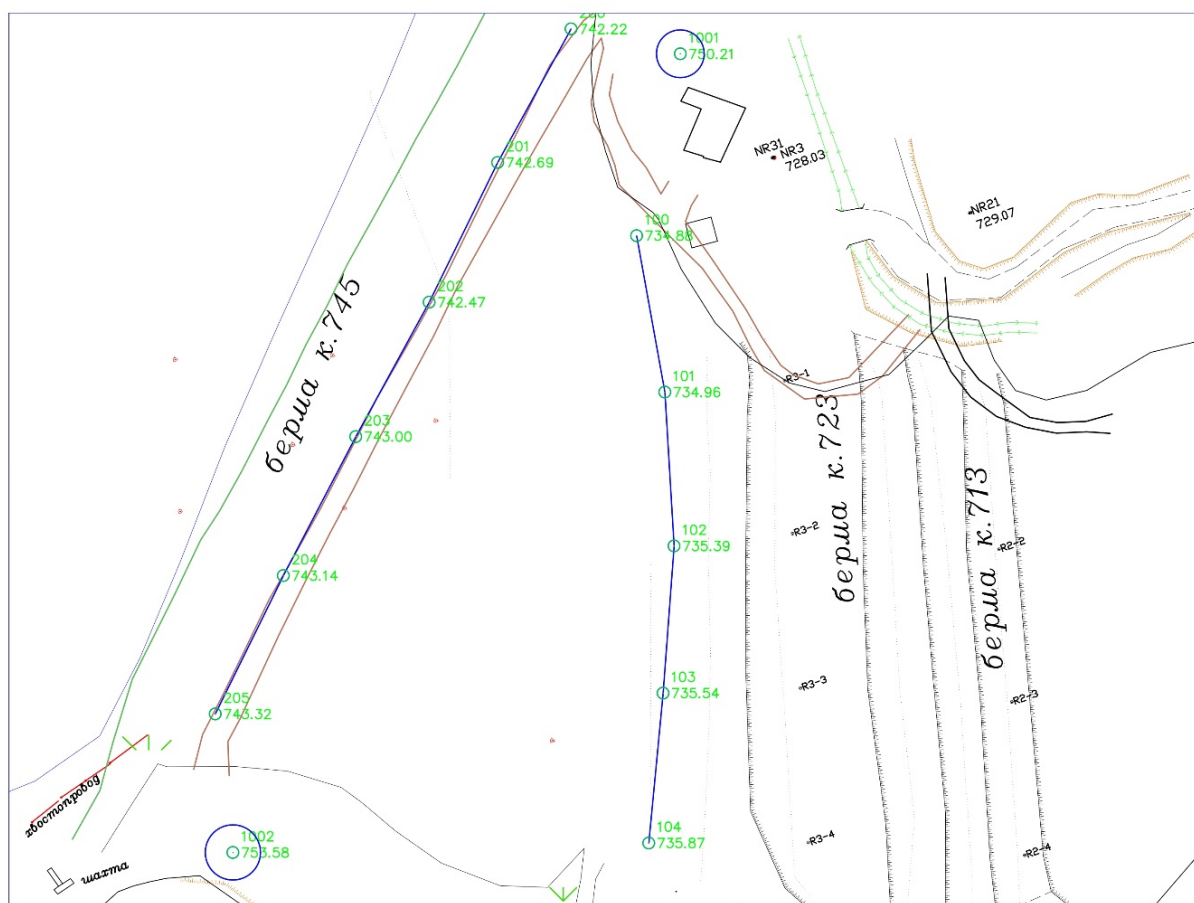
Възможностите на съвременните геодезически инструменти осигуряват определяне на пространственото положение на наблюдавани точки чрез едновременно измерване на ъгли и дължини. При подходящо взаимно разположение на изходни и наблюдавани точки е удачно приложението на метода на ъглово-линейната мрежа. За конкретния случай се предлага неговото използване, тъй като дава най-добри резултати при оценка на точността на определените координати на контролните точки, в сравнение с други геодезически методи [3].

За наблюдавания обект са стабилизирани два нови наблюдателни стълба (1001 и 1002) (фиг.3). Стълб 1001 е координиран чрез GNSS измервания съгласно Наредба № РД-02-20-5 от 15 декември 2016 г., а 1002 чрез ъглово-линейни измервания. Наблюдателната станция включва шест наблюдавани точки на короната на стената (к.745) и пет – на средната берма (к.723). Включени са още и четири наблюдавани точки (на к.713), както и четири наблюдателни стълба от старата наблюдателна станция на най-долната берма. Използваният инструмент е „Sokkia CX-62”



Фиг.3

След изграждане на новата наблюдателна станция са извършени две начални независими измервания за координиране в хоризонталната равнина на наблюдаваните точки (фиг.4). Осреднените резултати от тях са взети за изходни координати на контролните точки. Координатите, получени от всяко следващо измерване, ще бъдат сравнявани с тях, както и с резултатите от всяко предходно измерване. До момента са извършени 5 измервания за период от 5 месеца. Всяка една от контролните точки е измервана двустранно (от 1001 и 1002) в 2 гируса. Във вертикално отношение контролните точки са определяни чрез геометрична нивелация. Използваният инструмент е дигитален нивелир "Stonex ZDL 700" и кодова лата.

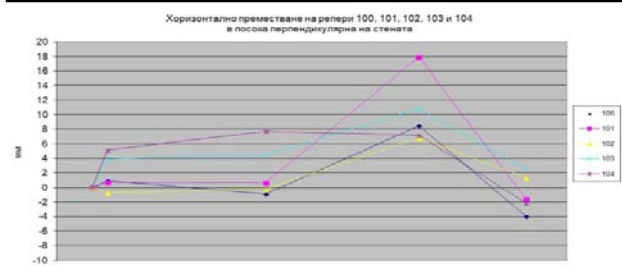
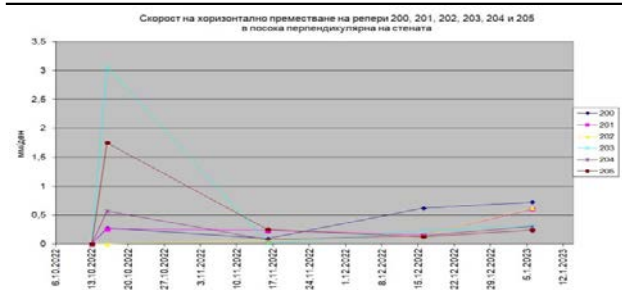
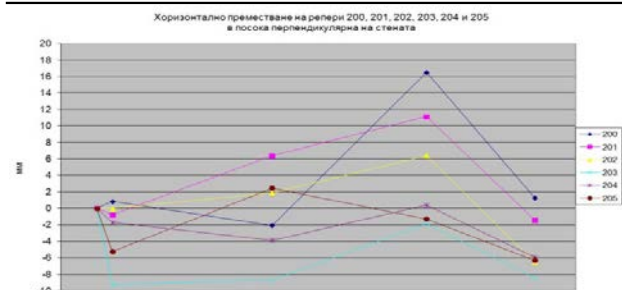
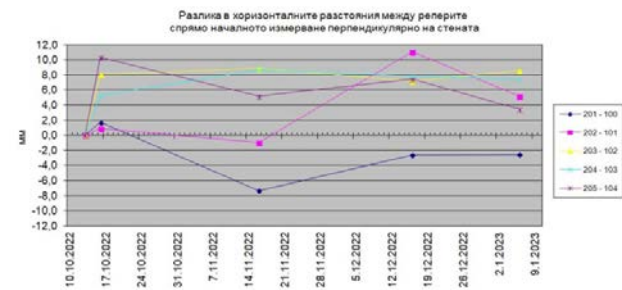


Фиг.4

Методът на измерване чрез ъглово-линейна мрежа позволява надежден и издържан начин за хоризонтално определяне на изследваните точки по бермите на съоръжението [4]. Изчисляването на координатите им и последващото изчислително и графично представяне дават солидна информация за състоянието и скоростта на движение на векторите на преместване [2]. На база определените хоризонтални разстояния между реперите (в успоредна, и в перпендикулярна на стената, посока) в отделните измервания, анализът може да се допълни и с повърхнинен модел на линейните деформации на площта на цялата стена за всеки интервал. По тези графики за всеки интервал може да се анализира изменението на линейните деформации във времето.

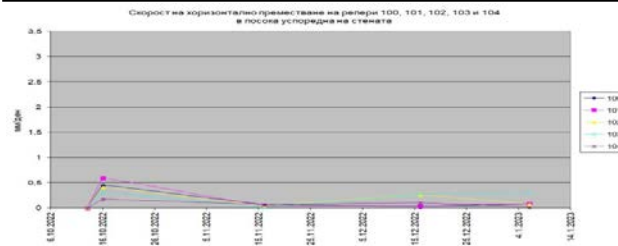
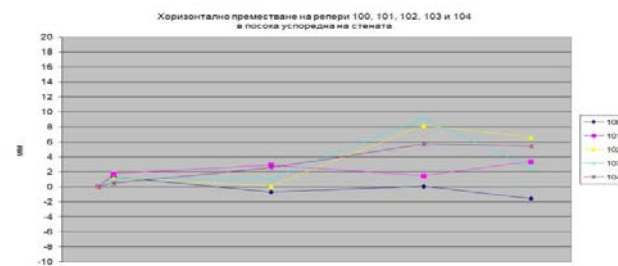
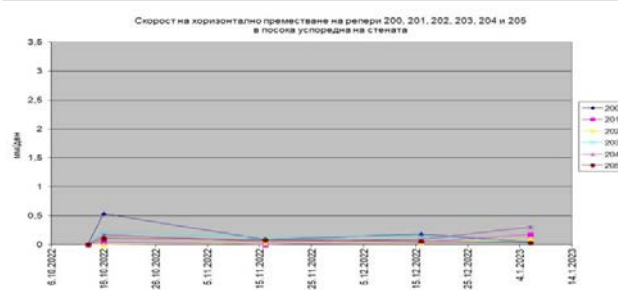
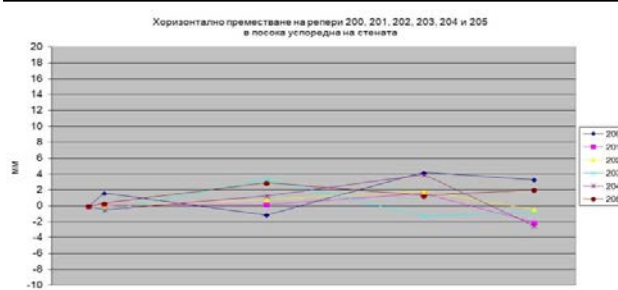


Перпендикулярно на стената



Фиг.5а

Успоредно на стената



Фиг.5б

На фиг.5а са показани измененията в перпендикулярна посока на стената на хоризонталните разстояния между наблюдаваните точки, хоризонталните премествания на реперите от две наблюдателни линии и съответните им скорости. На фиг.5б се виждат същите изменения, но в успоредна на стената посока.



Заклучение

Установените премествания са по-силно изразени в северната част на стената, което може да се обясни с особеностите на релефа в близост до долна преградна стена и климатичните особености на сезона.

Разбира се, броят на извършените наблюдения е много малък и не може да се твърди за установена закономерна тенденция в развитието на деформационен процес.

Логично, определените премествания в перпендикулярна на стената посока, са с по-големи стойности, от тези в успоредна на стената посока.

Във височинно отношение е извършено само началното наблюдение и към момента не може да се коментират премествания във вертикалната равнина.

В следващи изследвания ще се определят хоризонтални деформации на съоръжението, както и инвариантни характеристики на деформациите за периода на провежданите наблюдения.

Литература

1. Архивна документация „ГОРУБСО МАДАН“ АД.
2. Тодоров, Н. Предложение за допълваща методика за измерване, определяне и интерпретация на данните от изследвания на деформационни изменения на земно-насипна стена на хвостохранилище. Сборник доклади от Осма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 04 – 07 октомври 2022, Девин, България, с. 110-117. ISSN 1314-7056.
3. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Резултати и анализ на експериментални изследвания чрез маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. Сборник доклади от IX Международна конференция по геомеханика, 07 – 11 септември 2020, Варна, България, с. 225-233. ISSN 1314-6467.
4. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Оценка на възможността за приложение на някои геодезични задачи при наблюдения за устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. Сборник доклади от Седма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, с. 91-99. ISSN 1314-7056.

ЕЖЕГОДНО ПОЕТАПНО ИЗГРАЖДАНЕ НА НАМИВНИТЕ ДИГИ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“.

инж. Ст. Тангъров, инж. Вл. Додников, инж. Т. Ганджов
stangarov@asarel.com, vdodnikov@asarel.com, tganzhov@asarel.com,
„Асарел-Медет“ АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ

Хвостохранилище „Люляковица“ е наливен тип съоръжение за минен отпадък. По международните стандарти и ръководства се нарича още „upstream“.

Това е технология, при която съгласно утвърден работен проект се изграждат наливни диги с отместване навътре в плажа. От тях се извършва наливният процес до запълване на дигата, след което се изгражда следваща навътре в плажа.

Изграждането на поредната наливна дига на хвостохранилище „Люляковица“ става на етапи, в условията на непрекъснат наливен процес.

Всеки етап съдържа редица строителни и експлоатационни дейности, взаимно свързани, които ще представим в настоящата тема.



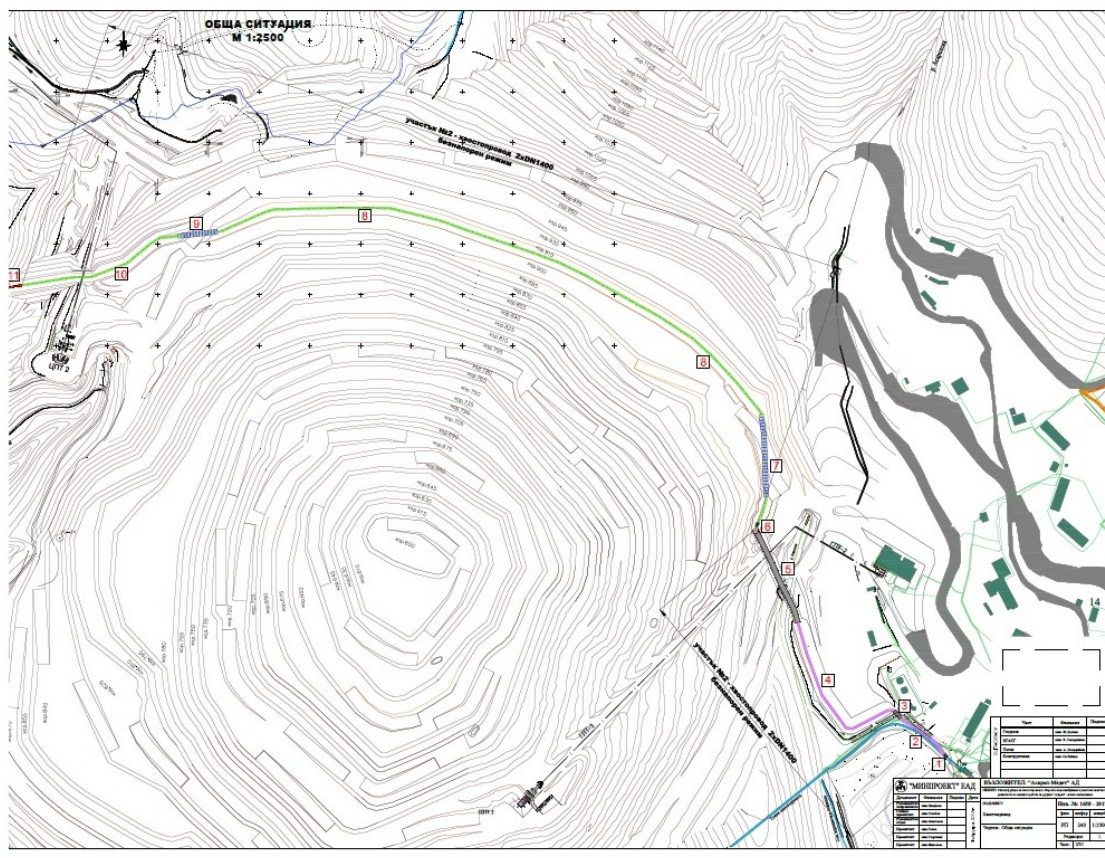
Фигура1- Хвостохранилище „Люляковица“

Въведение

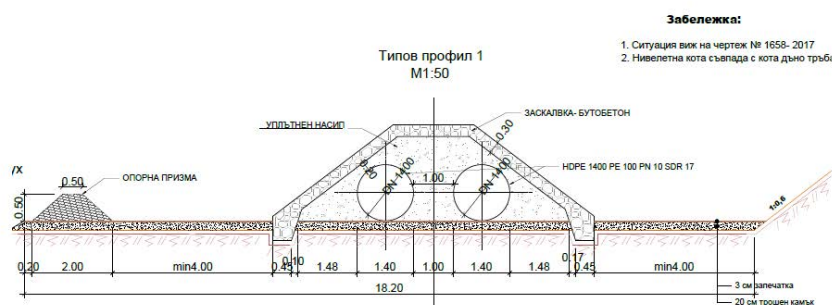
Хвостохранилище "Люляковица" е предназначено за складиране на отпадъка от ОФ"Асарел". До 2020г. той се подаваше чрез хидротранспорт безнапорно до района на хвостохранилището по два стоманобетонени улея – работен и резервен, със светли размери 1,30/1,30м. В крайната точка на хвостопровода от разпределителна шахта хвостът преминава в напорен режим към наливния сроманен тръбопровод ф800.

Поради нарастването на хвостохранилището във височина след 2020г, за да бъде осигурен напор необходим за извършване на наливния процес, бяха изградени магистрални тръбопроводи за хвост от обогатителната фабрика, преминаващи по ново по-високо трасе през северния борд на рудник „Асарел“. Тръбопроводите са полиетиленови с диаметри: работен DN 1400 и резервен DN 1200.

На фиг. 2 е показано трасето на тръбопроводите по хоризонт 900 на рудника. На фиг. 3 е типов напречен профил в този участък.



Фиг.2



Фиг.3

В момента наливният процес се извършва в южно и западно направление от дига на кота 844. Дължината и е 2500м,. Наливният тръбопровод е стоманен с диаметър ф800. Отклоненията са през 10-12м, с диаметри ф160 и ф200. До достигане на крайната кота на хвостохранилището дължината на наливната дига постепенно ще нараства до около 3500м, като наливният процес е предвиден да се осъществява източно, южно и западно направления. Напорът ще е необходимо да се осигурява чрез помпена станция за хвост.

Наливни и магистрални тръбопроводи

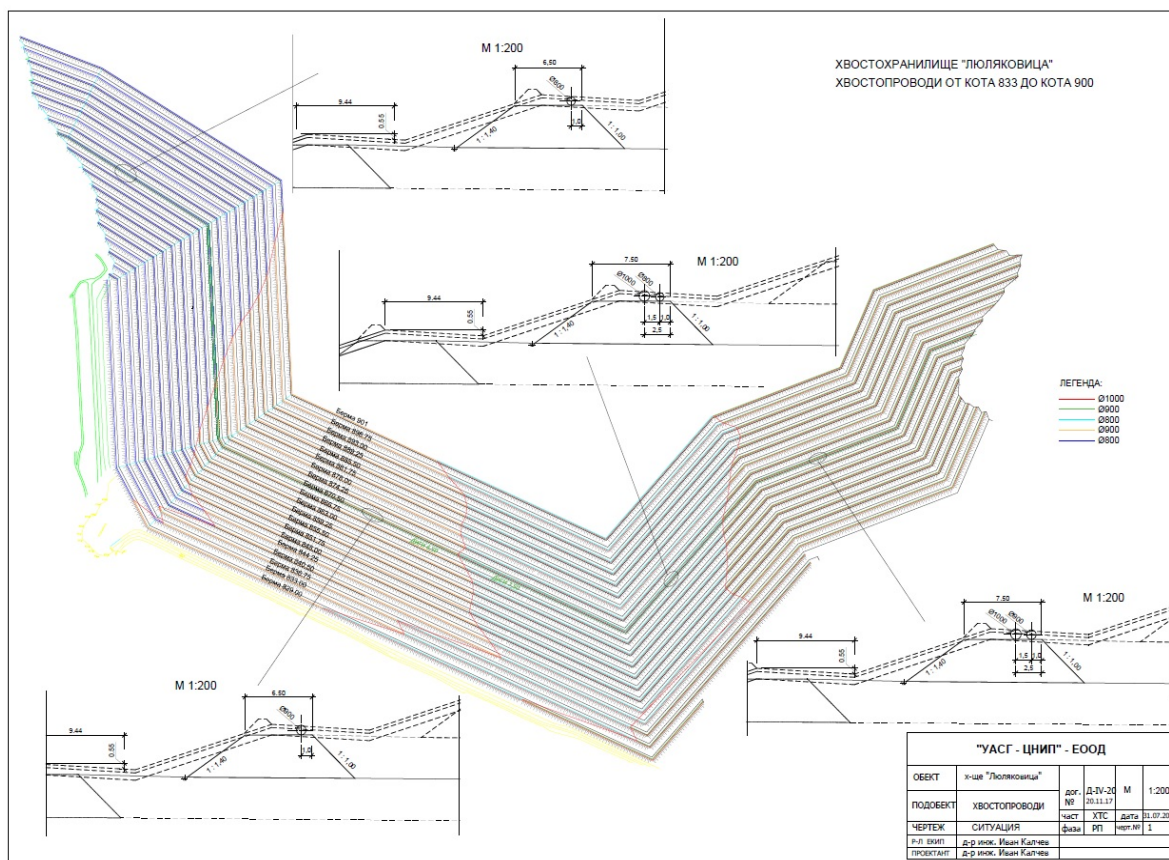
Според преработката в ОФ „Асарел“ количеството на постъпващият хвост за налив, е около 1,6 м³/сек. Той постъпва към хвостохранилището от ОФ „Асарел“ по работния магистрален тръбопровод



DN1400. В резервния DN1200 са изведени всички други замърсени водни количества, като директно са заустени в хвостохранилището. Целта ни е да не се допуска разреждане на постъпващия за налив материал.

Наливните тръбопроводи стартират от разпределителна шахта разположена в източната част на хвостохранилището. При тези дължини, за да може наливният процес да се обезпечи гравитачно за максимално дълъг период от време, в работния проект е предвидено при достигане на дига на кота 848, на половината от дължината на наливната дига да се изградят две нитки наливни тръбопроводи. Замисълът е да бъдат намалят загубите на напор по дължина на тръбопровода, като се раздели подаваното количество по двата тръбопровода.

- Първата нитка ще обезпечавя наливането в източната част и участък от южната.
- Вторият тръбопровод ще подава хвоста за налив в останалата част от наливния фронт, до най-крайната точка на дигата. Тоест на този тръбопровод първото му наливно отклонение ще е след последното на първия тръбопровод.



Фиг. 4

На фигура 4 е извадка от РП, на която са показани зоните от наливните диги със съответния брой, вид и диаметър на наливните тръбопроводи. Също така и размерите на дигите в тези участъци.

Броя на тръбопроводите по дигата е определящ за размера и. В участъците където са предвидени два тръбопровода, тя е по-широка :

- Височина: $\approx 4,00$ м;
- Ширина на короната: **7,50** м;
- Широчина на основата: 17,23 м,

В участъците на дигата, където ще има един (наливен) тръбопровод, са определени следните параметри:



- Височина: $\approx 4,00$ м;
- Ширина на короната: **6,50** м;
- Широчина на основата: 16,23 м;

Технология и етапи на изграждане

Производственият процес в дружеството е непрекъснат – 24/7, което означава, че наливният процес и изграждането на поредната наливна дига трябва да се извършват едновременно.

Точното местоположение на наливните диги се определя така, че да се може разположат отводнителните берми и прилежащите им междинни откоси, като с това се постигне и заложеният в РП генералния наклон на откоса на стената – 1:6.

(чертежи)

Изграждането на наливната дига се изпълнява на етапи. Дължината на всеки нов етап от дигата е в границите 300-400 метра. Всеки следващ етап се стартира след пуска в експлоатация на предходния. Дължината на етапите е избрана така, че да не се създават предпоставки за разпрашаване от осушения фронт на плажа. Времето за изграждане на всеки етап е около 30 дни.

Освен насипите за етапните диги от 2022г във всеки участък се предвидени за изграждане направляващи напречни диги с дължина 350м. Съгласно предписанието на главния проектант с изграждането на тези напречни диги се осигурява:

- достъп до 350 м навътре в плажа, от който се изграждат дренажни сондажи, през 10 м, с дължини от 80-120 м за понижаване на поровото налягане.
- достъп до пиезометрите от КИС разположени в плажа, които се надграждат ежегодно.
- Не се допуска движение на пулповият поток успоредно на наливната дига. Създават се условия за по-добро фракциониране на отложеният хвост.
- Достъп за пробонабиране и опробване на отложения по плажа материал.
- Достъп на експлоатационния персонал за нанасяне на прахоподтискащи продукти по осушения фронт на плажа.

Строителството на наливната дига стартира напролет от запад на изток. Височината на дигата е проектирана така, че да поеме в обемът пред нея отпадъка на ОФ за една година.

Дейностите по изграждането стартират в определеният участък с дължина около 300-400м с промиване и демонтаж на наливния тръбопровод. След това стартира полагането на насипите за наливната и направляващите диги. Полагането на насипите се извършва на пластове 50-60 см. Уплътняването на насипа се извършва от проходките на самосвалите и булдозерите. Преди стартиране на всеки следващ пласт се взимат проби, за проверка на постигната обемна плътност. Тя се определя по пясъчно насипен метод. По проект тя трябва да е над $1,93\text{г/см}^3$. Времето за изграждане на всеки етап по-график е около 30 дни.

След като приключат насипните работи се полагат наливните тръбопроводи. В рамките на няколко часа постъпващият хвост се отбива, за да се извърши свързването на ново изграденият участък от новата дига със старата. Връзката се извършва с временен „S“ образен тръбопровод. През този участък се изгражда път за достъп на сондажната техника работеща по сондажите по направляващите диги.



Фиг.5 – снимка от Google Earth направена през 2022г

В това положение наливните дейности се извършват от две нива – стара и нова наливна дига. Фигура 5

Дейностите се повтарят до цялостното изграждане на новата дига.

Успоредно с изграждането на наливните диги се изграждат отводнителните съоръжения предвидени в РП. Необходимите количества насипи необходими за изграждането на наливните и направляващите диги се набавя от чашата на хвостохранилището.

Изследване на хвоста

С прекъсването на наливния процес в даден участък и изградените направляващи диги се открива възможност за влизане в плажа и вземане на проби от отложения хвост.

Специалистите от Лабораторията по земна механика изследват основни показатели като зърнометричен състав, обемна плътност на скелета, обем на порите, коефициент на порите, естествено водно съдържание, ъгъл на вътрешно триене(основен и остатъчен), кохезия(основна и остатъчна).

В този период се изпълняват изследвания in-situ включващи динамични и статични пенетрации, дилатометрични изследвания. С тях определяме основните физико-механични показатели на хвоста в дълбочина. Те са в основата при изготвянето на изчислителния модел на стената, чрез който се изследва устойчивостта ѝ.

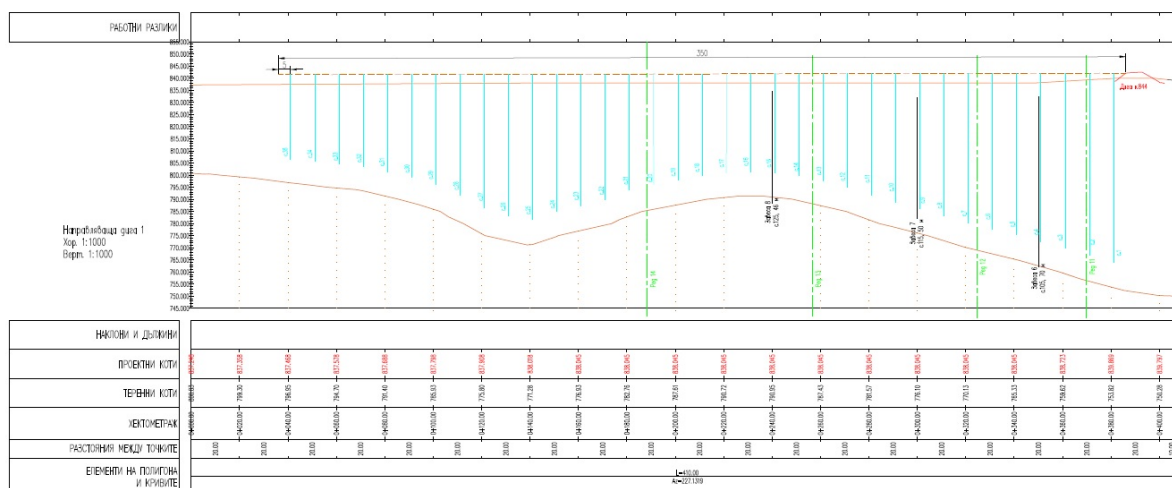
Взимат се ненарушени проби в дълбочина съобразно искането на главния проектант.

Този процес е съгласуван във времето с останалите етапи по изграждането на наливната дига.

Дренажни сондажи за понижаване на поровото налягане

По предписание на главния проектант дренажните сондажи се изграждат от направляващите диги. Представяват сондажи през 10 м с диаметър Ø600 и дълбочина до 10 м над геоложката основа. Запълват се с промит пясък с едрина $d_{cp}=1,0$ мм. Фиг.6

Този процес е най-бавен от всички останали в етапа от изграждане на наливната дига. Затова е нужно използването на минимум два екипа с две сонди.



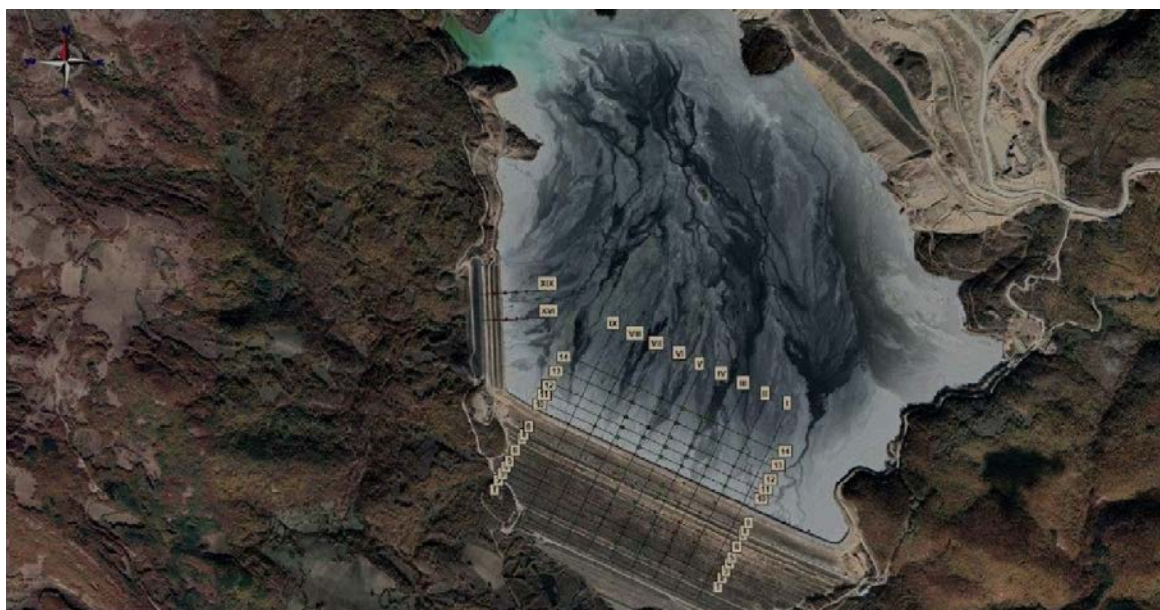
Фиг.6. Надлъжен профил на дренажни сондажи по направляваща дига

Надграждане на КИС

В плажа на хвостохранилище „Люляковица“ са изградени 50 броя пиезометри за измерване на пиезометрично и порово налягания. Оборудвани са със хидростатични сензори и управляващи модули, които предават информация в реално време.

Ежегодно тези пиезометри се надграждат от експлоатацията на цех „ВОС, ПС и SX-EW“. Основен момент в този процес е достъпът тях (най-вътрешните са на 200 м), за което плажа трябва да е достатъчно осушен, за да се работи безопасно и ефективно. Това е съобразено с поетапното изграждане на дигата, наливния процес и направляващите диги.

Всеки пиезометър се надгражда с 4,0 м, запълват се с пясък и се поставя мълниезащита. Преди това се проверяват дълбочините и се сравняват ръчните измервания с автоматичните данни. Конструкцията по надграждането е съобразена с изискванията в работния проект.



Фиг.7

Отводнителни съоръжения

Повърхностните води от откосите и бермите на хвостохранилището се отвеждат към източния и западния контакт на стената със съществуващия терен.

Водите от нерекултивирани берми и прилежащите им откоси се улавят чрез открити шахти и се насочват към съоръжения (тръбопровод/канал) за замърсени води по източния и западния контакт на стената и оттам през съоръженията за отводняване на основната стена на хвостохранилището към Контактен водоем.

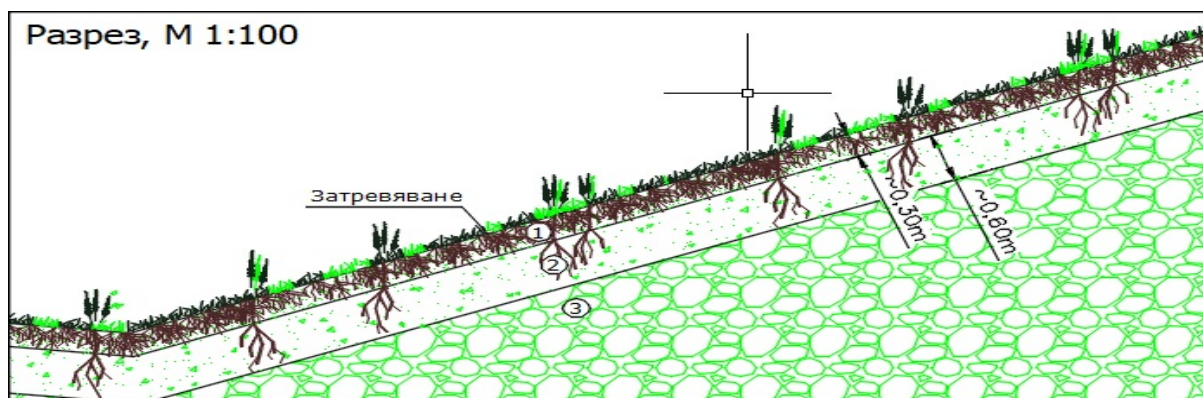
Съоръженията, отвеждащи повърхностните води от бермите и прилежащите им откоси, експлоатационните пътища и скатове, оттичащи се към стената, са оразмерени за водни количества, формирани от валеж с обезпеченост 0.002 % (вероятност за превишение 1 път на 50 000 години).

Изграждането им стартира след първия изграден участък от запад. По тази причина изграждането на шахтите е разделено на два етапа:

- Височината на стените е на ниво дига, за да се улавят замърсените води;
- След рекултивация на дигата, стените се надграждат до проектни коти.

Рекултивация

След като поредната наливната дига е изградена се стартират дейностите по рекултивация на предходната дига. Първо се извършва техническа рекултивация за оформяне на наклоните и местоположението на отводнителни берми както и междинните откоси с наклон 1:3. Следва изпълнение детайла на биологичната рекултивация- нанасят се два пласта по 30-40см скален материал и 30см хумус. Най-накрая се преминава към полагането на тревна смеска.



Фиг.8 Детайл за изпълнение на биологична рекултивация на хвостохранилище „Люляковица“



Фиг.9 – Полагане на тревна смеска върху рекултивиран откос



Литература

1. Работен проект за експлоатационно изграждане на хвостохранилище „Люляковица до кота 900“ етапно изпълнение- изготвен от „ЦНИП-УАСГ“ ЕООД
2. Работен проект за реконструкция на хвостопровод и обратно водоснабдяване в участъка засегнат от развитието на минните работи на рудник „Асарел“ – етапно изпълнение- изготвен от „Минпроект“ ЕАД



ПРОЕКТИРАНЕ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЪГЛАСНО ДОБРИТЕ ИНЖЕНЕРНИ ПРАКТИКИ.

ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЧЕЛОПЕЧ“

Николай Николов – Енергоексперт АД
Людмил Кантарджиев - Дънди Прешъс Метълс Челопеч АД

РЕЗЮМЕ

Хвостохранилищата са съоръжения, в които се съхранява отпадъчен продукт при преработката на руда в минната индустрия. Проектирането и изграждането на хвостохранилища е сложен и отговорен процес. Представен е проект за „Повишаване конструктивната сигурност на хвостохранилище Челопеч“, съгласно добрите практики за проектиране на хвостохранилища. Повишаването на сигурността е осъществено, чрез укрепване на основната стена на хвостохранилището (затежняващ насип) и изграждане на допълнителни дренажни системи. С изпълнение на проекта, се изгражда едно сигурно съоръжение отговарящо на най-добрите съвременните практики, използвани в световен мащаб за експлоатация и стопанисване на хвостохранилища.

1. Опит в проектирането на хвостохранилища

Фирма Енергоексперт АД е една от водещите фирми при проектиране на хвостохранилища в България. Част от съоръженията, които сме проектирали са:

- Хвостохранилище Челопеч – Дънди Прешъс Метълс Челопеч АД;
- Депо за фаялит – Аурубис България АД;
- Утаителен басейн „Падина“ – Солвей Соди АД
- Хвостохранилище Лъки-2 – Лъки Инвест АД
- Депо за фосфогипс – Агрополихим АД
- Депо за неопасни отпадъци – Топлофикация Сливен ЕАД;
- Хвостохранилище Голям Буковец – България Флуорид ЕООД
- Депо за неопасни отпадъци – Топлофикация Габрово ЕАД;
- Сгуроотвал – ТЕЦ „Русе-Изток“
- и други

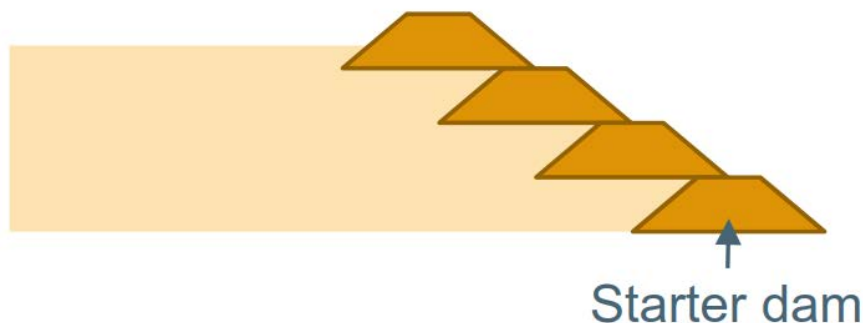
2. Хвостохранилище

Хвостохранилището е съоръжение, в което се съхранява отпадъчен продукт при отделяне на руда в минната индустрия. Хвостохранилищата са хидротехнически съоръжения, подобни на язовирите. Основната разлика между Хвостохранилищата и язовирите, е че при хвостохранилищата се задържа смес от наситени твърди частици от хвост и вода, а при язовирите само вода. Проектирането и изграждането на хвостохранилища е сложен и отговорен процес. Хвостохранилищата се изграждат непрекъснато по време на тяхната експлоатацията и в продължение на живота на мината. Обикновено се изгражда начална стена, която се издига постепенно, докато съоръжението се запълва със смес от вода и твърд продукт чрез наливане. При наливането твърдите частици се утаяват (образува се плаж), а водата се отделя в утаително езеро (утайник).

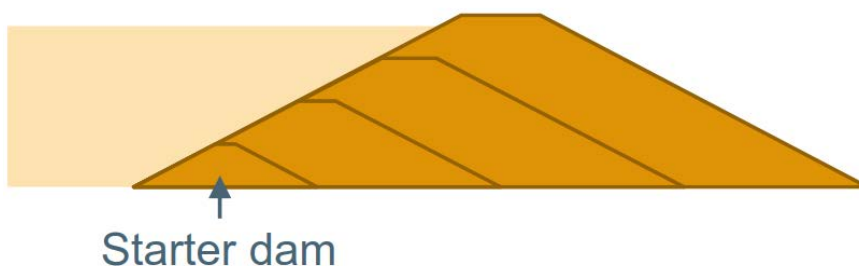
3. Видове хвостохранилища

Има три основни типа стени за изграждане на хвостохранилища:

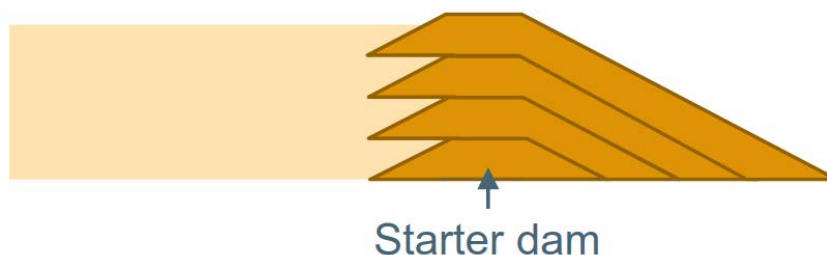
- Upstream (нагоре и на вътре)



- Downstream (надолу и навън)



- Централно ядро



4. Световна практика

Неотдавнашните големи аварии на хвостохранилища доведоха до цялостно преразглеждане на проектирането и управлението на съоръженията за съхранение на хвостохранилища. Преди 60-те години на миналия век минните остатъци често се изхвърляха директно в езера, реки или естествени топографски депресии или се съхраняваха във водоеми, поддържани от земни язовири, без непременно да се прилагат инженерни принципи. Правилното прилагане на инженерния дизайн към хвостохранилищата започна през 60-те години на миналия век чрез използване на принципите на конвенционалните водни язовири и механиката на почвата.

5. Добрите инженерни практики за проектиране на стените за хвостохранилища

Въз основа на поуките, извлечени от разследванията на неотдавнашните повреди на хвостохранилищата Mount Polley в Британска Колумбия, Канада и Fundão в Минас Жерайс, Бразилия, правителствените агенции, регулаторните органи и индустрията подобряват начина, по който се проектират, изграждат и поддържат хвостохранилищата.

Канадската асоциация на язовирите (CDA) и Международната комисия за големи язовири (ICOLD), представляващи съответно канадската и световната научна общност и индустрия, преразглеждат своите насоки за проектиране и експлоатация на хвостохранилищата.

Трите най-често срещани технически причини за повреди на стените на хвостохранилището са:

- Разрушаване на откоса на стената поради неправилно характеризиране на основите или контрола на качеството и осигуряване на запълването на конструкцията.
- Повреда на тръбопровода.
- Повреда при преливане поради неправилно управление на водата в хвостохранилището.

За да намалят риска от повреда на хвостохранилището в дългосрочен план, инженерите и собствениците на мини трябва да имат предвид:

- Минимизиране на водата, задържана в съоръжението за съхранение на хвост.
- Съгъстяване или филтриране на хвоста (депонирания материал).
- Поддръжка на широка плажна ивица.
- Разширяване на короната на стената, за да се предотврати „свличане“ или ерозия от малки пробиви в стената.
- Добавяне на допълнителни преливници в некритичните зони на водохранилището за управление на излишната вода.
- Възстановяване на площадката при затваряне на мината с растителност и устойчиви на ерозия повърхности (Рекултивация).

6. Последици от разрушаването на стената на хвостохранилището

Последиците от разрушаване на миннодобивните язовири (хвостохранилища), които съдържа твърди вещества, които могат да се втечняват, могат да бъдат по-големи от последиците за същия язовир, съдържащ само вода. Повредите могат да бъдат както физически, така и екологични. Отстраняването на освободените твърди вещества и почистването им може да се окаже непрактично в много случаи, например в гъсто залесени площи или водопади.



Merrispruit 1994



Mount Polley 2014



Fundao 2015



Clinton Creek 1985

7. Повишаване конструктивната сигурност на хвостохранилище „Челопеч“

7.1. Кратки сведения за съоръжението

Хвостохранилище Челопеч обслужва Обогатителната фабрика на Дънди Прешъс Метълс Челопеч. Изградено е в Чифлик дере, на 3 км южно от с. Челопеч. Разположено е в землищата Челопеч и Чавдар.



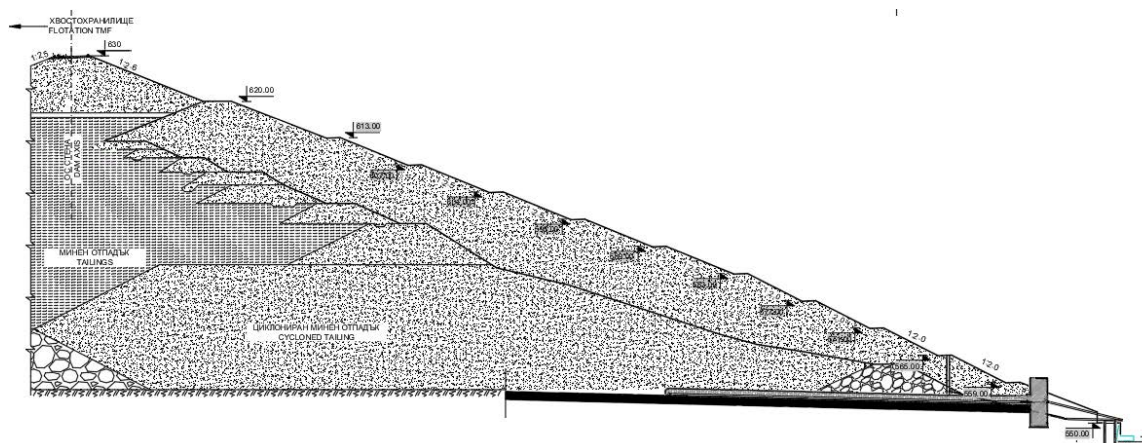
Хвостохранилище Челопеч по време на строителство на затежняващия насип

Първия етап от строителството на стената е изпълнен по метода Downstream (надолу и навън), чрез хидроциклонирание до кота 585. Следващите надграждания до кота 611 са изпълнени по метода Upstream (нагоре и навътре), чрез опорни призми, от които се намира.

При надграждането до кота 620 е изпълнено и укрепване на стената. Последния етап от надграждането на хвостохранилището е до кота 630.

За ограничаване на навлизането на скатови води в зоната на хвостохранилището е изградена външна отводнителна система състояща се от Северен и Западен скатови канали.

В основната стена има изградена дренажна система за улавяне на филтриралите води в стената. Състои се от дренажна галерия, линейни дренажи в петата и дренажна помпена станция.



Типов напречен профил при надграждане до кота 630

7.2. Повишаване конструктивната сигурност на хвостохранилище „Челопеч“

Хвостохранилището отговаря на действащата нормативна база на територията на РП България, но предвид отговорността на съоръжението и случващите се в годините назад аварии с такъв тип хвостохранилища се прие да се изготви проект за повишаване конструктивната сигурност на основната стена на хвостохранилище Челопеч, съгласно добрите практики за проектиране на подобни съоръжения в световен мащаб. За тази цел се изпълни проект за затежняване на основната стена на хвостохранилището съгласно последните критерии за проектиране, базирани на изискванията на CDA (Канадска Асоциация на Язовирите).

Съгласно класификацията на CDA класът на съоръжението е повишен от Много висок на Екстремн.

Клас на съоръжението	Население в опасност	Нарастващи загуби		
		Загуба на живот	Екологични и културни ценности	Инфраструктура и икономика
Екстремн	Постоянно	Повече от 100	Голяма загуба на критично местообитание на риби или диви животни; Възстановяване или обезщетение в натура е невъзможно	Екстремни загуби, засягащи критична инфраструктура или услуги (напр. Болница, основен индустриален комплекс, големи съоръжения за съхранение на опасни вещества)

7.2.1. Основни критерии за устойчивост на стената съгласно CDA

Основните критерии за сигурност на съоръжението за постигане на нормативните коефициенти на сигурност при следните изчислителни случаи:

1. Основно съчетание на натоварванията - $K_s \geq 1.5$
2. При сеизмично въздействие $K_s \geq 1.0$
3. При втечняване на част от хвоста след сеизмичното въздействие $K_s \geq 1.2$

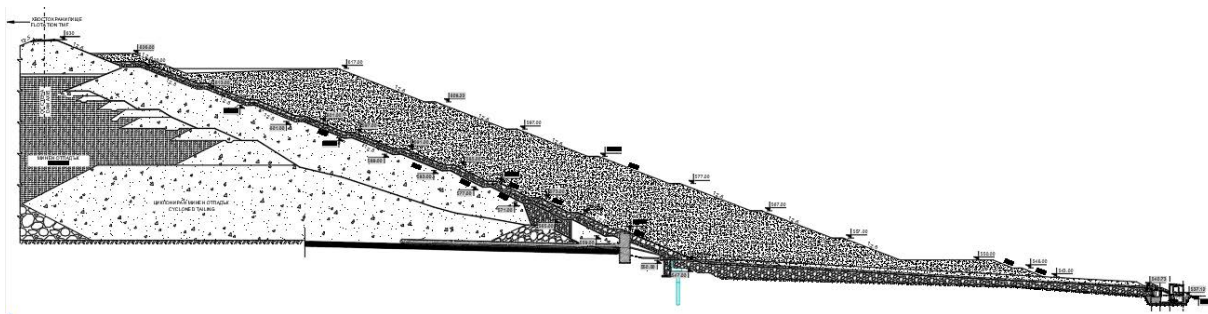
При надграждане на стената до кота 630 при първите два изчислителни случая се достигат необходимите коефициенти на сигурност. При третия изчислителен случай – втечняване, коефициентът на сигурност е по-малък от необходимият $K_s \geq 1.2$. Това налага изграждането на контранасип с геометрични размери и качества на материала осигуряващи $K_s \geq 1.2$.

7.2.2. Феноменът Втечняване

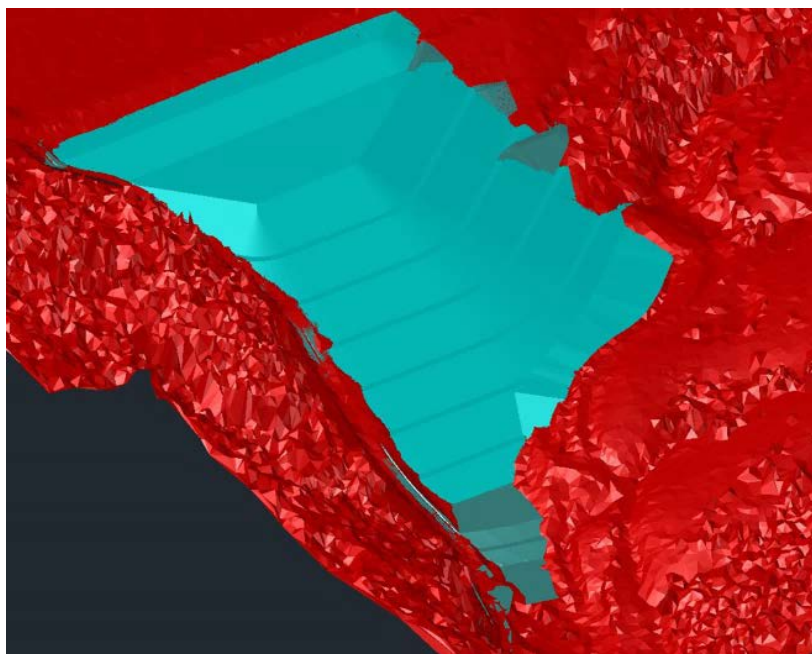
Втечняването на почвата е една от най-честите причини за разрушаване на язовирна стена като цяло и най-честата причина за разрушаване на стена на хвостохранилище, свързано с появата на земетресения. Земетресения, които могат да прехвърлят нормално напрежение от пясъчния скелет към съдържащата се вода. Това се получава предимно при водонаситени почви. Резултатът е намаляване на ефективното напрежение на ефективното задържане в почвата и свързаната загуба на якост и твърдост, което допринася за деформации на почвения депозит.

7.2.3. Укрепване на основната стена на хвостохранилище Челопеч

От направените проверки за устойчивост на основната стена, изградена до кота 630, съгласно препоръките на CDA, се установи че е необходимо укрепване на стената. Укрепването на стената се изпълнява чрез изграждане на контранасип с цел затежняване на стената.



Типов напречен профил за затежняване на Основна (Южна) стена на хвостохранилище Челопеч.



3Д модел на затежняващия насип на Основна (Южна) стена на хвостохранилище Челопеч

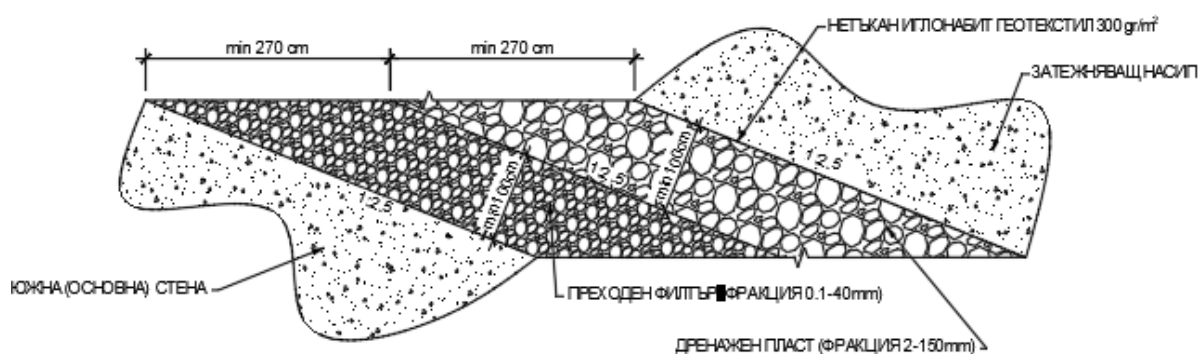


Ситуация (по време на строителство) на затежняващия насип на Основна (Южна) стена на хвостохранилище Челопеч

7.2.4. Дренажна система

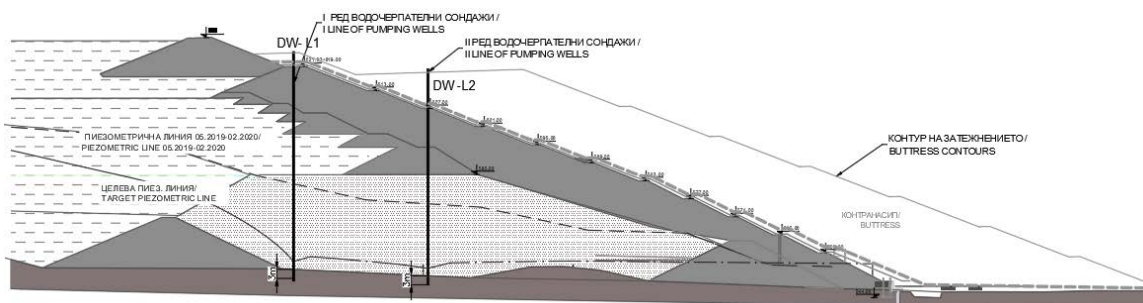
Основен компонент в устойчивостта и сигурността на този тип съоръжения е дренажната система. С изграждане на контранасипа, съществуващата система е преработена като дренажните клонове в стената са изведени до нова дренажна помпена станция. Изграждат се допълнителни дренажни системи:

- Дренажен пласт между основната стена и затежняващия насип



Детайл на дренажните пластове и спрягането им със съществуващия насип на основната стена

- Система от водопонизителни кладенци.



Напречен профил с местоположения на допълнителната водопонизителна система

С изграждането на двете допълнителни дренажни системи тройно се подсиgurяват дренажните функции на съоръжението.

Всички води от трите дренажни системи се събират в дренажната помпена станция, изградена в петата на стената. От там чрез по-малка дренажна вода се връща обратно в хвостохранилището.

7.3. Заключение

С изпълнение на проекта за Повишаване конструктивната сигурност на основната стена на хвостохранилище „Челопеч“, се изгражда едно сигурно съоръжение отговарящо на добрите съвременни практики, използвани в световен мащаб за експлоатация и стопанисване на хвостохранилища. Дава се допълнителна сигурност, както на самото предприятие, така и на заобикалящата ги среда, че съоръжението е устойчиво на външните и вътрешни въздействия. Допълнителните дренажни системи изградени по време на затежнението допринасят за поддържане на едно ниско водно ниво в тялото на стената.

Използвана литература:

1. Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams, Canadian Dam Association, 2014г.
2. Проект за „Модернизация на хвостохранилище „Челопеч“ за надграждането му до кота 620, изготвен от Енергоексперт АД, 2012г..
3. Проект за „Модернизация на хвостохранилище „Челопеч“ за надграждането му до кота 630, изготвен от Енергоексперт АД, 2018г.
4. Chelopech Tailings Storage Facility – Liquefaction Assessment – Golder Associates Ltd – 09.2019
5. Критерии за проектиране на контра насипа при южната стена, Енергоексперт АД, 2019г
6. Повишаване на конструктивната сигурност на южната (основна) стена на хвостохранилище „Челопеч“, Енергоексперт АД, 2021г

РЕКУЛТИВАЦИЯ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА „БЕНКОВСКИ 1“ и „БЕНКОВСКИ 2“

инж. Стоил Димитров, s.dimitrov@ellatzite-med.com
инж. Лъчезар Геров, l.gerov@ellatzite-med.com
инж. Момчил Бояджиев, m.boyadzhiev@ellatzite-med.com
„Елаците-Мед“ АД

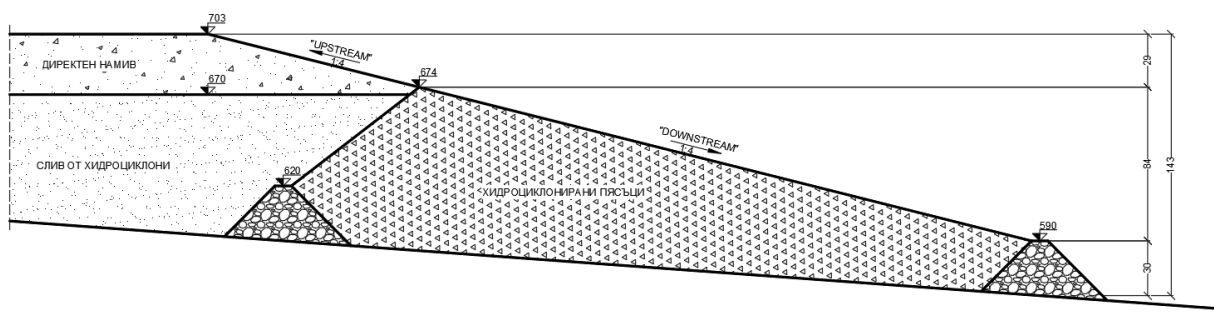
„Елаците-Мед“ АД е водещо дружество в минната индустрия на Република България, с основен предмет на дейност добив и първична преработка на медно-порфирни златосъдържащи руди от находище „Елаците“. Добитата и натрошена скална маса се транспортира от открития рудник, разположен в землищата на гр. Етрополе и с. Челопеч, до Обогатителния комплекс, с. Мирково, по магистрална гумено-транспортна лента под Стара планина. След преработката отпадъкът от флотацията на обогатителната фабрика, чрез хидротранспорт, е депониран в периода от 1981 г. до 2001 г. в хвостохранилище „Бенковски-1“, а през 1998 г. стартира експлоатацията на хвостохранилище „Бенковски-2“. Така в преходния период двете съоръжения съвместно поемат отпадъка от дейността на предприятието, постепенно се извежда „Бенковски-1“ от експлоатация и се осигурява плавното въвеждане в експлоатация на „Бенковски-2“ без сътресения в технологичния ритъм на компанията.



Фиг. 1. Рекултивирани терени от въздушен откос „Бенковски-2“(2022)

Хвостохранилище „Бенковски-1“

Хвостохранилище „Бенковски-1“ се намира непосредствено над с. Бенковски, на 75 km източно от гр. София, то е скатен тип и се разполага на площ от 3000 dka. Надграждането във височина може да бъде обособено в два основни етапа, от кота 620 до кота 674 чрез хидроциклонизиране към въздушен откос, т.нар. „Downstream“ и от кота 674 до кота 703 чрез директно намиване и вторични диги, изградени от багер драглайн към воден откос, т.нар. „Upstream“.



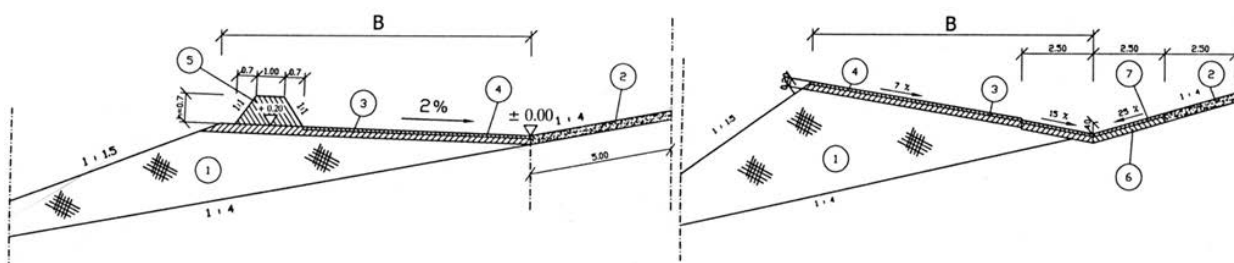
Фиг. 2. Технологична схема на изграждане на хвостохранилище „Бенковски-1“

Рекултивация на „Бенковски-1“

След преустановяване експлоатация на съоръжението през 2001 г. и извършени стабилитетни изследвания, доказващи устойчивостта на въздушния откос, се пристъпва към изработване на цялостен проект за рекултивация, като трябва да се отбележи, че консервационни дейности върху въздушния откос са изпълнявани след преминаване към метод на изграждане „Upstream“, успоредно с наливния процес. Полаган е почвен пласт с дебелина 0,3 m, извършено е затревяване с тревни смеси от червена власатка, ливадна метлица, тънка полевица и залесяване с фиданки от вида бяла акация. Проектът за окончателно закриване на „Бенковски-1“ е изработен от „Геотехмин – Консулт и инженеринг“ ООД през 2004 г., а работата по проекта започва през 2006 г. Поради специфичните условия на отделните участъци са обособени 3 отделни зони: въздушен откос, плажна зона и утаечно езеро.

По-голямата част от въздушния откос е консервирана по време на експлоатацията, а върху останалите площи е направено цялостно планиране и е извършена техническа и биологична рекултивация. Основната цел на биологичната рекултивация е предотвратяване появата на ерозионни процеси върху почвеното покритие и изравнянето на откоса. Трябва да се отбележи, че след оформянето на склоп и горска постеля, тревната растителност намалява и с годините се изгубва.

С цел улавянето и отвеждането на повърхностния отток, паднал върху въздушния откос, са изградени 5 броя берми през разстояние от 60 m, които имат ширини от 6, 8 и 10 m. Отводнителите имат както напречен наклон, изграден чрез подравнителен слой глина с дебелина 0,2 m в горната си част, примесен със заздравяващ слой скраб с дебелина 0,1 m, така и двустранен надлъжен наклон към периферията на откоса към двата колектора, които отвеждат всички акумулирани води извън района на „Бенковски-1“.



Фиг. 3. Напречен разрез през отводнителите „Бенковски-1“

- 1 – Съществуваща берма ; 2 – Почвен слой 0,3 m ; 3 – Подравнителен слой от глина 0,2 m ;
4 – Заздравяващ слой от чакъл 0,1 m ; 5 – Насипна дига от глина с височина 0,7 m ; 6 – Уплътнен слой от глина 0,2 ; 7 – Геоклетъчна система с модул 16/2,5/0,075 m и клетки 500/420 mm с уплътнена глина ;

Надлъжните наклони на отводнителите са проектирани така, че да осигуряват скорост на течението по-висока от затлачващата, а при валежи, с обезпеченост 1 % максималната скорост на потока, да бъде по-малка от изравнящата.



Фиг. 4. Събирателен колектор „Бенковски-1“

Двата колектора, изградени в контакта между естествения терен и въздушния откос, имат трапецовидно напречно сечение с облицовка, в зависимост от максималната скорост на течението в него. Наклоните на дъното и на двата са по-големи от критичния, за което са предвидени хидравлични прагове за погасяване на енергията.

Колекторите заустват в отвеждащо съоръжение, състоящо се от приемна стоманобетонова шахта, тръбна част, минаващата през долната стена, енергогасител и трапецовиден канал, заустващ в близко съществуващо дърво.



Фиг. 5. Отвеждащо съоръжение

Веднага след извеждането от експлоатация на „Бенковски-1“ започва извършване на техническа рекултивация върху сухите части от плажната зона. Дейностите стартират през 2001 г. и завършват през 2007 г. Биологичната рекултивация се състои в затревяването на захумусената повърхност с гореспоменатите тревни смеси, като за получаване на добро тревно покритие са извършени редица

допълнителни дейности (оран с дисков плуг, фрезование, брануване, валиране преди и след сеитбата), а през първите години след завършването на биологичната рекултивация грижите за тревните зони включват поливане, торене и периодично косене. В допълнение, върху сухия плаж е изграден ветрозащитен горски пояс с ширина 10 m.



Фиг. 6. Насипни дейности в плажна зона.

Основната задача преди започване на дейности по техническата и биологична рекултивация на утаечното езеро е цялостното му осушаване, което е предпоставка за естествената консолидация на хвоста. За целта е проектирана и изградена система за отводняване на езерото, състояща се от три отделни съоръжения: плаваща помпена станция, плаваща връзка и напорен тръбопровод, насочващ водите към „Бенковски2“, където се включват в системата за обратно водоснабдяване на фабриката. По този начин се избягва тяхното изпускане и замърсяването на околната среда. След консолидация последващата техническа рекултивация се състои в планиране на площите за ликвидиране на безотточни зони, създаване на многостранен наклон към най-ниската точка от езерото и захумусяване. Биологичната рекултивация на утаечното езеро е изпълнена аналогично на плажната зона.



Фиг. 7. Начален етап на осушаване на утаечното езеро 11.03.2008 г.



Фиг. 8. Краен етап на осушаване на утаечното езеро 16.09.2010 г.

Консервационните дейности на „Бенковски-1“ завършват през 2011 г. и на 18.01.2012 г., от Държавна приемателна комисия, е приета окончателната рекултивация на хвостохранилището.

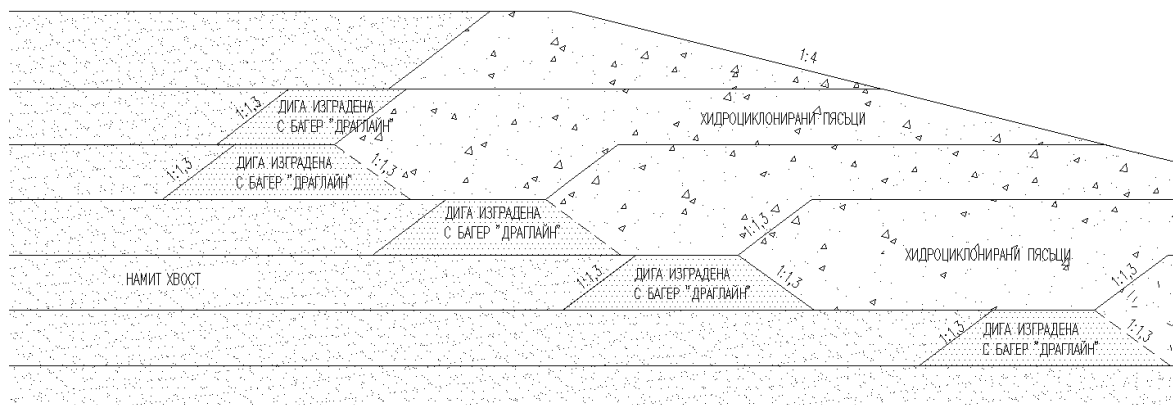


Фиг. 9. „Бенковски-1“ след приключване на рекултивационните дейности.

Хвостохранилище „Бенковски-2“

Хвостохранилище „Бенковски-2“ се намира непосредствено до „Бенковски-1“, над десния бряг на река „Тополница“. С отчитане на опита от „Бенковски-1“, „Бенковски-2“ също е скатен тип, състои се от две секции, носещи имената на двете негативни форми на релефа – „Ай дере“ и „Сулуджа дере“,

разделени напълно една от друга чрез разделителна дига. И тук съоръжението се надгражда по две основни технологични схеми, „Downstream“ която е основна и „Upstream“, съпътстваща технологична схема, която след усвояването на обемите от страната на въздушните откоси на хвостохранилището ще се превърне в основна.



Фиг. 10. Технологична схема на изграждане на хвостохранилище „Бенковски-2“

Рекултивация на „Бенковски-2“

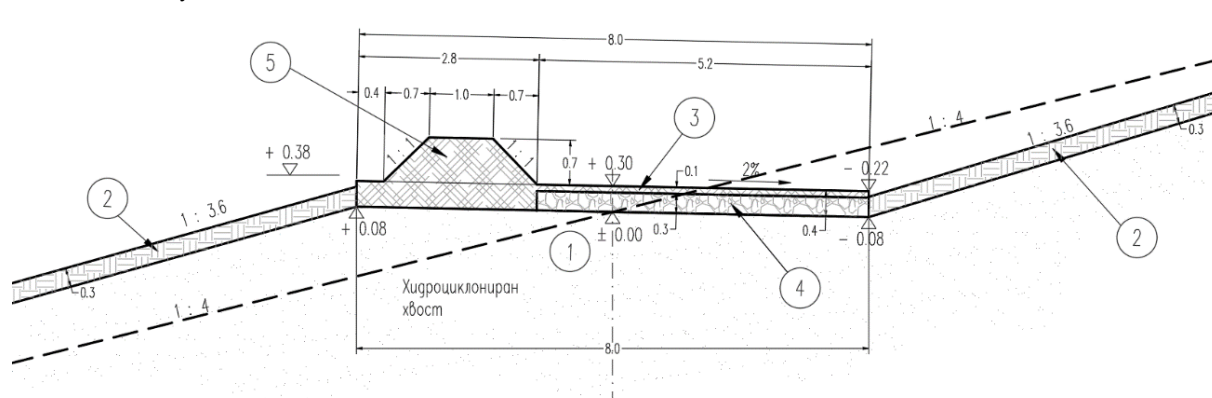
Спрямо цялостния проект съоръжението трябва да достигне до кота корона 727 през 2031 г., към момента тече изграждане на кота корона 710. Следвайки опита от „Бенковски-1“ и тук, в участъците с усвоени обеми от страна на въздушните откоси, консервационните дейности ще се изпълняват успоредно с експлоатацията на хвостохранилището, като до 2021 г. е извършена техническа и биологична рекултивация на над 290 dka. През 2022 г. беше започната техническа рекултивация на нови 120 dka, а през настоящата 2023 г. текат довършителни дейности и предстои извършването на биологичната рекултивация, както и планировка за извършването на допълнителни 90 dka техническа рекултивация.



Фиг. 11. Техническа и биологична рекултивация на площи от въздушния откос на хвостохранилище „Бенковски-2“.

Тук проектните решения за отводняването на въздушния откос са аналогична на тези при „Бенковски-1“, като се изграждат 8 броя берми през 20 метра във височина, с ширина на короната 8 м.

Предвиден е напречен наклон 2% и двустранен надлъжен наклон 0,2 % в посока към колектори в петите на въздушните откоси.



Фиг.12 Напречен разрез през отводнител „Бенковски-2“

- 1 – съществуващата берма ; 2 – Хумусен слой 0,3 m ; 3 – Уплътнен насип от глина 0,1 m ;
4 – Заздравяващ слой от чакъл 0,3 m ; 5 – Насипна дига от уплътнена глина с височина 0,7 m ;



Фиг. 13. Дено за хумус в непосредствена близост до „Бенковски-2“ и течащи дейности по техническата рекултивация

За извършването на цялостна техническа рекултивация след извеждането от експлоатация, при започването на строителството на съоръжението, е изпълнена програма по механизирано изземване на хумусния слой от терени, подлежащи на заливане при депониране на отпадъка. Проектирани и разработени са депа, които напълно ще обезпечат нужните количества за консервирането на „Бенковски-2“. По този начин се намалява времето за изграждане на рекултивацията и се минимализира екологичното въздействие, тъй като обемите почва са налични и се намират в непосредствена близост до хвостохранилището.



Фиг. 14. Техническа рекултивация на части от въздушен откос, секция „Ай дере“



Заклучение

Извършената рекултивация на „Бенковски-1“ и части от въздушния откос на „Бенковски-2“ е пример за успешното закриване на подобен тип съоръжения, а постигнатите устойчиви екологични показатели и изпълнението на програмата за изграждане на предварителни депа за земни маси около „Бенковски-2“, са доказателство за опита и социалната отговорност, от страна на дружество „Геотехмин“, към управлението на минните отпадъци. Намаляването на площите, подлежащи на принудително дъждуване, от своя страна ще допринесе за намаляването на потреблението на електроенергия, запрашаемостта в района на хвостохранилището и цялостния екологичен отпечатък на предприятието.

Литература

1. Рекултивация на хвостохранилище „Бенковски-1“. Използване на опита за планиране на бъдещата рекултивация на хвостохранилище „Бенковски-2“, инж. Стоил Кр. Димитров
2. Рекултивация на хвостохранилище „Бенковски-2“ – работен проект, „ГЕОПРОЕКТ“ ЕООД

ПРИЛАГАНЕ НА ДОБРИ ЕКОЛОГИЧНИ И ИНЖЕНЕРНИ ПРАКТИКИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ДЕПА ЗА НЕОПАСНИ ОТПАДЪЦИ

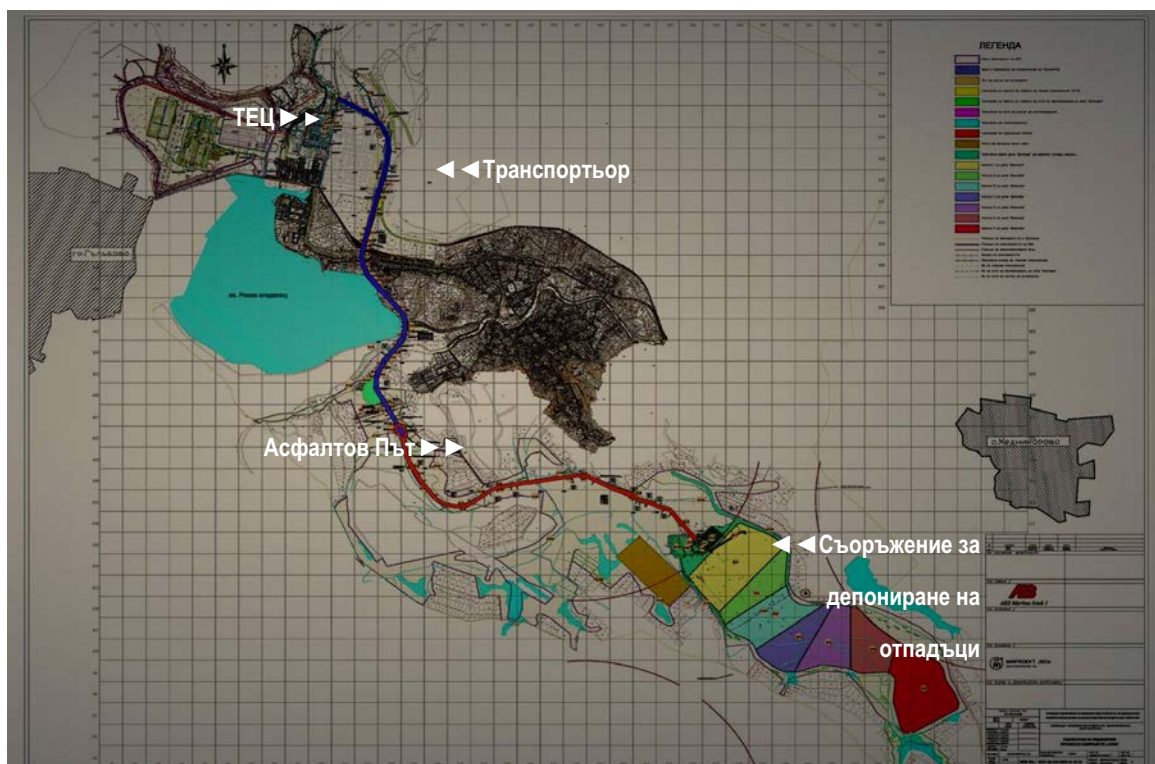
Инж. Тенко Палазов, tenko.palazov@aes.com

РЕЗЮМЕ

Съоръжение за депониране на отпадъци е проектирано и изградено в съответствие с най-иновативните екологични стандарти и инженерни практики за сухо депониране на отпадъчния продукт (дънна и летяща пепел и гипс) от производството на електроенергия от ТЕЦ AES Марица Изток 1 като средногодишното количество депониран продукт е 2 000 000 тона. Транспортирането се извършва с тръбен лентов транспортър с дължина 4535 метра и прилежащи към него 6 броя коритообразни транспортъри до претоварен пункт, от където с помощта на камиони, по 5000 метров асфалтов път се извозват до съоръжение за отпадъци, което е изградено върху стари насипища за откривка от въглищни мини.

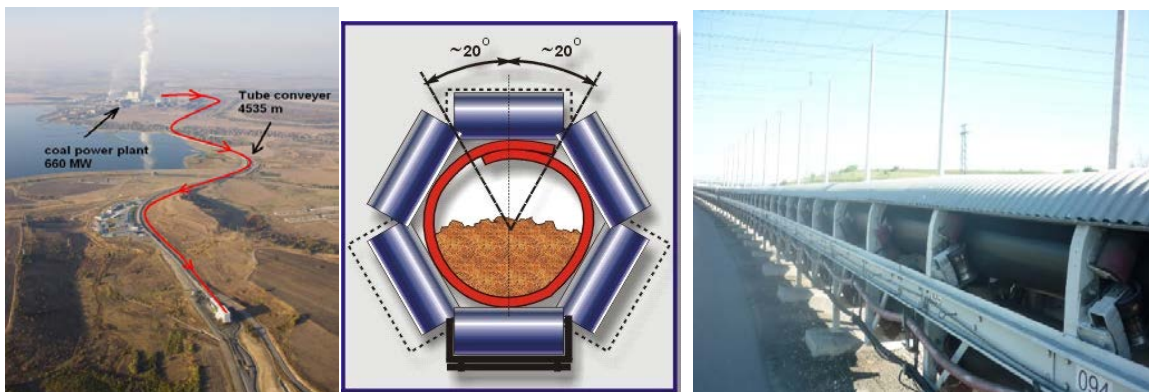
ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Съоръжение за депониране на отпадъци е проектирано и изградено според най-иновативните екологични стандарти за сухо депониране на отпадъчния продукт (дънна пепел, летяща пепел и гипс) от производството на електроенергия от ТЕЦ AES Марица Изток 1, състояща се от два енергоблока с нетна мощност 300 MWh всеки, като средногодишното количество отпадъчен продукт е 2 000 000 тона. Транспортирането се извършва с тръбен лентов транспортър и прилежащи към него 6 броя коритообразни транспортъри до претоварен пункт, от където с помощта на камиони, по асфалтов път се извозват до съоръжение за отпадъци, което е изградено върху стари насипища за откривка от въглищни мини.



ТРАНСПОРТ

Разстоянието между ТЕЦ и Съоръжение за депониране на отпадъци е 10 км. В първата половина от разстоянието, отпадъчните продукти се транспортират посредством тръбен лентов транспортър с дължина 4535 метра, капацитет 1400 тона за час, максимална скорост 4,8 метра в секунда. Диаметърът на лентовото платно в работно състояние е 400 мм.



Затвореният в двете посоки транспортър елиминира опасността от запрашаване. За намаляване на общия фонов шум се ползват специални гумирани ролки, с монтирани пластмасови втулки по осите и гумена подложка между ролконосача и металната конструкция. Върху частта от транспортъра, преминаваща през населеното място е поставено допълнително шумоизолиращо покритие, а задвижващите станции са също максимално отдалечени от него.

Транспортърите са оборудвани с множество системи за наблюдение, контрол и изключване при авария, а на местата за претоварване има изградени прахоподтискащи инсталации.



СТРОИТЕЛСТВО

Съоръжението за депониране на отпадъци е проектирано със седем клетки с общ капацитет 47 304 000 тона. Теренът е антропогенно повлиян и представлява стари насипища за откривка от въглищни мини. Първоначално се оформя дъното на клетката с проектните наклони и място за дренажни тръбопроводи, след което се полага слой геомембрана, а върху нея се полага дренажен материал. Долният изолационен екран предотвратява навлизането на инфилтрат в подземните води.



ЕКСПЛОАТАЦИЯ

Максималното разрешено за депониране годишно количество продуктите на горенето е 3 200 000 тона. Запълването на всяка една клетка става на слоеве с максимална дебелина от 1 метър и последващо уплътняване на слоя с тежка техника. Работният фронт трябва да е максимално малък по площ, но в същото време трябва да следва предписанията на проекта за спазване на устойчивостта на откосите и да позволява поетпното закриване на клетката. Към днешна дата има депонирани около 24 000 000 тона.



ПРАХОПОДТИСКАНЕ

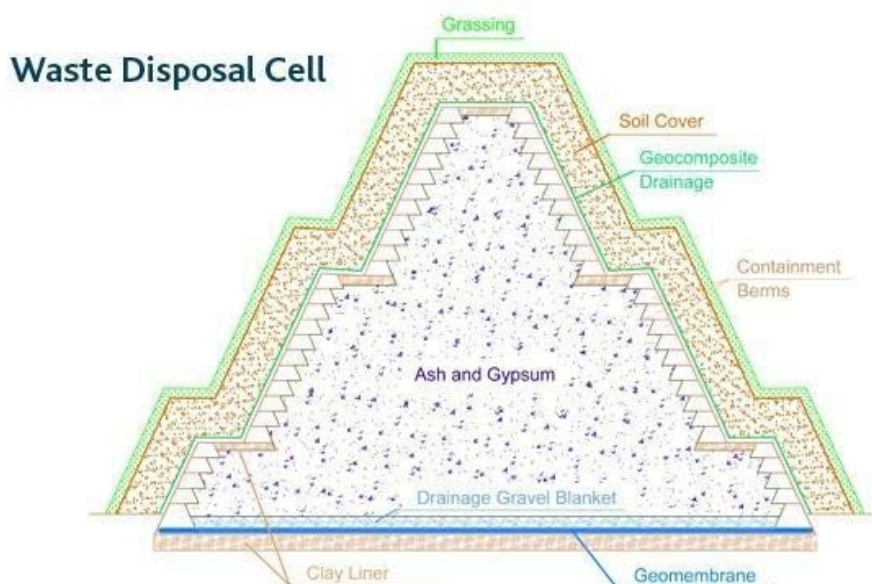
Съоръжението за депониране на отпадъци е оборудвано със стационарна прахоподтискаща инсталация, състояща се от помпена група, подземни хоризонтални напорни и дренажни тръбопроводи, вертикални напорни тръбопроводи, дъждовални апарати с управление през безжична връзка.



Вертикалните тръбопроводи се удължават във височина с по 1 метър с напредването на насипаното количество отпадъчни продукти. Пускането и спирането на дъждовалните апарати се управлява от софтуер, сигналите се предават до всеки един посредством безжична връзка. За да функционират постоянно, разпръсквачите са оборудвани със соларен панел, който ги захранва с енергия и батерия за съхраняването и. Диаметърът, който покрива всеки един от тях е 90 метра.



ЗАКРИВАНЕ



Паралелно с поетапното запълване на клетката се изграждат задържащи диги с височина 1 метър (Containment berms), но вече по навътре в клетката, така че с напредването да се оформя пирамидална структура, осигуряваща отток на атмосферните води. След завършването на определени етапи от депониране на отпадък и изграждане на диги, започва и поетапната рекултивация на клетката чрез полагане на дренажен геокмпозит (Drainage Geocomposite), който не позволява на дъждовните води да проникнат в клетката и почвен слой (Soil Cover) с дебелина около 2 метра над дигите и върху него се засаждат тревни смеси (Grassing).





При закриването се спазват проектните наклони с цел оттичане на дъждовните води извън мястото за депониране.

МОНИТОРИНГ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ



Мониторингът на подземните води се осъществява по време на експлоатацията на клетките на депото, както и 30 години след закриването му в 14 пиезометъра. Периодичността на вземане на проби е в съответствие със съгласувания с ИАОС и БД „Източнобеломорски басейн“ План за мониторинг на подземни води, като се следи за нивото на подпочвените води и химическия състав.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Съоръжението за депониране на отпадъци е инженерно решение, което осигурява устойчивото опазване на околната среда при депонирането на отпадъци.
2. От началото на експлоатацията на депото не са получавани предписания на компетентните органи.
3. От началото на експлоатацията на депото не са получавани оплаквания от обществеността, независимо от факта, че транспортната система преминава през населеното място, в непосредствена близост до жилищни зони и зоната на депониране е на около 2 км от населено място.
4. Технологията на депониране предполага ефективно използване на терена след закриване на депото, като то е напълно интегрирано с околния ландшафт.



НАТУРНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПЛОЩАДКИТЕ И СЪОРЪЖЕНИЯТА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „ЛЮЛЯКОВИЦА“

проф. д-р Светослав Симеонов¹, доц. д-р Кирил Хаджийски¹, проф. д-р Румяна Вацева²

¹Българска академия на науките, ²Геологически институт - БАН
ssimeonov53@abv.bg, kihad@bas.bg, rvatseva@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Проведена е серия от експериментални изследвания за определяне на основни динамични характеристики (собствени честоти/периоди и коефициенти на затихване, изразени в проценти от критичното затихване) на основната стена и контрастената на хвостохранилище „Люляковица“. Получените резултати могат да се използват за верификация на механо-математичното моделиране на съоръженията при провеждане на широк спектър от статични и динамични анализи за различни цели.

УВОД

Провеждането на in-situ експерименти чрез динамични изпитвания на площадките на съоръженията и на самите съоръжения в тяхната естествена среда, съпроводено с инструментално измерване на динамичното реагиране на основната стена и контрастената на хвостохранилище „Люляковица“, е единственият надежден начин за получаване на достоверна информация за реалното поведение на такъв тип инженерни съоръжения и определяне на динамичните им характеристики. Експерименталните данни са необходими за верификация на надеждността на съставените механо-математични модели. Те са гаранция за достоверност на резултатите, получени от числените анализи за доказване на динамичната устойчивост на съоръженията и осигуряване на изискванията за безопасност.

НОРМАТИВНИ ИЗИСКВАНИЯ ЗА ОСЪЩЕСТВЯВАНЕ НА НАТУРНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В наличните нормативни документи не са дефинирани конкретни методи за провеждане на натурни изследвания от този тип. Същевременно съществуват множество препоръки и изисквания за провеждане на обстойни полеви изследвания. В ICOLD (Bull. 98, 1995), глава 4, за проектиране и строителство на хвостохранилища се указва и препоръчва ефектите от сеизмичното реагиране на локалната геоложка среда да се оценят количествено чрез динамичен анализ. В ICOLD (Bull. 148, 2014; Bull. 148, 2016) в раздела за оценка на сеизмичните характеристики се указва, че при определянето им е необходимо да се отчете влиянието на геоложките условия на площадката. Във FEMA (65, 2005) в Глава II се изисква да се отчетат локалните геоложки условия, като се указва: “Site-specific information is required ... to evaluate local site response effects on earthquake ground motions ... through the evaluation ... of field observations and detailed site-specific investigations ...”, което означава и полеви/натурни измервания.

ОПИСАНИЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА, ИЗМЕРВАТЕЛНАТА АПАРАТУРА И ОБОРУДВАНЕТО

Целта на настоящото изследване е чрез натурни измервания със специализирана апаратура да се акумулира масив от експериментални данни за реагирането на основната стена и контрастената на хвостохранилище „Люляковица“.

Най-рационалният метод за изследване трептенията на големи инженерни структури е използването на фоновия динамичен шум. В случая възбудянето е реализирано чрез въздействия от естествения динамичен фон (сеизмични и техногенни микротрептения на земната основа и съоръженията, вятър и др.) и от въздействие на преминаващи превозни средства и експлоатационни взривове от рудника.

Използването на високочувствителна апаратура при натурни измервания на фоновите трептения е един от най-съвременните, надеждни и достоверни начини за определяне на динамичните характеристики на съоръженията и на площадките им по експериментален път. Така получената информация отразява реалното състояние и конкретните условия на обекта и служи за валидиране на характеристиките (маси, коравини, затихване и др.), възприети в изчислителните механо-метематични модели.

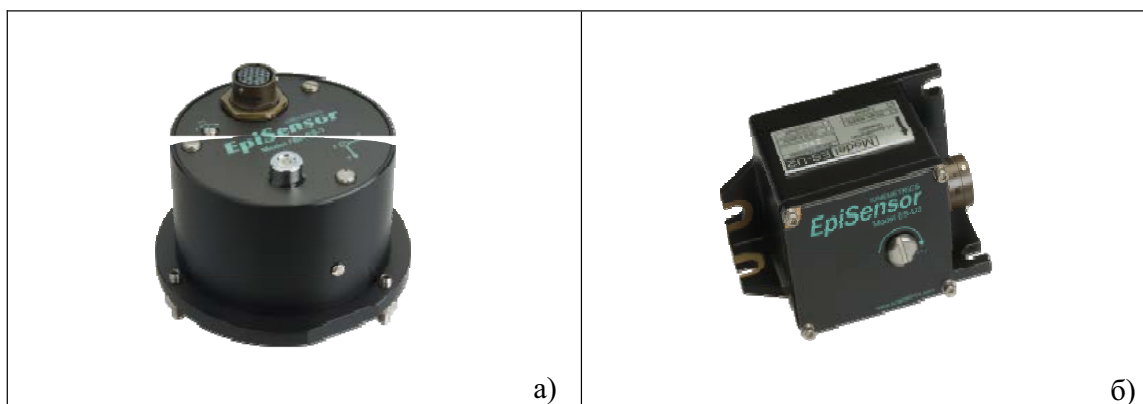
Осъществени са полеви инструментални измервания на динамичното реагиране на фоновите трептения на основната стена и контрастената на хвостохранилище „Люляковица“. Измерванията на микротрептенията на стените е осъществено чрез сензори – триосови акселерометри ES-T и едноосови акселерометри ES-U2 (фиг. 1) на фирмата Kinematics (USA), с честотна лента до 200 Hz, динамичен обхват до 155 dB, измерващи ускорения до 0.25 g., монтирани на избраните регистрационни пунктове. Сензорите са свързани с регистрираща и записваща многоканална станция K2 (Kinematics) (фиг. 2). Постъпващите в K2 данни се цифроват в 24-битов формат и се регистрират със скорост 200 отчета в секунда, осигуряваща участие на честотни компоненти до 100 Hz. Паралелно са използвани и акселерографи ETNA (Kinematics) (фиг. 3) с вградени триосови акселерометри тип EpiSensor със същите характеристики.

Дислоцирането на регистриращите блокове и сензорите е реализирано по схеми от подбрани измервателни пунктове в основата, на междинно ниво (за основната стена) и на короните на съоръженията. Времетраенето на използваните записи е продиктувано от изискването дължината им да бъде поне 1000 пъти по-голяма от най-дългия предполагаем собствен период. Осъществени са измервания на реагирането на стените на фоновите динамични въздействия в поредица от регистрационни сесии от по няколко последователни серии с времетраене от 20 min до 30 min. Станцията K2 и акселерографите ETNA се контролират на място от преносими компютри (NB) чрез специализиран софтуер – firmware QuickTalk и QuickLook на Kinematics (1997). Преди същинските регистрации са проведени тестове за анализ и оценка на нивото и характеристиките на фоновия шум.

Измерванията и съответните регистрации са реализирани в общо 15 пункта, в т.ч. 11 на основната стена и 4 на контрастената (фиг. 4). Акумулираните данни от измерванията са извлечени и съхранени на електронен носител за последваща обработка и анализ с лицензиран и специализиран софтуер SMA, Kinematics (2004).

ЛАБОРАТОРНА ОБРАБОТКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ДАННИ

Осъществените записи съдържат честотни компоненти до 100 Hz. С цел постигане на необходимата точност при определяне на динамичните характеристики е направен подбор на данните и филтриране за елиминиране на честотните компоненти над 25 Hz, т.е. тези, които не са съществени от гледна точка на динамичното реагиране на съоръженията. При обработката се запазва дължината на записите.



Фигура 1. Акселерометри: а) триосов ES-T; б) едноосов ES-U2



Фигура 2. Многоканална станция K2



Фигура 3. Акселерограф ETNA

Първичната обработка на данните включва инструментална корекция, коригиране на нулевата линия, децимация и филтриране. Цифрованите функции във временната област са трансформирани в честотна област чрез преобразованието на Фурие. Получени са представителни амплитудночестотни характеристики и параметри, от които са определени меродавните усреднени спектри на усилване за основната стена и контрастената. Чрез тях са определени първите 6-7 собствени честоти, съответните периоди и коефициенти на затихване (изразени в проценти от критичното затихване) за всяка от стените.

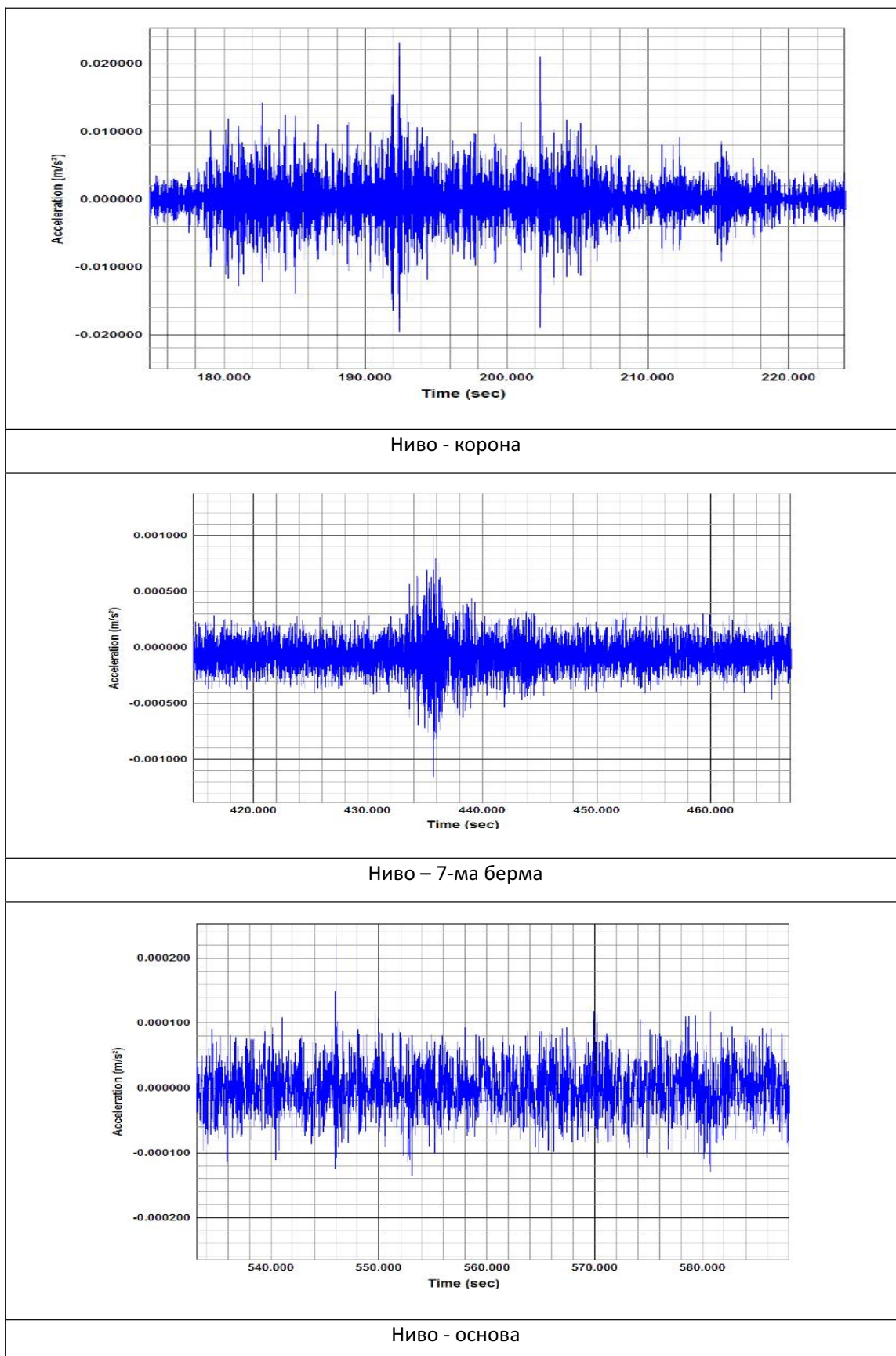


Фигура 4. Разположение на измервателните пунктове на основната стена и контрастената

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСНОВНАТА СТЕНА

Разположението на пунктовете за измерване на фоновите трептения на основната стена е показано на фигура 4. Измерванията и регистрациите са осъществени в 11 пункта, като пунктове №№: 4 – в средата на короната, 9 – в средата на 7-ма берма, и 11 – в основата на стената, са реперни. Реализирани са в няколко сесии чрез серии от синхронни регистрации с продължителност от 20, 25 и 30 min. На фигура 5 са представени сегменти от регистрации с акселерометри на хоризонтални ускорения на ниво: корона, 7-ма берма и в основата на стената. Максималните хоризонтални амплитуди на фоновия шум са под 0.025 m/s^2 . За краткост на изложението не са показани сегменти от регистрациите на вертикални ускорения. Максималните вертикални амплитуди на фоновия шум са под 0.010 m/s^2 .

След обработка на масива от регистрации във временната област е извършена трансформация на записите в честотната област чрез трансформация на Фурие. Изчислени са и съответните амплитудни спектри на Фурие на записите по нива. От съотношението на обобщените амплитудни спектри на Фурие на ниво корона към тези на ниво основа на стената са получени меродавните спектри на усилване на съоръжението. След усредняване е получен усреднен спектър на усилване – представителна реална характеристика за динамичното поведение на основната стена (фиг. 6). Той е използван за определяне по експериментален път на собствените честоти/периоди на съоръжението и съответните коефициенти на затихване, дадени в таблица 1. Собствените честоти съответстват на пикове в спектъра на усилване. Затихването за всяка от първите няколко собствени честоти е изчислено по утвърден метод и съответни формули (Chopra, 1995) въз основа на получения по експериментален път спектър на усилване и по-точно чрез съответната резонансна честота на пика и широчината на честотния му обхват.



Фигура 5. Сегменти от регистрирани хоризонтални ускорения на основната стена



Фигура 6. Усреднен спектър на усилване на основната стена

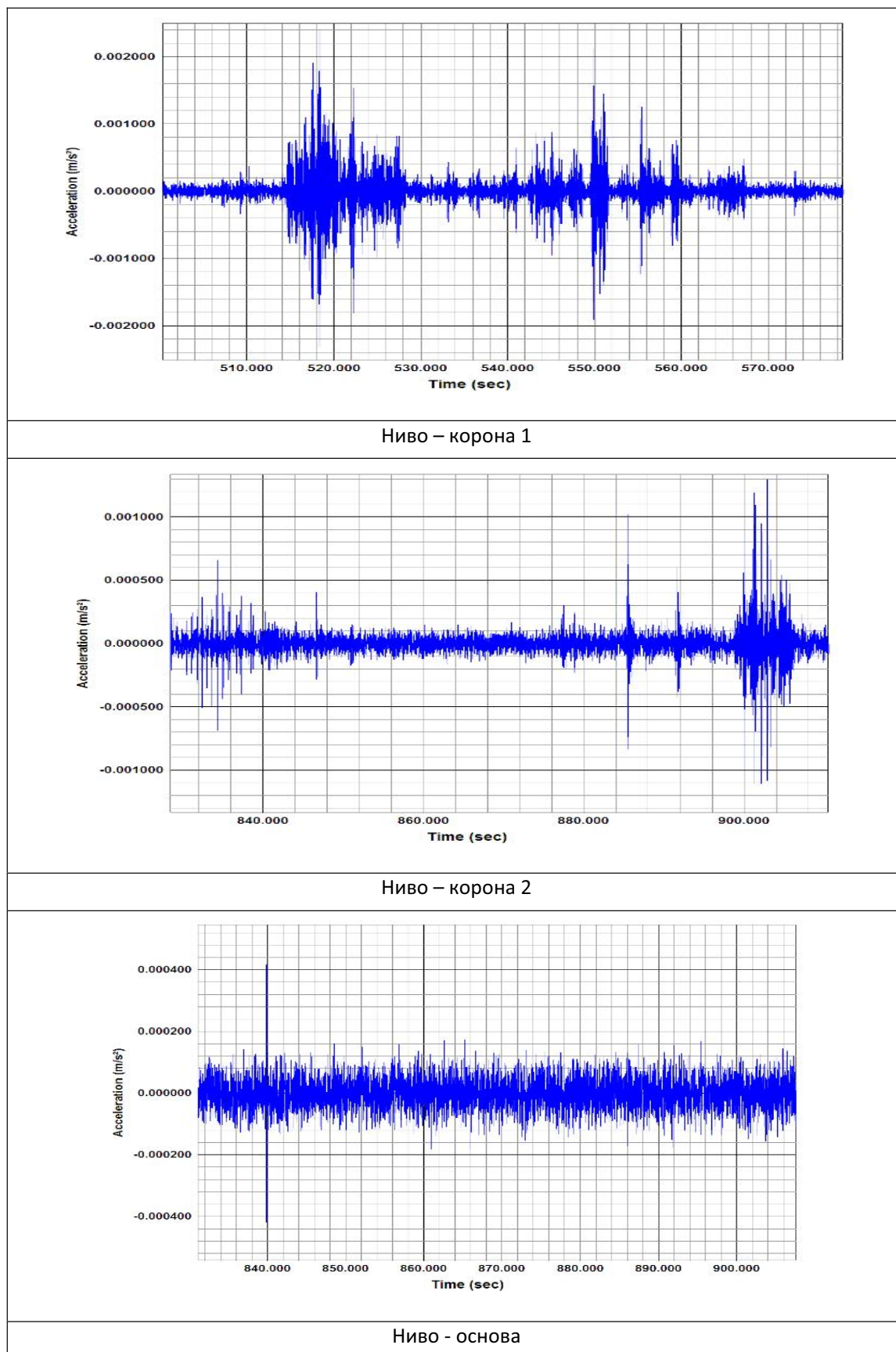
Таблица 1. Собствени честоти, периоди и коефициенти на затихване на основната стена на хвостохранилище "Люляковица", определени по експериментален път

№	f [Hz]	T [sec]	Damping [%]
1	0.83	1.20	4.00
2	1.67	0.60	4.60
3	2.38	0.42	-
4	3.85	0.26	-
5	6.25	0.16	-
6	7.14	0.14	-
7	11.76	0.085	-

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОНТРАСТЕНАТА

Разположението на пунктовете за измерване на фоновите трептения на контрастената е показано на фигура 4. Измерванията и регистрациите са осъществени в 4 пункта. Пунктове №№: 2К – в средата на короната, и 4К – в основата на стената, са реперни. Реализирани са няколко сесии от синхронни серии от регистрации с времетраене от 20, 25 и 30 min. На фигура 7 са представени сегменти от регистрации с акселерометри на хоризонтални ускорения на ниво корона и в основата на стената. Максималните хоризонтални амплитуди на фоновия шум са под 0.003 m/s². За краткост на изложението не са показани сегменти от регистрациите на вертикални ускорения. Максималните вертикални амплитуди на фоновия шум са под 0.001 m/s².

Масивът от регистрации е обработен по начина, описан в раздела за основната стена. Усредненият спектър на усилване за контрастената е показан на фиг. 8. Определените собствени честоти/периоди на съоръжението и съответните коефициенти на затихване са представени в табл. 2.



Фигура 7. Сегменти от регистрирани хоризонтални ускорения на контрастената



Фигура 8. Усреднен спектър на усилване на контрастената

Таблица 2. Собствени честоти, периоди и коефициенти на затихване на контрастената на хвостохранилище "Люляковица", определени по експериментален път

№	f [Hz]	T [sec]	Damping [%]
1	0.67	1.50	-
2	1.00	1.00	4.10
3	5.00	0.20	-
4	6.25	0.16	3.40
5	10.00	0.10	-
6	14.29	0.07	-

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват своята благодарност на „Асарел-Медет“ АД за предоставената възможност за провеждане на изследванията и оказаните подкрепа и съдействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chopra, A. (1995) Dynamics of Structures: theory and application to earthquake engineering, Prentice-Hall Inc., pp 84, 419-420.
2. FEMA 65 (2005) – Chapter II. Design and safety evaluation earthquakes, B. Conducting Studies, 2. Factors to consider, c. Local or site geology
3. ICOLD. Bulletin 148 (2014) – Chapter 4. Selection of seismic evaluation parameters
4. ICOLD. Bulletin 148 (2016) – Selecting seismic parameters for large dams
5. ICOLD. Bulletin 98 (1995) – Chapter 4. Design and construction of tailing dams
6. Kinematics (1997) Communication Software for Altus Recorder Systems, D #302208
7. Kinematics (2004) Strong Motion Analyst, D #302415G, 96 p.



ГЕОПОЛИМЕРИТЕ КАТО АЛТЕРНАТИВЕН ПОДХОД ЗА ВАЛОРИЗАЦИЯ НА ХВОСТОВ МАТЕРИАЛ ОТ БЪЛГАРСКИ ИЗТОЧНИЦИ

Андриана Сурлева, Даря Илиева, Людмила Ангелова, Теменужка Радойкова
surleva@uctm.edu, Ilieva_cnil@uctm.edu; lyudmila@uctm.edu; nush_v@uctm.edu

РЕЗЮМЕ

В рамките на програма ERA-MIN3 на ЕС, ХТМУ в сътрудничество с университети от Румъния, Португалия и Турция и индустриален партньор от Испания изпълнява проект, насочен към оползотворяване на промишлени отпадъци (минен хвост, пепели от изгаряне на въглища, строителни отпадъци) чрез разработването на нови геополимерни материали с нисък CO₂ отпечатък, подходящи за получаване на изделия чрез 3D принтиране. Проектът си поставя за задачи разработване на иновативни технологии, чрез които хвостовите материали да се превърнат в подходящи заместители на бетона на основата на обикновен портланд цимент, да се облекчат изискванията към характеристиките на суровините и да се намали генерирането на отпадъци, които се нуждаят от депониране.

Въведение

Един от принципите на кръговата икономика е превръщането на отпадъците в източник на суровини и енергия. Нуждата от алтернативен подход за третиране на отпадъците е ясно очертана в европейския документ Roadmap to a Resource Efficient Europe (EU COM 2011) и е във фокуса на европейските инициативи с въвеждането на понятието кръгова икономика от ЕК през 2014 "Towards a circular economy: a zero-waste program for Europe" (EU COM 2014) и след това през 2015 в документа "Closing the loop: an EU action plan for the Circular Economy" (EU COM 2015). Фактът е подчертан в неотдавнашен анализ към „Чиста планета за всички“ на ЕК. Разработването на нови, ефикасни и иновативни методи за използване на различни материали, които в днешно време се класифицират като отпадъци и завършват главно в депата, е от ключово значение (Vizureanu et al., 2021; Celik et al., 2014; 2015).

Терминът „валоризация на отпадъците“ се отнася до промишлени дейности по преработка, насочени към повторна употреба, рециклиране или компостиране на отпадъци, като по този начин се превръщат в ценни продукти или енергийни ресурси. Обикновено под формата на една от следните дейности: преработка на отпадъци или странични продукти в суровини, използване на изхвърлени готови или полуготови продукти като суровини или енергийни ресурси, използване на отпадъчни материали в етапите на производствения процес и добавяне на отпадъчни материали до готови продукти (Obenaus-Emler et al., 2020; CRM, 2015; Nergis et al., 2018).

Отпадъците от добив и преработка на минерални ресурси представляват един от най-големите потоци на отпадъци в ЕС (ec.europa.eu; Paiva et al., 2019). От 2004 г. до 2016 г. отраслите на минното дело (проучване, добив и преработка на руди) генерират около 23–30% от отпадъците, като се вземат предвид всички дейности, дефинирани и представени в Статистическата класификация на икономическите дейности в Европейската общност (NACE) и домакинствата. Повторната преработка и валоризацията на такива отпадъци може да доведе до оползотворяване и производство на „чисти“ вторични продукти, както и до намаляване на разходите и подобряване на околната среда (Burduhos Nergis et al., 2020; Burduhos Nergis et al., 2019; Youssef et al., 2020; Azis et al., 2019).

Целта на проект "RecMine – Намаляване на вредните емисии в околната среда чрез екологосъобразни технологии за рециклиране на хвост" е валоризацията на големи количества минерални отпадъци от минно дело и преработка на руди и различни промишлени отпадъци (странични продукти от изгарянето на въглища и строителни отпадъци) за разработването на (а) нови геополимери с нисък CO₂ отпечатък и (б) усъвършенствани огнеупорни материали, подходящи за приложения с 3D печат. Тази цел ще бъде постигната чрез разработване на две иновативни техники за обработка, които ще трансформират минния хвост и промишлените отпадъци в прекурсори, подходящи за замяна на бетона

на базата на обикновен портланд цимент (OPC), намалявайки потреблението на първични суровини, генерирането на отпадъци и депонирането. Разработените в рамките на проекта материали (геополимери и огнеупори) отговарят на техническите и екологични критерии за използването им в приложенията на гражданското строителство и ще се разработят подходящи бизнес модели, за да се гарантира рентабилност и устойчивост.

Общата цел на проекта (Фигура 1) е да се използват отпадъци от пет различни европейски страни (Румъния, Португалия, България, Испания и Турция), за да се получат нови „зелени“ материали, като се имат предвид предимствата на метода на 3D печат (Dilberoglu и др. др., 2017).



Фигура 1. Консорциум и задачи на проект RecMine – намаляване на Намаление на вредните емисии в околната среда чрез екологосъобразни технологии за рециклиране на хвост“

Експериментален подход

Разработването на иновативните технологии за получаване на геополимерни и огнеупорни материали се провежда от "Gheorghe Asachi" Technical University of Iași, Румъния и Universidade da Beira Interior, Португалия. Основен изпълнител на работен пакет „Оценка на „зелени“ материали“ е екипът на ХТМУ. Характеристиките на материалите, получени от партньорите, се оценяват от гледна точка на техния ефект върху околната среда чрез изследване на степента на емисия на тежки метали, степента на имобилизиране на замърсители в композитната матрица, химичен състав на генерираните отпадъци, както и корозионна устойчивост на материалите и мобилизиране на тежки метали при специфичната им употреба. За целта се прилагат химични и инструментални методи за анализ, както стандартни, така и модифицирани за целите на изследването. Проектът предвижда и оценка на жизнения цикъл на новополучените геополимерни материали, която се разработва от Център по математично моделиране и компютърна симулация към ХТМУ. Получените материали ще бъдат приложени при изработването на изделия чрез 3D принтиране от Middle East Technical University, Турция и компанията Obratex, Испания.

Като прекурсори за получаване на геополимерни материали в рамките на проекта се изследват: хвостов материал от обогатителни комплекси на „Асарел Медет“ и „Елаците Мед“, както и летяща пепел от ТЕЦ „Бобов дол“. Пробовземането е извършено от партньорите по приетата от съответната компания стандартна методика.

За оценка на характеристиките на прекурсорите е разработен специфичен алгоритъм от екипа на катедра „Аналитична химия“ при ХТМУ, основан на комбиниране на аналитичната информация от различни химични и инструментални методи, съчетани с подходящи методи за математична и статистическа обработка на данните. Водещи критерии за оценка на хвостовете материали са характеристики, които влияят на геополимеризационния процес като: гранулометричен, химичен, минералогичен състав, алкална реактивоспособност. За определяне на гранулометричния състав е използван ситов анализ. Химичният състав е определен по два метода: ренгенофлуоресцентен анализ и атомноемисионна спектрометрия с индуктивносвързана плазма (АЕС с ИСП) след киселинно разлагане като се прилага верифициран метод за анализ (Ilieva et al., 2018). Минералогичният състав е

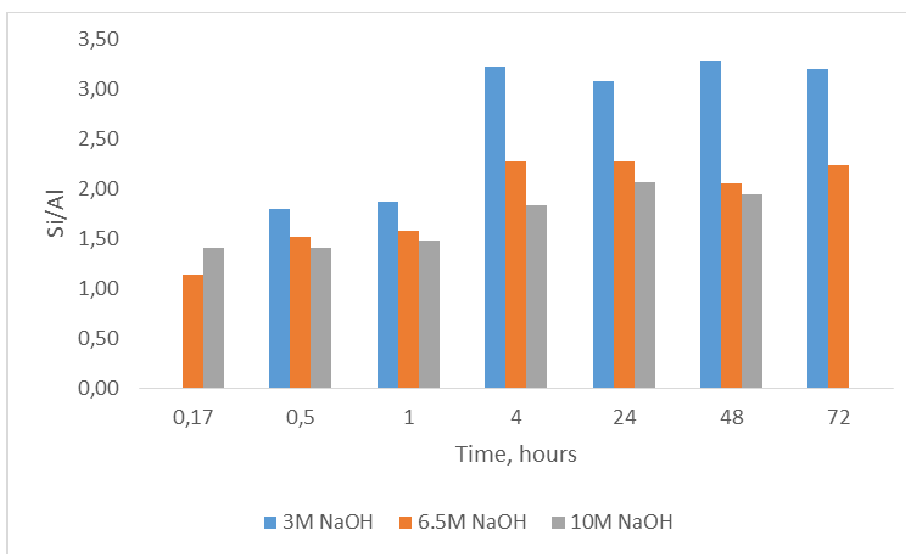
определен чрез ренгенофазова спектрометрия. Реактивоспособността на материалите в алкална среда е оценена чрез изследване на разтворимостта на Al, Si, Ca в 3; 6,5 и 10 M NaOH за 72 часа при разбъркване с реципрочен шейкър. Получените суспензии се филтрират през хартиен филтър, подкисляват се и концентрацията на анализите се определя чрез АЕС с ИСП.

За оценка на разпределението на тежките метали в геохимичните фази на изследваните материали е приложена последователната екстракция по два метода: петстепенна екстракция (Ilieva et al., 2020) и стандартна BCR процедура.

Мобилността на тежките метали е оценена чрез излугване в дестилирана вода при съотношение на твърда към течна фаза 1:10 за 24 часа. Получените филтрати са анализирани чрез АЕС с ИСП за определяне на разтворените тежки метали и металоиди.

Резултати

Определен е химичния и минералогичния състав на хвостов материал от „Асарел Медет“. Резултатите показват сравнително високо съдържание на алуминий и силиций в изследвания хвост (19 % Al_2O_3 и 66 % SiO_2). Съотношението на Si:Al е близко до оптималното за геополимеризационния процес. Допълнително предимство е сравнително ниското съдържание на сяра (3 % SO_3), което гарантира добри механични свойства на получените геополимери. Силицийт и алуминият са под формата на кварц, зеолит, клинохлор и мусковит. Наличието на зеолитна фаза подобрява алкалната реактивоспособност на материала и разтворимостта на силиция в алкална среда. Изследванията показват, че съотношението на разтворените в алкална среда силиций и алуминий зависи от времето на излугване и концентрацията на основата (Фигура 2). Оптималното съотношение за геополимеризационния процес Si:Al=2 се постига след 4 часа контактно време при концентрации на натриевата основа 6.5 и 10 M. При по-ниските концентрации на основата Si:Al=2 се постига още при 30 мин контактно време и се повишава значително до 3 при 4 и повече часа контактно време.

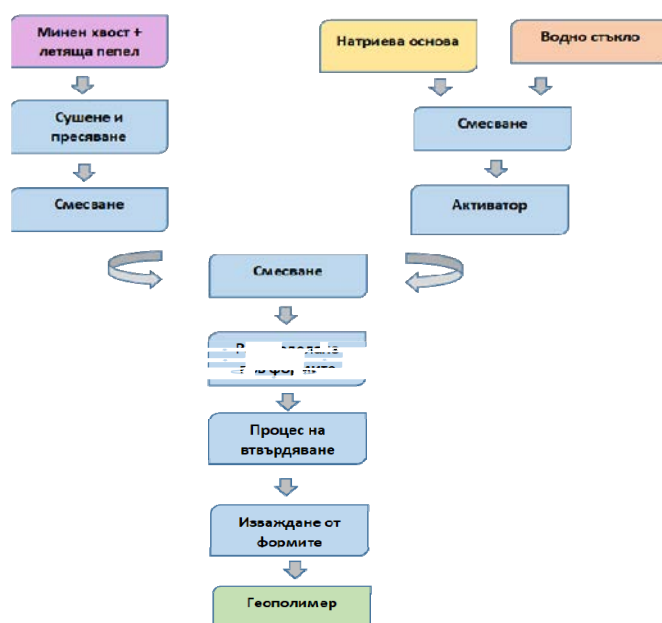


Фигура 2. Алкална реактивоспособност на хвостов материал от български източници

Оценката на „зелените“ материали включва и изследване на състава на генерираните потоци в природни условия. За тази цел хвостовият материал е изследван по отношение на мобилност на тежки метали при контакт с вода. Резултатите показват, че в изследвания хвост тежките метали са под такава форма, че не представляват опасност за околната среда при нормални условия. Тестовите за разтворимост във вода показваха следните резултати: електропроводимост 0.77 mS/cm, pH 9.30; Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni < 0,010 mg/L; Pb 0,17 mg/L; NO_3^- 1 mg/L; SO_4^{2-} 370 mg/L; PO_4^{3-} < 0,5 mg/L. Съдържанието на изследваните компоненти с изключение на сулфатите, са под нормите, регулиращи

качеството на водите. В следващи изследвания по проекта ще бъде оценена и степента на имобилизиране на тежките метали в геополимерната матрица с цел оценка на потенциалния ефект на получените продукти върху околната среда. Очаква се още по-ниска подвижност на компонентите на хвоста и възможност те да попаднат в околната среда след свързването им в геополимерна матрица.

За получаване на геополимери хвостов материал и летяща пепел в подходящо съотношение се смесват с алкален активатор, хомогенизират се добре и получената смес се прехвърля в подходяща форма, след престояване от 24 часа продуктът се изважда от формата и се оставя при стаини условия за получаване на финалния продукт (Фигура 3). Гранулометричният анализ показва, че изследваният хвостов материал е 17% от частиците са с размер под 100 μm , което прави материала подходящ за получаване на геополимери без предварително смилане. Разработената от екипа на Технически университет на Яш технология не се прилага допълнително смилане на прекурсорите или тяхното механично или термично активиране, процесите се провеждат при стаини условия, което гарантира ниска консумация на енергия и съответно по-нисък въгледорен отпечатък на получените продукти.



Фигура 3. Диаграма на синтеза на геополимери



Фигура 4. Приложение на получените геополимерни материали като строителни материали – макетът е изработен от Виолета Йотова (специалност Химично и биохимично инженерство, ХТМУ) по време на стажа ѝ по програма Еразъм + в екипа на проф. Vizureanu, Технически университет, Яш, Румъния.



Очаквани резултати от изпълнението на проекта са: (1) технологичен напредък в производството на геополимерни и огнеупорни материали с механични и химични свойства, сравними с тези на материалите на основата на OPC, като за суровини се използват хвост и промишлени отпадъци (пепели и/или строителни отпадъци); (2) получаване на информация за тяхното поведение (корозионна устойчивост, генериране на опасни вторични отпадъци) в индустриално значими среди и оценена степен на екологичност на новите материали; (3) подобряването на съществуващите в момента материали чрез получаване на геополимери при ниска консумация на енергия (стайна температура и налягане) със 100% рециклирани суровини и пластични огнеупори за високотемпературна облицовка с ниско или свръхниско съдържание на цимент. Фигура 4 представя протоип на сграда, изградена с геополимерни материали.

Изводи

Получените до този момент резултати показват, че хвостовите материали от български източници имат подходящи характеристики (химичен, гранулометричен и минералогичен състав, алкална реактивоспособност) и могат да бъдат използвани като прекурсори за получаване на геополимерни материали. Началните изследвания на получените геополимери от индустриални отпадъци от България (хвост, летяща пепел, строителни отпадъци) показват окуражаващи характеристики като материали за влагане в строителството.

Благодарности:

Екипът изказва своята благодарност към „Асарел Медет“ АД, „Елаците Мед“ АД и ТЕЦ „Бобов дол“ за предоставените хвостови материали за изследването им като прекурсори за получаване на геополимери.

Това изследване е финансирано ФНИ по проект КП-06ДО02/5 “RecMine – Намаляване на вредните емисии в околната среда чрез екологосъобразни технологии за рециклиране на хвост” в рамките на програма ERA-MIN 3, EU Horizon Europe 2021-2027.

Библиография

1. Aziz, I.H.; Abdullah, M.M.A.B.; Yong, H.C.; Ming, L.Y.; Hussin, K.; **Surleva, A.**; Azimi, E.A.; Manufacturing parameters influencing fire resistance of geopolymers: A review, *Materials: Design and Applications*, **2019**, 233(4):1–13.
2. Burduhos Nergis, D.D.; Vizureanu, P.; Ardelean, I.; Sandu, A.V.; Corbu, O.C.; Matei, E. Revealing the Influence of Microparticles on Geopolymers' Synthesis and Porosity. *Materials (Basel)*. 2020, 13, 3211.
3. Burduhos Nergis, D.D.; Vizureanu, P.; Corbu, O. Synthesis and characteristics of local fly ash based geopolymers mixed with natural aggregates. *Rev. Chim.* 2019, 70, 1262-1267.
4. Celik K., Meral C., et al.; (2014). A comparative study of self-consolidating concretes incorporating high-volume natural pozzolan or high-volume fly ash. *Construction and Building Materials*, 67, Part A, 14-19.
5. Celik K., Meral C., Gursel A.P., Mehta P.K., Horvath A., Monteiro P.J.M. (2015). Mechanical Properties, Durability, and Life-Cycle Analysis of Self-consolidating Concrete Mixtures Made with Blended Portland Cements Containing Fly Ash and Limestone Powder. *Cement and Concrete Composites*, 56, 59-72.
6. CRM, *Common Recyclable Materials*; United States Environmental Protection Agency, 2015.
7. Ilieva, D.; Angelova, L.; Drochioiu, G.; Surleva, A.; Estimation of soil and tailing dump toxicity: development and validation of a protocol based on bioindicators and ICP-OES, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2019, 572 012110.
8. Drochioiu, G.; Surleva, A.; Iacoban, C.; Halim, E.; Gradinaru, R., Eco-friendly methods for heavy metal removing from Tarnita mining area, *SGEM 2017 Scientific GeoConference*, 2017, 51:297-304.
9. Ilieva, D.; Argirova, M.; Angelova, L.; Gradinaru, R.; Drochioiu, G.; Surleva, A.; Application of chemical and biological tests for estimation of current state of a tailing dump and surrounding soil from the region of Tarnița, Suceava, Romania, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27:1386–1396.
10. Ilieva, D.; Surleva, A.; et al.; Evaluation of ICP-OES Method for Heavy Metal and Metalloids Determination



- in Sterile Dump Material, *Solid State Phenomena*, 2018, 273: 159-166.
11. Nergis, D.D.B.; Abdullah, M.M.A.B.; Vizureanu, P.; Tahir, M.F.M.; Geopolymers and Their Uses: Review, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2018, 374: 12019.
 12. Obenaus-Emler, R.; Falah, M.; Illikainen, M.; Assessment of mine tailings as precursors for alkali-activated materials for on-site applications, *Constr. Build. Mater.*, 2020, 246: 118470.
 13. Paiva, H.; Yliniemi, J.; Illikainen, M.; Rocha, F.; Ferreira, V. Mine Tailings Geopolymers as a Waste Management Solution for A More Sustainable Habitat, *Sustainability*, 2019, 11, 995.
 14. Vizureanu, P.; Burduhos Nergis, D.D. *Green Materials Obtained by Geopolymerization for a Sustainable Future*; Materials Research Forum LLC, Ed.; Materials Research Foundations: 105 Springdale Lane, Millersville, PA 17551 U.S.A., 2021; 90; ISBN 978-1-64490-112-0.



ИЗПОЛЗВАНЕ НА БИНДЕРИ ЗА ПРЕДОТВРЯВАНЕ НА ВЕТРОВА ЕРОЗИЯ И ОТДЕЛЯНЕ НА НПЕ ОТ НАСИПИЩА И КУПОВЕ. НЯКОИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ

инж. Велислав Калчев
e-mail: velislav.kalchev@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Настоящото съобщение е кратко описание на технологията на използване на „биндери“ (свързващи вещества, които образуват против ветрови корички). Цитирани са резултати от три проведени индустриални опита.

Съхраняването на натрошен материал на купове и в отпадъкохранилища създава доста проблеми, като един от тях е отделянето на фини прахови частици ФПЧ при вятър. Характерът на генерираните неорганизиран прахови емисии НПЕ зависи от зърнометрията и вида на натрошения материал, геометрията на купа и от влажността на материала. Обичайно проблемите възникват в сухия период през лятото или както е на хвостохранилище Бенковски през пролетния и през есенния период. При отпадъкохранилищата източниците на НПЕ са основно сухите части на стената и на „плажа“.

Биндерите са най-различни, но като цяло представляват водоразтворими вещества, разградими след определен период от време, които се нанасят във формата на разтвор. След изсъхването на разтвора образуват коричка на повърхността (фиг.2), която не позволява отделянето на НПЕ. Обикновено са чувствителни към замръзване, така че съхранението и нанасянето им изисква положителни температури. Един път нанесени, коричката се запазва и при отрицателни температури.

Трайността на коричката, при липса на механични увреждания (преминаване на машини или животни) обичайно е от два до три и повече месеца. Зависи от концентрацията на разтвора и от правилното му полагане. Обикновено производителите дават норма на концентрация от 8 до 10 -11% и полагане на два пъти, което гарантира максимална продължителност, като потребителят може да промени условията според натрупания опит. Полагането на биндера може да се извърши с обичайно налична в предприятието техника или със специализирана такава (фиг.3).

От фирма Булекспортконсулт ЕООД през годините са проведени три опита с биндери.

Запечатване на купове с въглища в „Златна Панега цимент“ АД

Първият опит беше направен през 2016 г. с продукта **Dust Bind** на американската компания Налко чрез двукратно поливане с 4% разтвор с обикновена водоносна помпа. (фиг.1) След положителния резултат и досега тази технология се използва, като бяха внесени известни промени. Поради това, че въглищата са на оборотен склад и не се съхраняват за дълъг период се прилага само едно поливане с 4% разтвор, което издържа до месец. В следствие започна използването на продукта **Freko Crust** на нидерландската компания Вувио, поради по-ниската цена и същите характеристики. Този продукт се оказа и по-нечувствителен към отрицателни температури, съхранява се в неотопляем склад през зимата и запазва качествата си.

Беше направен и втори експеримент за пропускането на влага през коричката. За целта бяха отделени два обема от клинкер, единият от който беше покрит с коричка от биндер и оставени продължително време на атмосферни условия. След приключване на опита се установи, че химическите свойства на двата обема клинкер са еднакви, но непокрытият се е сраснал на буци в горната си част, където е овлажняван от дъжда, докато покритият е запазил зърнестата си структура, което доказва не пропускливостта на коричката.



Фиг.1. Нанасяне на разтвора на биндера от водоноска с помпа чрез пожарникарски маркуч със струйник



Фиг.2. Образувана коричка, която се е запазила след свличане на купа



Фиг.3. Използване на специализирано водно оръдие с водоноска, производство на РАМ Енвиронман АД, Франция

Индустриален опит на хвостохранилище Бенковски 2, референция от „Елаците мед“ АД

Целта беше да се провери технология за прахоподтискане на сухата част от плажа на временно неработещата секция на хвостохранилището. Опитът и резултатите са описани в получената референция:

ЦЕЛ и МЯСТО на ЕКСПЕРИМЕНТА

През месец април 2016 г. се проведе промишлен експеримент за предотвратяване на ветрова ерозия и прахоотделянето на участък от депо на флотационен отпадък Бенковски 2 с продукт DUSTBIND на фирма НАЛКО АД, предоставен безвъзмездно чрез фирма Булекспортконсулт ЕООД. За експеримента беше избран участък с площ от 4 декара включващ хвостовата дига влизаща в плажа на секция „Сулуджа дере“.

МЕТОДИКА за ПРОВЕЖДАНЕ

По препоръка на фирмата доставчик продукта разрешихме в 4 куб. метра вода във водоноска в процентно отношение 4% продукт - 96% вода - нужното количество за нанасяне върху площ от 4 декара при норма на нанасяне 1 литър разтвор на 1 кв. метър. Нанасянето върху терена се извърши от работник ръчно с помощта на пожарникарски маркуч със струйник. След първото нанасяне се изчака обработената повърхност да изсъхне за 2-3 часа, направихме нов 4% разтвор и положихме по същия начин втория слой. След всяко нанасяне водоноска се измиваше с цел да се избегне засъхване на разтвора в помпата и запушване на маркучи и дюзи.

РЕЗУЛТАТИ

След изсъхването на продукта се образува еластична коричка, която запечати прахоотделящия слой. В продължение на повече от три месеца не се наблюдаваше прахоотделяне въпреки вятъра и падналите дъждове. В обработената площ за периода не са преминавали коли и хора, за да се избегне механично нарушаване на коричката. След четвъртия месец се наблюдаваше постепенно разграждане и естествено разрушаване на коричката.“

Индустриален опит на отпадъкохранилище „Люляковица“

През 2017 г. беше договорен експеримент на отпадъкохранилище „Люляковица“ в „Асарел Медет“ АД. Целта беше да се изпробва прилагането на технологията при временното преустройство на стената. Разработена беше специална методика, при която клиентът създава изкуствено поле от насипан флотационен отпадък, който да бъде обработен с биндера. В този опит за първи път бяха формулирани следните критерии за оценка на резултата:

„Експериментът ще се счита за успешен, ако разрушаване на образувания предпазен слой настъпи след 2 месеца от нанасянето му. До тогава площта с разрушена коричка не бива да превишава 10 – 15 % от общата площ на обработената повърхност. Оценката е визуална и определя нарушения поради механични причини и поради метеорологични условия. Критерий за нарушаване е вдигането на прах при силен вятър. Критерий за наличие или отсъствие на коричка е като коричката се натисне с крак и се оцени формата на вдлъбнатината. (фиг.4)“



Фиг.4. Отпечатък от стъпка, който ясно показва наличието на коричка

Заклучение

Използването на биндери за предотвратяване на НПЕ при насипища с флотационен отпадък и друг прахоотделящ материал е ефективно при определени условия и може да замести постоянното оросяване с вода. Трудностите за редовната им употреба са най-вече поради сезонния характер на запрашаванията, субективната оценка на негативния ефект (липсват ясни нормативни изисквания) и някои технически трудности при прилагането им на големи повърхности. По същите причини е трудна и



икономическата оценка, доколкото цената им е ясен разход, а разходите при алтернативните методи се включват към общите разходи на предприятието.

Литература

1. Фирмен доклад на Златна Панега цимент АД
2. Референция за проведен експеримент от Елаците мед АД
3. Методика за провеждане на индустриален експеримент в Асарел Медет АД

**„НИПРОРУДА” АД****инж. Данчо Тодоров – Изп.директор****E-mail: pbox@niproruda.com****РЕЗЮМЕ**

Институт „НИПРОРУДА“ е създаден през 1962г. с цел комплексно обслужване на минния отрасъл. От 2000-та година е 100% частно акционерно дружество и продължи да работи по обекти за съхраняване на отпадъците от добива и обогатяването на рудни и нерудни изкопаеми и други производства каквито са хвостохранилищата на „КАОЛИН“ ЕАД. Хвостохранилищата са неделима част от единната технологична система „рудник - обогатителна фабрика-отпадъкохранилище“. В тях се съхранява крайният технологичен отпадък - хвост, получен в процеса на преработката на съответната суровина от обогатителните фабрики. Те се обслужват съгласно действащата в момента Нормативна база.

ИСТОРИЯ

КОМПЛЕКСЕН НАУЧНО-ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ, ПРОУЧВАТЕЛЕН И ПРОЕКТЕН ИНСТИТУТ ЗА РУДОДОБИВ И ОБОГАТЯВАНЕ „НИПРОРУДА“ е създаден 01.02.1962г., с решение №8 от 01.02.1962 г. на Министерски съвет на Република България, с цел комплексно обслужване на минния отрасъл. Успешният старт на НИПРОРУДА, като водеща организация, бе свързан с разработката на най-големия открит меден рудник „Медет“ в Европа и въвеждането в експлоатация на МОК Медет през 1964 г. Това бе пример за технико-икономическите възможности за оползотворяване на находищата на бедни руди в много страни. Той послужи за по-успешно проектиране, реализиране и въвеждане в експлоатация въз основа на наши проучвания, изследвания и проекти на гигантите на цветната металургия – МОК „Елаците“ и МОК „Асарел-Медет“ и много други обекти като „Каолин“ АД, Челопеч Майнинг ЕАД, КЦМ 2000 АД, Горубсо, Бургаски медни мини и други, включително и в чужбина.

От 2000-та година НИПРОРУДА АД функционира като 100% частно акционерно дружество. Основните дейности бяха насочени към реконструкция и модернизация на структуроопределящите фирми в минно-добивната и преработвателната индустрия в страната; към оптимизация на технологичните процеси за постигане на по-висока ефективност и опазване на околната среда.

От 2000 година НИПРОРУДА АД, гр. София продължи да работи приоритетно и по Програми за отстраняване на екологични щети от действащи предприятия; по проучвания и проектиране в областта на екологията.

Разработиха се проекти за провеждане на мерки за третиране, възстановяване и отстраняване на замърсени с тежки метали почви, включително отстраняване на замърсявания от нефтопродукти и други опасни замърсители. Работните проекти са приети от МЕЕС на МОСВ и МЕС на Министерство на икономиката и са реализирани, като е извършван авторски контрол при изпълнението им. Обектите са приети от Държавна приемателна комисия (ДПК) без забележки с издадени разрешителни за ползване.

Тук е мястото да отбележим завоюваните професионални позиции при нетрадиционни за нашата дейност партньори като „Лукойл Нефтохим Бургас“ АД, „Неохим“ АД – Димитровград, ТЕЦ Марица 3 АД – Димитровград, Ей и Ес Марица Изток I гр.Гълъбово, „Стомана Индъстри“ АД, гр.Перник и Общини – Созопол, Благоевград, Карлово, Златица, Маджарово, Росен – Бургаски медни мини, Девня с решени проблеми на индустриалните отпадъци.

Програмата за развитие на НИПРОРУДА АД включва разширяване и усъвършенстване на дейността му в нови направления и отговорности, отговарящи на съвременните изисквания и най-добрите европейски и световни практики, с прилагане на собствени и чужди технологии, водещи проекти при



закриване на рудопроизводството в определените от държавата фирми към Министерството на икономиката – „Екоинженеринг“ ЕООД и „Еко Антрацит“ ЕООД.

Съвременната мисия на Дружеството е насочена към ликвидиране на последствията от човешката дейност, за съхранение и опазване на околната среда; проблеми с битови, промишлени и опасни отпадъци, проектиране на депа за складирането им и тяхната техническа и биологична рекултивация.

Независимо, че човешкият ресурс на НИПРОРУДА значително намалява през годините, това не оказва влияние на качеството на значими проекти и услугите, осъществявани от специалистите ни.

Продължаваме да работим по основните ни обекти за съхраняване на отпадъците от добива и обогатяването на рудни и нерудни изкопаеми и други производства. Хвостохранилищата са неделима част от единната технологична система „рудник - обогатителна фабрика- отпадъкохранилище“. В тях се съхранява *крайният технологичен отпадък* - пулп (хвост), получен в процеса на преработката на съответната суровина от обогатителните фабрики.

НИПРОРУДА“ АД гр.София продължава да изпълнява авторски надзор и техническа помощ на хвостохранилищата на „КАОЛИН“ ЕАД . Това са съоръженията за минни отпадъци към ОФ „Сеново“ гр. Сеново, към ОФ „Ветово“, гр. Ветово , към ОФ „Каолиново“, гр. Каолиново и към ОФ „Устрем“, гр.Тополовград . Те са законно изградени и се ползват в съответствие с правилата и нормите, които са били в сила при тяхното проектиране т.е.70-те години на миналия век.

От момента на проектиране, изграждане, въвеждане в експлоатация и ползване с известни прекъсвания „НИПРОРУДА“ - София осъществява ежегоден авторски контрол върху съоръженията чрез периодични проверки на място. В хода на авторския надзор и проверки се следи за прилагането и спазването на проектите и за безопасната им експлоатация.

Към момента на изготвяне на всеки проект, неговата експлоатация и ползване, са спазени действащите към момента норми, методология и инструкции. Получени са всички необходими съгласувания и одобрения. Съоръженията са въведени в експлоатация заедно със съответните фабрики, предвид че са неделима част от технологичния процес. От дистанцията на времето и промяна на нормативната база, съоръженията отговарят на всички нормативи към сегашния момент.

НОРМАТИВНА БАЗА

Проектирането на тези съоръжения и класът им е проверено с *„Норми за проектиране на хидротехнически съоръжения“* - 1985г. и *„Норми за проектиране на насипни язовирни стени“* – 1986г. на Министерството на строителството и селищното устройство и Министерството на Енергетиката. Тази нормативна база не е отменена и до сега.

Сега, според *Закон за подземните богатства* (в редакция от 2008 г.) и *„Наредба за управление на минните отпадъци“* - 2016г., *приета с Постановление на МС*, съобразявайки класирането на съоръженията, хвостохранилищата на „КАОЛИН“ ЕАД са „Съоръжения за минни отпадъци, категория „Б“.

За всяко от съоръженията се изготвя и съгласува План за управление на минните отпадъци (ПУМО).

Съществуващата документация за хвостохранилищата и прилежащите им съоръжения (отводнителна система, контролно-измерителна система (КИС), хидротранспортна система, дренажна система и др.) се поддържат съгласно *„Наредба за условията и реда за осъществяване на техническа и безопасна експлоатация на язовирните стени и съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние“*, *приета с Постановление на МС №1 от 28.02.2020г. и Закона за водите*, в сила от 28.01.2000 г. чл.141, Чл. 141а. Чл. 141б. Критериите за класифициране на степента на потенциална опасност поЧл.141б ал. 1 се определят в наредбата по чл. 141, ал. 2 от междуведомствената комисия, назначена от Министерския съвет, която включва представители на Министерството на околната среда и водите, Министерството на регионалното развитие и благоустройството, Министерството на земеделието, храните и горите, Министерството на



енергетиката, Министерството на икономиката, Министерството на вътрешните работи и научните среди, имащи пряко отношение към язовирните стени и съоръженията към тях.

За съоръженията се поддържат Аварийни планове за видове аварии: на хидротранспортната система, на стената (основна/надграждания), пожари или срутвания на сгради при природни бедствия, аварии в електрозахранването, повреди в телефонни линии.

Повече от 40 са хвостохранилища, обслужвали добивната и металургичната промишленост в България. По работни проекти на Нипроруда са всичките хидротранспортни съоръжения към тях. Позначими хвостохранилища, проектирани изцяло от Нипроруда са както следва:

- "Кърджали 1" ;
- "Кърджали 2" – с обем 7,7.мил.м3 с дължина на стената 200m и достигната височина 70m;
- "Маджарово" с обем 5 мил.м3, с дължина на стената 250m и достигната височина 60m;
- "Устрем 3" с обем 8 мил.м3; с дължина на стената 1000m и достигната височина 35m; "Устрем 4" с обем 4,1 мил.м3, с дължина на стената 100m и достигната височина 60m;
- "Росен 1", "Вромос", "Росен 2"- с обем 4мил.м3, с дължина на стената 1300m и достигната височина 46m;
- "Кремиковци", стадионен тип с обем 31,2мил.м3, с дължина на стената 5000m и достигната височина 23m;
- "Лютаджик" – с обем 6,1мил.м3 и достигната височина 70m
- "Гюешево 2 и 3" – стадионен тип с обем 3,8m3, дължина на стената 1300m, с достигната височина 39m и– не е закрито;
- "Рудозем"
- "Малко Търново",
- "Мечи дол", "Чипровци", "Елшица", "Радка", "Върли бряг", "Барит", "Голям Буковец", "Лъки", "Берковица",

За голяма част от излезлите от експлоатация съоръжения сме направили работни проекти за закриване и рекултивация преди 2008г., но при извършване на мониторинга няма обратна връзка.

Разпоредбите от ЗПБ (Закон за подземните богатства), от част първа на гл. осма „Управление на минните отпадъци“ и „Наредбата за управление на минните отпадъци“ не се прилагат за Съоръжения за минни отпадъци, закрити към 1 май 2008г., каквито са всички излезли от експлоатация хвостохранилища в страната.

Тези съоръжения, са в непосредствена близост над населени места, оставени без наблюдение и саниране и могат да създадат екологични проблеми, свързани с дрениращите и повърхностно оттичащите се атмосферни води, замърсяването на въздуха, почвите, растителния и животински свят.

Обръщаме внимание, че отложеният отпадък (хвост) в хранилищата се характеризира с ниски якостно-деформационни показатели – якост на срязване, деформационни модули, CBR (калифорнийски коефициент на носимоспособност), високо водно съдържание и обем на порите. Това се дължи на факта, че той притежава ниска степен на филтрационна консолидация, зърнометричният състав на хвоста не позволява неговото бързо консолидиране и оттам носимоспособността му. Неконтролирано върху тези съоръжения минават хора, животни и транспортни средства, което представлява опасност за възникване на инциденти.



От природата за хората, от хората за природата!



Нашата най-голяма ценност са хората!



Да тръгнем първи и да тръгнем навреде!

АСАРЕЛ МЕДЕТ - АД

МИННО-ОБОГАТИТЕЛЕН КОМПЛЕКС - ГР. ПАНАГЮРИЩЕ

МИННО-ОБОГАТИТЕЛЕН КОМПЛЕКС
„Асарел-Медет“ АД
4500 Панагюрище, България
тел: (0357) 60210
факс: (0357) 60250; 60260
e-mail: pbox@asarel.com



ПРЕДСТАВИТЕЛСТВО:
1680 София, бул. „България“ 102
Бизнес център „Белисимо“, ет. 6; п.к. 4
офис „Асарел-Медет“ АД
тел: (02) 808 25 10; факс: (02) 808 25 29
office@asarel.com