

SAFE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY DISPOSAL OF LIQUID TECHNOLOGICAL WASTE

Ljupcho Dimitrov, Margarita Vassileva, Ivan Nishkov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ljupcho.dimitrov@mgu.bg; inishkov@gmail.com

ABSTRACT. Economic development and advances in science and technology predetermine the mining industry's accelerated growth, hence the volume of the produced waste. Tailings from the ore extraction and processing of mineral raw materials in the form of dilute slurry are traditionally stored in large surface hydrotechnical facilities - tailings ponds. Various construction types of tailings storage facility are discussed according to the topography and deposition methods. Due to the risk of failure and accidents of conventional TFS, alternative technologies for safe and more environmentally friendly facilities are designed worldwide. The new technologies are discussed that include the deposition of dewatered tailings and the implementation of an integrated facility for the storage of mine waste.

Key words: conventional tailings pond, alternative technologies

БЕЗОПАСНО И ЕКОЛОГОСЪОБРАЗНО ДЕПОНИРАНЕ НА ТЕЧНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ ОТПАДЪЦИ

Люпчо Димитров, Маргарита Василева, Иван Нишков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Икономическото развитие и напредъкът на науката и технологиите предопределят ускорения растеж на миннодобивната промишленост и нарастването на обема от натрупваните отпадъци. Технологичните отпадъци от добива и преработката на минерални суровини под формата на разредени суспензии, традиционно се складират в големи повърхностни хидротехнически съоръжения – отпадъкохранилища. Разгледани са различните видове отпадъкохранилища, в зависимост от техния конструктивен тип и релефа на местността и методите за депониране на отпадъка. Поради риска от повреди и аварии на конвенционалния тип отпадъкохранилища, в световен мащаб се разработват алтернативни технологии за безопасни и екологосъобразни съоръжения. Разгледани са новите технологии, включващи депонирането на предварително обезводнени флотационни отпадъци и внедряването на интегрирани съоръжения за съхраняването на минни отпадъци.

Ключови думи: конвенционални отпадъкохранилища, алтернативни технологии

Въведение

Икономическото развитие и високото качество на живот, напредъкът на науката и технологиите, предопределят ускорения растеж на миннодобивната промишленост, което води до нарастване на обема от натрупваните технологични отпадъци (Yankova, 2020). Отпадъците от добива и преработка на минерални суровини под формата на разредени суспензии, със съдържание на твърда фаза от 25 до около 45%, най-често се складират в големи повърхностни хидротехнически съоръжения – отпадъкохранилища. Традиционното хидравлично депониране на отпадъците в конвенционалните отпадъкохранилища, в много случаи води до повреди и аварии на съоръженията с тежки екологични последици, икономически щети и човешки жертви. С цел спазване на най-високите стандарти за безопасност и стабилност на съоръженията и предотвратяване на аварията, в световен мащаб се разработват алтернативни технологии за заместване на класическия тип отпадъкохранилища.

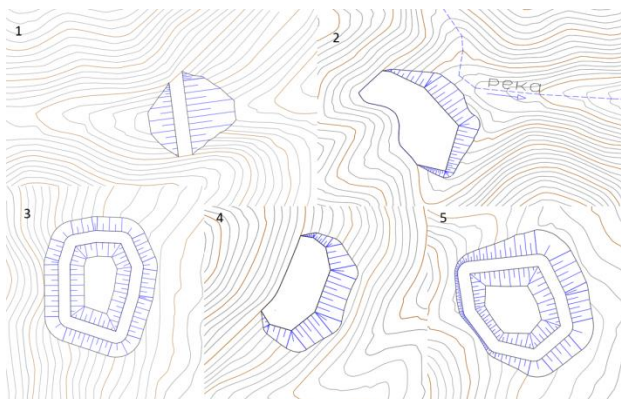
Видове конвенционални отпадъкохранилища в зависимост от релефа и конструктивния тип. Методи за депониране на флотационния отпадък

Видове конвенционални отпадъкохранилища, в зависимост от релефа на местността

Депонирането на технологичните отпадъци се извършва в изкуствени или естествени природни водоеми – оградени участъци от реки и езера. Местоположението и конструктивният тип на съоръженията се избират в зависимост от релефа на местността, геоложките и хидрогеоложки условия, климат, сеизмична активност, икономическа целесъобразност и др. (Watson et al., 2010). Изборът на местоположението на съоръжението следва да осигурява неговия капацитет, необходим по време на експлоатацията на дадения рудник и обогатителната фабрика към него.

Релефът предопределя вида на отпадъкохранилищата, като съоръженията се разполагат най-често в негативни релефни форми – долини, дерета, оврази и др. поради по-ниските разходи за изграждане на насипните

стени. Когато това е невъзможно или икономически неизгодно, се изграждат и съоръжения в равнинни местности. В зависимост от релефа на територията, на която се изграждат съоръженията, се разграничават няколко основни типа отпадъкохранилища – равнинен тип, долинен тип, скатен тип, овражен тип, речен тип и др. (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на основните типове конвенционални отпадъкохранилища, в зависимост от релефа – 1) овражен тип; 2) в речна тераса; 3) равнинен тип; 4) скатен тип; 5) овражно-равнинен тип

Равнинен тип. Отпадъкохранилищата се разполагат в равнинен терен, като се изграждат насипни стени пръстеновидно по целия периметър на съоръжението (фиг. 1, 2).



Фиг. 2. Равнинен тип конвенционално отпадъкохранилище, медно находище Железни Мост (Zelazny Most), Полша

В образувания изкуствен водоем се складира флотационните отпадъци, а избистрената вода се използва като оборотна вода за обогатителната фабрика или се насочва към разположен в близост естествен водоем. Този тип отпадъкохранилища предлага най-голяма гъвкавост при избора на местоположение. Те обикновено могат да бъдат разположени в близост до обогатителната фабрика, а експлоатацията им може да бъде преустановена без значителни разходи. Важно предимство на равнинния тип отпадъкохранилища е отсъствието на необходимостта от изграждане на скъпоструващи водосборни съоръжения за повърхностния воден отток, което улеснява управлението на водите. Преимущество на равнинния тип отпадъкохранилища с пръстеновиден дизайн е ограничената възможност за

изтичане на замърсени води от отпадъците. Известни недостатъци на този тип съоръжения са сравнително ограничения обем на отпадъкохранилищата и необходимостта от голямо количество строителен материал за насипните стени.

Долинен тип. Долинният тип отпадъкохранилища са най-широко използвани. Естествените негативни релефни форми предоставят възможност за по-малка дължина на насипните стени, по-малко количество на необходимия строителен материал и съответно по-ниски разходи за изграждане на съоръженията (фиг. 3).



Фиг. 3. Долинен тип конвенционално отпадъкохранилище, меднопорфирно находище Highland Valley, Британска Колумбия, Канада (<https://www-tailings>)

При наличие на долинен релеф е възможно изграждането на единично отпадъкохранилище с една защитна насипна стена или на няколко на брой съоръжения, разположени последователно едно след друго. Отпадъкохранилищата от този вид са склонни към преливане, в резултат на обилни валежи и увеличени водни потоци, подложени са на риск от ерозия и втечняване на отпадъка поради големия обем вода в съоръженията. За редуциране на риска от втечняване, може да се построи вътрешна дренажна система с цел подобряване отделянето на водата и консолидацията на отпадъка. За предотвратяване и ограничаване на смесването на водите от отпадъка с подземните води, се поставя противифилтрационен екран на дъното на съоръжението - геомембрана или глинест слой.

Скатен тип. Този тип отпадъкохранилища се разполагат върху склоновете на възвишения, като се заграждат от трите страни с насипни стени, а от четвъртата страна се намира естествения склон на възвишението (фиг. 1). Отделяната вода, както и тази от атмосферните валежи, се отстраняват с водосборни съоръжения за избистрена вода или чрез специални дренажни канали. Изграждането на скатен тип съоръжения е най-подходящо за терени, в които наклонът не надвишава 10%. При по-стръмен склон, количеството на строителния материал за изграждане на съоръжението се увеличава, а обемът на отпадъка, който може да бъде складиран намалява (Vick, 1990).

Овражен тип. Отпадъкохранилищата се разполагат в дере или дол, чиито изход е преграден с насип (фиг. 1). В този случай в съоръжението се събират води не само от

отпадъка, но и тези от валежи и наводнения, количеството на които може да бъде значително. Насипната стена се строи напречно от едната до другата страна на дерето и съоръжението е подобно на тези за водоснабдяване (Vick, 1990). Овражният тип отпадъкохранилища се използват най-често, тъй като могат да се построят във всяко дере или дол, като изграждането им в дерета със стръмни откоси е нецелесъобразно, поради по-голямото количество материал за насипната стена и сравнително по-малкия обем за съхраняване на отпадъка. Язовири, отклонителни канавки и преливници могат да бъдат от голямо значение за заустване и отклоняване на водните потоци.

В речни тераси. Отпадъкохранилищата се строят в заливните тераси на реки като се обграждат с насипни стени от трите страни. Необходимо е да се предприемат мерки, предотвратяващи просмукването на вода през защитната дига на отпадъкохранилището към реката. Насипната стена, разположена от страна на реката, има сравнително сложна конструкция, обезпечаваша стабилността и целостта на съоръжението, което увеличава разходите за изграждане и експлоатация (фиг. 1).

Речен тип. Изграждат се в долините на реки, като коритото на реката се прегражда с бент. Съоръженията от този тип са най-скъпи и сложни и се използват рядко, в изключителни случаи, когато поради особеностите на релефа е невъзможно изграждането на друг тип отпадъкохранилища.

Освен изброените няколко типа съоръжения, при силно пресечен релеф е възможно използването на комбиниран тип отпадъкохранилища – равнинно-овражен (фиг. 1) и др.

Котлованен тип. При този метод на депониране, флотационният отпадък се съхранява в котлованите на открити, отработени рудници с изчерпани рудни запаси. Методът е безопасен, екологичен и икономически изгоден, тъй като отработеното пространство може да бъде запълнено с ниски разходи, а изграждане на насипна стена не е необходимо или се извършва с минимални разходи. С отпадането на необходимостта от насипни стени, рискът от аварии е редуциран, като следва да се проверява устойчивостта на бордовете на рудника. При складирането на отпадъци, съдържащи сулфиди, е необходимо да се поддържа по-високо водно ниво над отпадъците, за да се ограничи достъпът на кислород и окислението и да се предотврати образуването и дренажа на киселинни води. Друга възможност е покриването на отпадъците със стерилна скална маса. В случаите когато подстилащите скали в рудника са напукани, порести или водопропускливи, се препоръчва покриване на дъното на котлована със слой от глина или геомембрана.

За съхраняване на отпадъците могат да бъдат използвани и изкуствени котловани, специално изградени за тази цел. Този тип отпадъкохранилища са сходни с равнинния тип съоръжения с пръстеновидно изградени насипни стени и имат същите предимства, включително гъвкавост при избора на местоположението.

Конструктивни типове конвенционални отпадъкохранилища

В световната практика се използват три основни методи за изграждане на класическия вид отпадъкохранилища:

възходящо надстройване (upstream construction method); низходящо надстройване (downstream construction method) и централна конструкция (centerline construction method) (Димитров, 2021). Тези три основни методи на конструиране са в зависимост от посоката, в която спрямо стартовата защитна стена се изграждат поетапно последващите защитни стени. Обикновено като строителни материали за изграждане на насипите се използват скални материали, груби фракции от отпадъка или комбинация от двата вида материали. Методът с *възходящо надстройване* се основава на якостните характеристики на отпадъка и е най-евтин, но с най-висок риск (58%) от повреди и разрушаване, особено в райони със сеизмична активност или с обилни валежи (Lyu et al., 2019). Методът с *низходящо надстройване* е най-скъп, но осигурява структурна безопасност и стабилност на съоръженията и е подходящ и за райони с повишена сеизмична активност. Методът с *централна конструкция* на изграждане на отпадъкохранилищата представлява междинен вариант между горните два конструктивни типа – възходящо и низходящо надстройване. Използва се и *модифицирана централна конструкция* - междинен вариант между двата конструктивни типа – възходящо надграждане и централна конструкция.

Методи за депониране на флотационния отпадък

В конвенционалните отпадъкохранилища, транспортването на флотационния отпадък се извършва чрез пулпопроводи, разположени обикновено по протежение на насипната стена на съоръжението. Депонирането на отпадъка може да се извършва субаерално от една или повече точки или от централно място в съоръжението, както и подводно.

Субаерално депониране. Субаералното депониране се прилага много по-често от подводното депониране на отпадъка. Флотационният отпадък представлява течна суспензия и при субаералното депониране грубата фракция се отлага най-близо до точката на разтоварване, докато фините частици се отлагат на по-голямо разстояние. Влияние върху сегрегацията на материала оказва и дебитът на флотационния отпадък. При субаералното депониране, сегрегацията води до образуването на плаж, наклонен към утаечното езеро. Според Vick (1990) в повечето отпадъкохранилища наклонът на плажа е 0.5 – 2.0 % и колкото по-висока е плътността на отпадъка, толкова по-стръмен е наклонът на плажа. Промяната в точките на разтоварване на отпадъка в различни части на съоръжението, дава възможност на отложения отпадък да се консолидира и изсъхне, докато в други части на отпадъкохранилището може да продължи извършването на депониране.

Подводно депониране. Този метод се използва, когато флотационният отпадък съдържа сулфиди, с възможност за окисление и образуване на киселинни води (фиг. 4). Трайното депониране на отпадъка под вода ограничава достъпа на кислород и предотвратява окислението на сулфидните минерали, с което се редуцира вероятността за дренирането на киселинни води. Подводно депониране е приложено за флотационния отпадък от оловно-цинковото находище Лишийн (Lisheen), Ирландия. В това отпадъкохранилище, отпадъкът е депониран под слой от

вода, с дебелина от 1 до 1,3 m през различните сезони, което води до съхраняването на значителен обем вода. При подводното депониране на флотационния отпадък се образуват значително по-стръмни откоси, в сравнение със субаералното депониране, които могат да надхвърлят 10%. Поради тази причина точките на депониране следва да бъдат равномерно разпределени в съоръжението.



Фиг. 4. Подводно депониране на отпадък в конвенционално отпадъкохранилище (<https://www.tailings.info/disposal/deposition.htm>)

Депониране чрез разпределителен тръбопровод (spigots). Това депониране се извършва най-често субаерално, като флотационният отпадък се отлага по периферията на отпадъкохранилището, с разпределителен тръбопровод с цел да се създаде плаж между преградната насипна стена и утаечното езеро (фиг. 5).



Фиг. 5. Субаерално депониране на отпадък чрез разпределителен тръбопровод в конвенционално отпадъкохранилище (<https://www.tailings.info/basics/tailings.htm>)

Местата, от които се отлага отпадъкът в съоръжението, се сменят, за да може той да се консолидира преди да продължи депонирането на същото място. Разстоянията между разтоварващите точки се определят по експериментален път, за да могат да бъдат определени ширината и ъгъла на наклона на плажа. Неточното оразмеряване на разстоянията може да доведе до образуването на вълнообразен плаж и неефективно депониране. Обикновено тръбите, които се захранват от главния разпределителен тръбопровод, имат по-малък диаметър и при неподходяща скорост на суспензията могат да се запушат. При подходящи условия - скорост на суспензионния поток, съдържание на твърда фаза и място на депониране, се постига равномерно разпределение на отпадъка в съоръжението.

Депониране в единична точка. При този метод депонирането на флотационния отпадък се осъществява от главния пулпопровод, в който отсъстват разклонения за отлагане на материала на повече места. Прилагането на

метода може да доведе до образуването на значителни слоеве от отпадък, които могат да останат в наситено, неконсолидирано състояние в продължение на години, ако не бъдат изсушени преди последващото депониране. Този метод може да се използва при подводното депониране на отпадъци, както и в райони с ниски температури, и при затруднено или невъзможно депониране по друг метод (Dixon-Hardy and Engels, 2007).

Депониране с хидроциклони. Хидроциклоните се използват за разделяне на флотационните отпадъци на два продукта – долен продукт от груба фракция пясъци и горен продукт от фина фракция. За изграждане на земно-насипната стена се използват пясъците, а фината фракция се транспортира с пулпопровод до съоръжението. Подходящи за класиране с хидроциклон са флотационните отпадъци, в които съдържанието на твърдите частици с големина под 0,074 mm е по-малко от 60%.

Алтернативни подходи за заместване на конвенционалните отпадъкохранилища

Конвенционалните отпадъкохранилища са изложени на риск от скъсване на защитните стени, повреди и разрушаване, вследствие конструктивни дефекти, превишена проектна височина на дигите, вътрешна ерозия и просмукване на вода, повишено водно ниво от обилни атмосферни валежи и преливане, надвишен капацитет на съоръжението и претоварване, слаб фундамент, земетресения и др. (Григорова и др., 2014; Luy et al., 2019).

С оглед предотвратяване на аварийите и спазване на най-високите стандарти за безопасност на съоръженията, в световен мащаб се развиват два основни подхода за заместване на класическия тип отпадъкохранилища (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). По-старият подход, въведен в практиката, включва депонирането на обезводнени в различна степен флотационни отпадъци до получаването на краен продукт с ниско съдържание на влага – уплътнен, пастообразен и сух отпадък. Този тип съоръжения обикновено са по-скъпи от конвенционалните поради по-високата консумация на енергия при обезводняването на отпадъка и специфичното оборудване.

Вторият подход се основава на съвместното складиране на минните и флотационни отпадъци в едно и също съоръжение и е прилаган засега предимно за някои въглищни, диамантени и златни мини. Използвани са различни методи за депониране – депониране на хомогенна смес от флотационни и минни отпадъци; изпомпване на суспензия от двата вида отпадъци с големина на частиците до 10 cm; отлагане на отпадъците в алтерниращи слоеве; складиране на минните отпадъци в единия край или на определени места под формата на вътрешни берми в отпадъкохранилищата от класически тип и др. (<https://mineclosure.gtk.fi/co-disposal-of-waste-rock-with-tailings/>).

Разработената най-нова иновативна технология включва изграждането на интегрирани съоръжения за съхранение на минните отпадъци ИССМО (Integrated mine waste facility - IMWF), в които съвместно се съхраняват отпадъците от добива и преработката на руда – минни отпадъци (стерилна скална маса) и обезводнен

(пастообразен) технологичен отпадък.

Депониране на флотационен отпадък след неговото обезводняване.

Депониране на уплътнен (сгъстен) отпадък (thickened tailings). Уплътненият флотационен отпадък представлява обезводнен в значителна степен материал, представляващ хомогенна, несегрегираща суспензия, със съдържание на твърда фаза 50-60% (Григорова и др., 2014). Обезводняването обикновено се постига с използването на сгъстители или комбинация от сгъстител и филтър преса. Технологията за депониране на уплътнени отпадъци се прилага предимно за отпадъкохранилища с малък до среден капацитет при наличие на сух, горещ климат и оскъдни валежи в равнинни терени, както и в терени със слаб фундамент.

Депониране на пастообразен отпадък (paste tailings). С термина пастообразен отпадък се означава несегрегираща, вискозна суспензия със съдържание на твърда фаза 70-75%, която може да се изпомпва и не се утаява (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). Според Watson et al. (2010) получаването на пастообразен продукт е възможно при съдържание над 15% на фини твърди частици в отпадъка, с размери под 20 µm, а според други автори – над 20-30%. Пастообразното състояние на обезводнения отпадък се постига с използването на конвенционални или високоскоростни сгъстители, като за оптимизиране на процеса се прилагат флокуланти. Складирането на пастообразните отпадъци може да се извършва върху земната повърхност или много по-често – подземно, за запълване на отработени при рудодобива пространства. Пастовото запълване на отработените пространства при подземния рудодобив, е въведено през 2010 г в рудник Челопеч, „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). Технологията позволява оползотворяването на голяма част от флотационния отпадък, стабилизира подземните изработки и скалния масив и намалява количеството на депонираните отпадъци на повърхността. Запълващата смес е съставена от обезводнен флотационен отпадък, получен след сгъстване и филтруване и свързваща добавка от цимент (Григорова и др., 2014).

Депониране на сух отпадък (dry stacks). Депонирането на сух отпадък със съдържание на твърда фаза 75-85% се прилага все по-широко през последните 10-20 години. Сухият отпадък се получава с използване на вакуумна филтрация или лентова филтрация под налягане, като най-добри резултати се получават с помощта на филтърни преси. Сухият отпадък се транспортира до мястото на депониране с камиони или конвейр, където се складира и уплътнява, като образува т.н. „сух куп“. Този тип съоръжения са подходящи за райони с висока сеизмична активност, сух или студен климат, в близост до населени места и др. (Димитров, 2021).

Интегрирано съоръжение за съхраняване на минни отпадъци ИССМО (Integrated mine waste facility IMWF).

Най-новата, съвременна технология, отговаряща на най-високите стандарти за безопасност и стабилност, е изграждането на интегрирани съоръжения за съхраняване на минните отпадъци – ИССМО (Integrated mine waste facility - IMWF). При тази технология се извършва

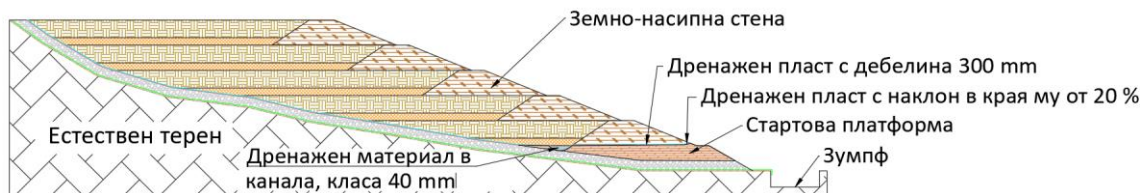
съвместното депониране на отпадъците от добива и преработката на руда - стерилна скална маса и обезводнен технологичен отпадък. В сравнение с конвенционалните съоръжения, тези от интегриран тип имат редица предимства, някои от които са следните: максимална безопасност и стабилност на съоръженията при минимално заемана площ, минимален риск за околната среда, намалено количество на водата за технологични цели, както и на разходите за мониторинг и поддръжка, паралелна рекултивация, едновременно с експлоатацията и др. (Григорова, 2011; Aleksandrova et al., 2021; Димитров, 2021).

Технологията на изграждане и конструктивните параметри на съоръженията от интегриран тип се различава съществено от тези на конвенционалните отпадъкохранилища. Интегрираното съоръжение за съхраняване на минни отпадъци включва основна площадка, съставена от минен отпадък (стерилна скала) и дренажна система, и от стъпала, изградени от уплътнена насипно образува стена, зад която се складира обезводнения флотационен отпадък и стерилна скала. Дренажната система служи за отвеждане на водата, отделяна при консолидирането на флотационния отпадък. Схематичен профил на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци е представен на фигура 6, а конструктивните елементи на стъпало на съоръжението са показани на фиг. 7

Първото и засега единствено в страната ни интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци (ИССМО - Integrated mine waste facility IMWF) е в експлоатация от 2019 г. и е изградено от „Дънди Прешъс Металс Крумовград“ ЕАД (Grigорова and Korrev, 2020; Aleksandrova et al., 2021; Димитров, 2021). За изграждане на съоръжението са избрани две площадки в две малки дерета, като е предвидено първоначално да се експлоатират поотделно, а впоследствие да бъдат обединени в едно. Изградени са клетки от минни отпадъци (стерилни скали), в които се депонира флотационният отпадък от преработката на златосъдържаща руда от находище „Ада тепе“, обезводнен до пастообразно състояние. Клетките са покрити с геотекстил и с тънък слой от пясък и се запълват с 30 до 50% отпадък и 50 до 70% скална маса (Eldridge et al., 2013). За предотвратяване просмукването на вода под съоръжението е поставена геомембрана. Дренажната система, разположена в дъното на съоръжението събира водата, отделяна при консолидацията на пастообразния отпадък, както и от атмосферните валежи и ги отвежда във водоем. Важно предимство на комбинираното отпадъкохранилище е, че заема по-малка площ, вследствие отпадането на необходимостта от изграждането на две отделни съоръжения за складиране на минни и на флотационни отпадъци. Според Eldridge et al. (2011) при поотделното складиране на минните и флотационни отпадъци е необходима площ от 96 ha, докато площта за комбинираното депо е само 41 ha, т.е с 60 % по-малко. Съоръжението е изградено по метода на възходящото надстройване (Eldridge et al., 2011).

Известен недостатък на съоръженията от интегриран тип, са относително по-високите експлоатационни разходи и невъзможността за използване на депонирания отпадък като техногенна суровина, които се компенсират от високата структурна сигурност и безопасност,

минимизирането на риска за околната среда и разходите за поддръжка и мониторинг на съоръженията и др.



Фиг. 6. Схематичен профил на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци



Фиг. 7. Конструктивни елементи на стъпало на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци

Заклучение

Конвенционалните отпадъкохранилища с хидравлично депониране на флотационните отпадъци са най-евтини и до неотдавна широко използвани в миннодобивната практика, но не са достатъчно безопасни, поради риска от повреди и инциденти с тежки последствия за околната среда, икономически щети и човешки жертви. През последните няколко години две от най-тежките екологични катастрофи за цялата история на Бразилия, са предизвикани от скъсването на стените на отпадъкохранилищата Самарко (2015 г.) и Брумадињо (2019 г.) в щат Минас Жераис. И двете отпадъкохранилища са изградени по метода на възходящо надстройване, който е най-евтин и широко използван. След тези две катастрофални аварии е взето решение всички съществуващи съоръжения, изградени по метода на възходящо надстройване в Бразилия, да бъдат изведени от експлоатация. В Чили, Перу, Бразилия и Еквадор е забранено строителството на съоръжения от този тип. Поредните бедствия, свързани с аварията на отпадъкохранилища, потвърждават необходимостта от разработването на нови иновативни подходи за безопасни и екологосъобразни съоръжения. Най-добрите налични съвременни технологии включват депонирането на предварително обезводнени флотационни отпадъци и внедряването на интегрирани съоръжения за съхраняването на минни отпадъци.

Литература

Aleksandrova, E., L. Dimitrov, D. Kaykov. 2021. Operational sequence for constructing an combined mine waste facility – XVI International conference of the open and underwater mining of minerals, 6-10 September 2021, Varna, Bulgaria.
 Dixon-Hardy, D. W, J. M. Engels. 2007. Methods for the disposal and storage of mine tailings. - *Land Contamination & Reclamation*, 15, (3), 301-317.

Eldridge, T., B. Wickland, A. Goldstone, M. Kissiova. 2011. Integrated Mine Waste Storage Concept, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria. - *Proceedings Tailings and Mine Waste 2011, Vancouver, BC, November 6-9, 2011*, 1-12.
 Eldridge, T., M. Kissiova, B. Wickland, I. B. Ahmed, J-F.Laurin. 2013. Integrated Mine Waste Storage Facility, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria. - *Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, 2013*, 232 – 934.
 Grigorova, M., I. Koprev. 2020. Mining and technical conditions in open pit “Khan Krum” gold mine in Southeastern Bulgaria. - *Proceedings of 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020*, 119-126.
 Lyu, Z., J. Chai, Z. Xu, Y. Qin, J. Cao. 2019. A comprehensive review on reasons for tailings dam failures based on case history. – *Advances in Civil Engineering*, 1-18.
 Vick, S. G. 1990. *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*. BiTech Publishers Ltd, Vancouver, B. C. Canada, 381.
 Watson, A. H., P. G. Corser, E. E. Garces Pardo, T. E. Lopez Christian, J. Vandekeybus. 2010. A comparison of alternative tailings disposal methods – the promise. - *Mine Waste* (Eds. Fourie, A. B., R. J. Jewell), 499 – 514.
 Yankova, T. 2020. Mineral processing waste utilization. - *Proceedings of the XX International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2020, Bulgaria*, 821-828.
 Григорова, И., М. Ранчев, И. Нишков. 2014. Трайни тенденции при депониране на крайни технологични отпадъци от преработката на минерални суровини. – *Минно дело и геология*, 9-10, 37-41.
 Григорова, И. 2011. *Гравитационни технологии при управление на минни отпадъци*. Изд. Ритт, Силистра.
 Димитров, Л. 2021. Видове отпадъкохранилища при преработката на минерални суровини – предимства и недостатъци. *Геология и минерални ресурси*, 9-10, 5-11.
<https://www.tailings>
<https://www.tailings.info/basics/tailings.htm>
<https://www.tailings.info/disposal/deposition.htm>
<https://mineclosure.gtk.fi/co-disposal-of-waste-rock-with-tailings/>