

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირმა გიორგაძე

რადიაციული დაცვის ზოგიერთი ასპექტები რადიაქტიულ მასალებთან

მოპრობის დროს

სადოქტორო პროგრამა საინჟინრო ფიზიკა

შიფრი 0719

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი

დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფ. ლია ჭელიძე

რეცენზენტები: პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი

პროფ. გიორგი მელიქაძე

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის
სისტემების ფაკულტეტის დაცვის კოლეგიის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,
კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

შესავალი

სხვადასხვა ტექნოლოგიებში თუ პროცესებში რადიოაქტიური მასალების ფართო გამოყენება განაპირობებს რადიოაქტიური ნარჩენების გენერაციას. ამ ნარჩენების მართვა (მათი ადამიანზე და გარემოზე მავნე ზეგავლენის გათვალისწინებით) საკმაოდ აქტუალური პრობლემაა. ზოგადად, ნარჩენების მართვა მოიცავს მათ უსაფრთხო შენახვას, ტრანსპორტირებას, დამუშავებას (ასევე წინადამუშავებას - შეგროვება, სელექცია-სეგრეგაციას), კონდიცირებას და საბოლოოდ დამარხვას. ამ პრობლემის მნიშვნელობას დამატებით ხაზს უსვამს ის ფაქტი, რომ აქვე მოიაზრება გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების მართვაც. სწორედ ამ უკანასკნელის მხრივ, პრობლემა ძალზე აქტუალურია საქართველოსთვის. საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდგომ საქართველოში აკუმულირდა საკმაოდ რაოდენობის გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყარო. დიდი რაოდენობა რადიოაქტიური წყაროებისა საერთოდ უპატრონოდ იქნა მიტოვებული. მათი გაუვნებელყოფა განხორციელდა სპეციალური ოპერაციების საშუალებით. (მათ შორის აღსანიშნავია ე.წ. რადიოთერმოგენერატორები. ნაპოვნი და გაუვნებელყოფილი იქნა 6 ასეთი წყარო. თითოეულში ნუკლიდ ^{90}Sr -ის საწყისი აქტივობა შეადგენდა 1 295 ტბკ-ს.) ამჟერად რადიოაქტიური ნარჩენების საცავში დაგროვილია გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების საკმაოდ დიდი ოდენობა, რომლებიც გარკვეული ქმედებების ჩატარებას მოითხოვენ. გარდა ამისა, საქართველოს გააჩნია „კლასიკური“ რადიოაქტიური ნარჩენებიც. მათი უმეტესობა გენერირებული იქნა ბირთვული კვლევითი რეაქტორის დეკომისიის დროს. შეიძლება გაჩნდეს წარმოდგენა, რომ სადღეისოდ საქართველოში აკუმულირებული რადიოაქტიური ნარჩენები არის მხოლოდ წარსულის გადმონაშთი და მათი გენერირება მომავალში არ მოიაზრება. თუმცა ეს პრონციპულად მცდარი აზრია. მრეწველობის განვითარება განაპირობებს რადიოაქტიური მასალების ფართო გამოყენებას და შესაბამისად რადიოაქტიური ნარჩენების გენერაციასაც. თუმცა

საერთაშორისო დონეზე აღიარებული ერთ-ერთი პრონციპის თანახმად რადიოაქტიური ნარჩენების გენერაცია შესაძლებლობების ფარგლებში უნდა დაყვანილი იქნას მინიმუმამდე, მაგრამ მისი სრული მიტიგაცია სადღეისოდ შეუძლებელია.

საქართველოში ოპერირებს რადიოაქტიური ნარჩენების საცავი და ადგილზეა „რადონის“ ტიპის დახურული სამარხი. როგორც ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, საცავი სრულად ვერ აკმაყოფილებს ბირთვული უსაფრთხოების და დაცულობის მოთხოვნებს. გარკვეული პრობლემებია სამარხის მხრივაც. საქართველოს გააჩნია რადიოაქტიური ნარჩენების გადამუშავების ძალზე შეზღუდული საშუალებები: აბრაზიული საწმენდი დანადგარი ფიზიკის ინსტიტუტში და ნარჩენების ცემენტირების საწარმო „რადონის“ ტიპის სამარხის (ეწ. სააკაძის სამარხი) ტერიტორიაზე. (სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების პერიოდში ნარჩენების საცავთან ამუშავდა გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების გადაფუთვის დროებითი საწარმო). ამავე დროს საქართველოში მიღებული რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის 2017-2031 წლების სტრატეგია ერთ-ერთ მიზნად აყალიბებს რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის ყველა საწარმოს ერთ ლოკაციაზე თავმოყრის ამოცანას. ცხადია, ასეთი გლობალური მაშტაბის ამოცანის გადაწყვეტა აუცილებლად მოითხოვს სამეცნიერო წვლილის შეტანას. სწორედ ამ მიზანს ემსახურება ჩატარებული კვლევა. იგი ითვალისწინებს

- არსებული და მომავალში შესაძლო გენერირებადი რადიოაქტიური ნარჩენების ანალიზს
- კვლევას მომავალი საწარმოების ადგილის შესარჩევად
- თხევადი რადიოაქტიური ნარჩენების გადამუშავების და მასთან დაკავშირებული სამეცნიერო ამოცანების გადაწყვეტას
- მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოების ძირითადი დიზაინის განსაზღვრას
- მომავალი საწარმოების უსაფრთხოების წინასწარ შეფასებას.

სადისერატაციო ნაშრომი შედგება რვა თავისაგან, მოყვანილია 32 ცხრილი და 18 სურათი. ნაშრომში მოყვანილია 67 ციტირება. ნაშრომის შედეგები გამოქვეყნებულია სამ მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალში და რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის კონფერენციაზე, რომელიც იმართება სამ წელიწადში ერთხელ ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს პატრონაჟით. იქ წარდგენილი სტატია ოფიციალურად იქნა მიღებული და ჩასმული კონფერენციის პროგრამაში.

თემის აქტუალურობა

ნაშრომი შესრულებულია გერმანულ კონცერნ DMT სპეციალისტებთან ერთად და იგი სრულად შეესაბამება საქართველოში მიღებული „რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის 2017-2031 წლების ეროვნულ სტრატეგიას“, რომელიც მთავარ მიზნად განსაზღვრავს რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის საწარმოების (საცავი, გადამამუშავებელი საწარმო, სამარხი) ერთ საიტზე განთავსებას. სწორედ ამ მიზნით ნაშრომში მოყვანილია შედარებითი ანალიზი ადგილის შერჩევითვის და გაკეთებულია წინასწარი დასკვნა ე.წ. სააკადის სამარხის ტერიტორიის უპირატესობაზე, რაც სრულად შეესაბამება საქართველოს მთავრობის N2428 დადგენილებას. ნაშრომის შედეგები გამოყენებული იქნება მომავალში საწარმოების უკვე დეტალური დიზაინის განსაზღვრისას და მათი კონსტრუირებისას, რაც აუცილებლად გადასაწყვეტი ამოცანაა ეროვნული სტრატეგიის თანხმად. ამგვარად ნაშრომის შედეგებს გააჩნიათ ძალზე დიდი მნიშვნელობა რადიაციული უსაფრთხოების მისაღწევად, როგორც განსაზღვრულია რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის ეროვნული სტრატეგიისა და საქართველოს მთავრობის დადგენილებაში.

მეცნიერული სიახლე

ნაშრომში პირველად არის მოცემული კომპლექსური მეცნიერული მიდგომა არსებული ამოცანის (ახალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოების ადგილმდებარეობის და დიზაინის განსაზღვრა) გადასაწყვეტად. პირველად არის გაანალიზირებული შემთხვევა, როდესაც პურიფირებულ

თხევად რადიოაქტიურ სუბსტანციაში დაიმზირებოდა აქტივობის დროებითი ზრდა. ჩატარებულია რადიოლოგიური სრულფასოვანი მონიტორინგი და სპექტრალური ანალიზები, რომელთა საფუძველზეც გაკეთებულია შესაბამისი დასკვნები. პირველად არის შემუშავებული მომავალი საწარმოების დიზაინი და ჩატარებული მათი უსაფრთხოების წინასწარი კვლევა. განსაზღვრულია ოპერატორის და ფუნქციონალური მოთხოვნების სპეციფიკაციები. ჩამოყალიბებულია პოსტულირებადი მანიცირებელი მოვლენები. გამოყენებულია დეტერმინისტული და ალბათური მიდგომები უსაფრთხოების შეფასებისთვის. ცალსახად არის ნაჩვენები შემუშავებული სტრუქტურების უსაფრთხოება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ქვეყნის ეროვნული სტრატეგიით განსაზღვრული მიზანი, კერძოდ ადაგილის შერჩევა რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის მომავალი საწარმოებისთვის და მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოს ძირითადი დიზაინის განსაზღვრა. კვლევის არე ეყრდნობოდა რა ეროვნული სტრატეგიით განსაზღვრულ ამოცანას, ძირითადად განისაზღვრებოდა ქართული საკანონმდებლო მოთხოვნებით, ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს სტანდარტებით და მოთხოვნებით, ევროატომის მოთხოვნებით და რადიაციული დაცვის საერთაშორისო კომისიის ანალებში მოცემული დებულებებით. კერძოდ, ნაშრომში გამოყენებული პარაქტიკული გაზომვები, ლაბორატორიული სამუშაოები, კომპიუტერული მოდელირება და შესაბამისი გათვლები, რომელთა საფუძველზეც მიღებულია შესაბამისი შედეგები და დასკვნები.

სამუშაოს მიზანი და ამოცანები:

ჩვენი შრომის მიზანია საქართველოში რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის სისტემების გაუმჯობესებისთვის აუცილებლად საჭირო ძირითადი სამეცნიერო საფუძვლების უზრუნველყოფა.

აღნიშნული მიზნიდან გამომდინარე, ჩამოყალიბდა კვლევის შემდეგი ამოცანები:

1. ინსტიტუციური რადიოაქტიური ნარჩენების მსოფლიოში არსებული მართვის სისტემების და ქმედებების ანალიზი
2. პირველადი კვლევის ჩატარება ყველა სახის რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის ობიექტების ერთ ლოკაციაზე განლაგების ადგილის შესარჩევად
3. თხევადი რადიოაქტიური ნარჩენების გადამუშავებისას წარმოქმნილი პრობლემების მეცნიერული ანალიზი
4. საქართველოში არსებული რადიოაქტიური ნარჩენების (გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების) და მომავალში შესაძლო ნაკადების ანალიზი
5. არსებული უსაფრთხოების მოთხოვნების და ნარჩენების ანალიზის საფუძველზე გადამუშავების მეთოდების წინასწარი შეფასება
6. მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოებისთვის ფუნქციონალური სპეციფიკაციების და მომხმარებლის სპეციფიკაციების მოთხოვნების განსაზღვრა
7. მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოს ძირითადი დიზაინის განსაზღვრა
8. მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოს უსაფრთხოების წინასწარი შეფასების ჩატარება
 - 8.1 მაპოსტულირებელი შემთხვევების განსაზღვრა
 - 8.2 ძირითადი შესაძლო საავარიო სიტუაციების განსაზღვრა
 - 8.3 სიტუაციის დეტერმინისტული შეფასება
 - 8.4 სიტუაციის ალბათური შეფასება
 - 8.5 უსაფრთხოების ძირითადი ფუნქციების განსაზღვრა
9. ნარჩენების მიღების კრიტერიუმების განსაზღვრა საცავისა და გადამამუშავების თითოეული მეთოდისთვის

კვლევის შედეგები

კვლევის შედეგები შეიძლება გაერთიანდეს შემდეგ ძირითად პუნქტებში:

1. განხორციელდა არსებული ინფორმაციის შეგროვება და ანალიზი არსებული რადიოაქტიური ნარჩენების შესახებ (გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების ჩათვლით)
2. გაანალიზდა ქვეყანაში არსებული მდგომარეობა და განსაზღვრული იქნა რადიოაქტიური ნარჩენების მომავალი ნაკადები
3. შესწავლილი იქნა რადიოაქტიური ნარჩენების საწარმოების განთავსების ადგილის პრობლემა და გაკეთებული იქნა შესაბამისი რეკომენდაცია
4. გადამუშავებული იქნა ე.წ. სააკადის სამარხზე მყოფი თხევადი რადიოაქტიური ნარჩენები
5. შესწავლილი იქნა თხევადი რადიოაქტიური ნარჩენების გადამუშავებისას დამზერილი აქტივობის გაზრდის ეფექტი და გამოტანილი იქნა შესაბამისი დასკვნები
6. გაანალიზირებული იქნა არსებული და მომავალი რადიოაქტიური ნარჩენების დამუშავებისა და კონდიცირების მეთოდები
7. შემუშავებული იქნა გადამუშავების თითოეული მეთოდისა და შენახვისთვის მომხმარებლის და ფუნქციონალური მოთხოვნების სპეციფიკაციები
8. განისაზღვრა მომავალი საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოს ძირითადი დიზაინი
9. ახალი საწარმოების უსაფრთხოების შეფასების მიზნით ჩამოყალიბდა რამოდენიმე ათეული პოსტულირებადი შემთხვევა, როგორც ბუნებრივი ისე ხელოვნური ხასიათის. მოხდა თითოეულის დეტალური შესწავლა-ანალიზი
10. განხორციელდა უსაფრთხოების წინასწარი შეფასება, რისთვისაც გამოყენებული იქნა დეტერმინისტული და ალბათური მიდგომები. ამ მხრივ შეფასდა რადიონუკლიდების გავრცელების ყველა შესაძლო გზა.

11. გადამუშავების თითოეული მეთოდისთვის და ცალკე შენახვისთვის განისაზღვრა დოზების ის მაქსიმალური შესაძლო მნიშვნელობები, რომელიც შეიძლება მიიღოს მუშაკმა და მოსახლეობამ. ნაჩვენები იქნა, რომ ეს მნიშვნელობები საკმაოდ მცირეა და არ აღემატება დასაშვებ დოზებს, რაც ცალსახად ადასტურებს შემუშავებული სტრუქტურის უსაფრთხოებას
12. შეფასდა პოტენციურად შესაძლო საავარიო სიტუაციები და გაანალიზდა მათი შესაძლო შედეგები, რამაც ასაევე დაადასტურა შემუშავებული სტრუქტურის უსაფრთხოება

დისერტაციის სტრუქტურა

დისერტაციის პირველი თავი წარმოადგენს ლიტერატურულ მიმოხილვას, სადაც განხილულია ბირთვული უსაფრთხოებისა და რადიაციული დაცვის საკითხები. აქ მოყვანილია ბირთვული უსაფრთხოების ძირითადი პრინციპები. აქვე ხაზი აქვს გასმული იმ ცხრა პრინციპს, რომელზეც უნდა ეყრდნობოდეს რადიოაქტიური ნარჩენების მართვა. დიაგრამაზე მოყვანილია ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს განმარტება ნარჩენების მართვის სისტემისთვის და ახსნილია მისი სპეციფიკაციები ქართული სინამდვილისთვის. აქვე მოყვანილია ქართული საკანონმდებლო მოთხოვნებიც. დახასიათებულია აგრეთვე ნარჩენების კლასიფიკაციაც, რომელიც ძირითადად ემყარება ნარჩენების დამარხვის გზებს. ამასთან აღნიშნულია ამ კლასიფიკაციების მოდიფიკაციის საჭიროება. ამავე თავში განხილულია რეგულირებიდან ამოღების, განთავსუფლების და გამორიცხვის პრობლემები. ნაჩვენებია, რომ ქართული მოთხოვნები ამ მიმართულებით წინ უსწრებს არსებულ საერთაშორისო მოთხოვნებს. კერძოდ, საქართველოში რეგულირებიდან ამოღება უკვე ეხება თხევად და აირობრივ მასალებს, როდესაც იგივე მოთხოვნები საერთაშორისო საბუთებში ჯერ კიდევ დრაფტის სახით არსებობს. ამავე თავში განხილულია უსაფრთხოების შეფასების საერთაშორისო და ქართული მოთხოვნები. მოყვანილია კონკრეტული მოთხოვნები დამარხვის

წინა აქტივობისთვის, ცალკე საკითხად არის განხილული რადიუმის დაშლის მწკრივები. ამ საკითხის ცალკე გამოტანა განაპირობა რადიუმის თხევადი ნარჩენების არსებობამ საქართველოში, რომელთა მოპყრობაც აღწერილია მესამე თავში. აქ მნიშვნელოვანია გათვალისწინებული იქნას წინასწორობა რადიუმსა და მისი დაშლის მრავალრიცხოვან პროდუქტებს შორის. ამ წინასწორობის დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს საკამოდ მოულოდნელი ეფექტები, რაც დაიმზირებოდა საქართველოში რადიუმიანი წყლის პურიფიკაციის დროს.

დისერტაციის მეორე თავში მოყვანილია კვლევის მასალა და მეთოდები. აქვე განსაზღვრულია რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის სისტემა, რომელიც შედგება შემდეგი ოთხი ძირითადი კომპონენტისაგან:

- საკანონმდებლო ბაზა
- მარეგულირებელი ინფრასტრუქტურა
- მართვის ინფრასტრუქტურა
- ფინანსური უზრუნველყოფა

დეტალურად არის განხილული თითოეული კომპონენტის მდგომარეობა ქართული რეალობისთვის. ამასთან უდიდესი ყურადღება აქვს დათმობილი არსებულ რადიოაქტიური ნარჩენებს და მათთან მოპყრობის საწარმოებს. მოყვანილია მათი მახასიათებლები და ადრე ჩატარებული კვლევების შედეგები. განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი არსებული საცავის შემდეგ ხარვეზებს:

- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავის შენობის ერთი კედელი უშუალოდ ესაზღვრება გარე პერიმეტრზე არსებულ გზას;
- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავის სათავსების ჭერის დაბალი სიმაღლე ართულებს რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობას;
- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავის შენობის ჭერი კონსტრუირებულია და მოპირკეთებული ადვილად აალებადი მასალებით, რაც ეწინააღმდეგება ხანძარსაწინააღმდეგო ნორმებს;

- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავის შენობის კონსტრუქცია მუდმივად განიცდის დეფორმაციას, რის გამოც ღრმავდება არსებული ბზარი შენობის ძირითად და მიშენებულ ნაწილს შორის, ასევე უარესდება მოდულების კარების ფუნქციონირება;
- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავის შენობა არ იძლევა რადიოაქტიურ ნარჩენებთან უსაფრთხო მოპყრობისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურის განვითარების საშუალებას;
- რადიოაქტიური ნარჩენების საცავისთვის შეუძლებელია დაკვირვების ზონის განსაზღვრა, რაც მიუღებელია რადიაციული უსაფრთხოების თვალსაზრისით;
- „საქართველოს გეოფიზიკის ასოციაციის“ მიერ 2016 წლის 22 დეკემბერს ჩატარებული კვლევების თანახმად, საცავის შენობას „გააჩნია სეისმომედეგობის მწვავე დეფიციტი, ანუ მისი სეისმომედეგობა დაახლოებით 12-18-ჯერ დაბალია

მოყვანილი ხარვეზების საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა ახალი საცავის მშენებლობის აუცილებლობაზე.

მესამე თავი ეძღვნება ადგილის შერჩევის პრობლემას. ამ მიმართულებით განხილულია შემდეგი ფაქტორები:

- ბირთვული უსაფრთხოება
- ბირთვული დაცულობა
- ადამიანური რესურსი

ადგილის შერჩევისთვის გამოყენებული ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს (აეეს) მეთოდოლოგია, რომელიც მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- კონცეპტუალური დაგეგმვის ეტაპი;
- ადგილის გამოკვლევა;
- ადგილის დახასიათება;
- ადგილის დადასტურება

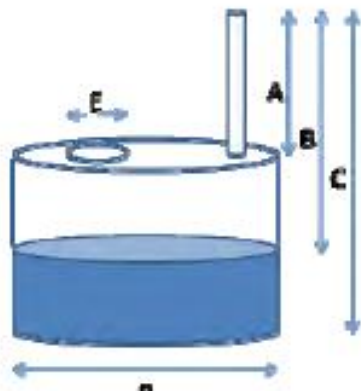
თითოეული ეტაპი განხილულია დეტალურად და მოყვანილია თუ რა არის უკვე გაკეთებული. ანალიზიდან ჩანს ე.წ სააკაძის სამარხის უპირატესობა ნარჩენების მართვის საწარმოების ალოკაციისთვის. ამიტომაც ჩატარებული ადგილის მონიტორინგის დროს აღებულია ნიმუშები და გამოკვლეულია ლაბორატორიულად მაღალი გარჩევადობის მქონე ნახევარგამტარულ (მაღალი სისუფთავის გერმანიუმის) სპექტრომეტერზე. მიღებული შედეგების ანალიზზე დაყრდნობით გაკეთებულია ცალსახა დასკვნა-განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს რადიუმიანი წყლის არსებობას მიწისქვეშა ავზში.

ცხრ.1 პირველ ავზში რადიონუკლიდების შემცველობა

Nuclide	Activity, A Bq/kg	Uncertainty U %
Na-22	3.08	43.4
Sc-46	16.45	49.1
La-140	5.33	65.8
Eu-155	15.96	60.9
Pb-214	37.74	1.11
Bi-207	1.71	109.1
Bi-214	8.75	1.42
Ra-226	1215.2	5.2
A_{ჯამ}	1304.22	4.95

გადაუდებელი ამოცანაა პირველ ავზში არსებული დაბინძურებული წყლის გადამუშავება (სურ.1)

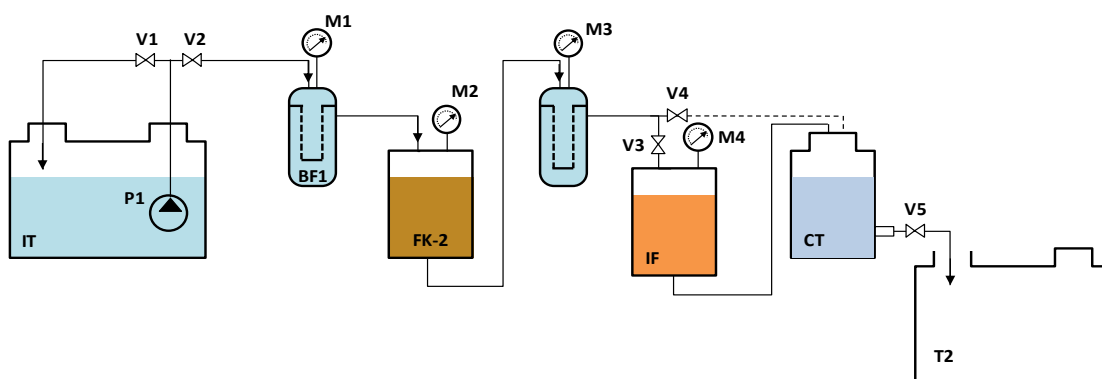
სურ.1 ავზების ზომები



(meters)	TANK 1	TANK 2	TANK 3
A	3.15	3.15	3.15
B	5.2	5.65	5.4
C	5.85	6.15	6.15
D	9	9	9
E	0.75	0.75	0.75

პირველ ავზში რადიუმის კონცენტრაცია აღემატებოდა რეგულირებიდან ამოღების დონეს, როგორც საერთაშორისო ისე ეროვნული მოთხოვნების შესაბამისად. სითხის გასაწმენდად შეიძლებოდა გამოყენებული ყოფილიყო მრავალი სახის მეთოდი: აორთქლება, ქიმიური გამოლექვა, შებრუნებული ოსმოსი და სხვა. ამ შემთხვევაში შერჩეული იქნა ფილტრაციის მეთოდი. სამუშაოებს აწარმოებდა გაერთიანება “რადონი“, რომელმაც გაიმარჯვა ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს (აეს) მიერ ჩატარებულ ტენდერში. გამოყენებული იქნა ორი სახის ფილტრი: მაგნიუმზე დაფუძნებული და ფისოვანი ფილტრი. პირველის დანიშნულებაა სითხიდან რადიუმის მოცილება, ხოლო მეორესი - შეძლებისდაგვარად რადიუმის შვილობილი პროდუქტების გაფილტვრა (სურ.2). ფილტრებში გასული სითხე გროვდებოდა სპეციალურ ავზში, საიდანაც რეგულარულად ხდებოდა ნიმუშების აღება და მისი ლაბორატორიული კვლევა - სპექტროსკოპული ანალიზი მაღალი გარჩევადობის გერმანიუმის სპექტრომეტრის გამოყენებით. მხოლოდ ანალიზებზე დადებითი პასუხის შემთხვევაში, გაფილტრული სითხე იღვრებოდა მეორე ავზში. ფილტრაციის პროცესის დაწყებისას აღმოჩნდა კურიოზული ფაქტი: გაფილტრული და გაუფილტრავი სითხის აქტივობის შედარებისას, გაფილტრულის აქტივობა უფრო მაღალი იყო. ჩატარებულმა გაზომვებმა ცხადყო, რომ პირველ რიგში მატულობდა ბეტა აქტივობა. წარმოქმნილი მდგომარეობის გადაწყვეტა მოხერხდა ექსპრეს სპექტრომეტრული ანალიზის გამოყენებით.

სურ.2 ფილტრაციის ტექნოლოგიური სქემა



Falcon-5000-ით გადაღებულმა სპექტრმა აჩვენა ახალ გაფილტრულ სითხეში ^{214}Bi (ნახევრდაშლის პერიოდი 19,9 წთ) კონცენტრაციის მკვეთრი მატება, რაც გამოწვეული უნდა იყოს სითხიდან რადიუმის მოცილებისას რადიუმის დაშლის ჯაჭვში წონასწორობის დარღვევით. სამი საათის შემდგომ ეს კონცენტრაცია მკვეთრად ვარდება და შესაბამისად მცირდება სითხის აქტივობაც. გაფილტრული სითხის მახასიათებლები მოცემულია ცხრ.2-ში

ცხრ.2 გაფილტრული სითხის მონაცემები

Nuclide	Activity, A Bq/kg	Uncertainty U %
Na-22	1.08	43.4
K-40	15.12	94.5
Sc-46	12.86	18.6
Cd-109	98.78	22.4
Cs-134	1.34	39.2
Ba-140	3.05	59.6
La-140	2.48	24.5
Ce-143	5.67	49.2
Eu-155	13.92	19.2
Np-237	6.96	97.6
Ra-226	< 23.1	-
$A_{\text{ჯამი}}$	147.43	16.8

ცხადია ეს სიდიდეები სრულიად აკმაყოფილებენ მარეგულირებელ მოთხოვნებს. ფილტრაციის შედეგად მიღებული რადიოაქტიური ნარჩენები იმობილიზირებულნი იქნენ ცემენტის მატრიცაში.

მეოთხე თავში განხილულია რადიოაქტიური ნაჩენების გადამუშავების მეთოდები. ამ თავში მიმოხილულია ყველა ნარჩენი და ისინი განთავსებულია 11 ძირითად ჯგუფში:

- გამოყენებიდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროები (DSRS),
- აირის ფორმის გამოყენებიდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროები,
- მყარი ნივთიერებები, როგორცაა ფილტრები და წვადი ნარჩენები,
- უკვე ცემენტირებული ან გრუნტირებული არსებული ნარჩენები 200-ლიტრიან კასრებში,
- ლითონის კომპონენტები, როგორცაა მილები,
- სითხეები,
- გრანულების ფორმის მყარი ნივთიერებები, როგორცაა ჭავლის ქვიშა ან დაქუცმაცებული მასალები,
- ნიადაგი,
- გამოყენებული ფისი,
- ბერილიუმის ბლოკები
- ხლეჩადი ნივთიერება.

თითოეული ჯგუფისთვის განხილულია დამუშავების შესაძლო მეთოდები. ამ მეთოდების განხილვისას მხედველობაში არის მიღებული საქართველოში არსებული რეალობა. ამასთანავე შექმნილია დამუშავების ალგორითმი, რომლის საფუძველზეც შემდგომში ჩამოყალიბებულია შესაბამისი საწარმოს დიზაინი. აქვე უნდა აღინიშნოს რომ დამუშავების მეთოდების შეფასებისას გამოყენებულია კომპიუტერული პროგრამა MicroShield, რომლის საშუალებითაც თითოეულ შემთხვევაში ფასდება რადიაციული დაცვის შესაძლებლობები. ითვლებოდა ეფექტური დოზა და სხვადასხვა ექვივალენტური დოზები. დამუშავების მეთოდისთვის აუცილებელ კრიტერიუმად ითვლებოდა კონდიცირებული პაკეტის შესაბამისობა გამოსხივების ნორმებთან.

მეხუთე თავი ეთმობა მომხმარებლისა და ფუნქციონალური სპეციფიკაციების მოთხოვნებს. მომხმარებლის მოთხოვნების სპეციფიკაციები (URS) აღწერს მიზნებს, რომლებიც უნდა იქნას მიღწეული საუკეთესო საინჟინრო, ეროვნული და საერთაშორისო პრაქტიკის მიხედვით, მაგ. ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს ბირთვული უსაფრთხოებისა და დაცულობის პროგრამა - მომხმარებლის მოთხოვნების სპეციფიკაციები აღწერს, რომელი მიზანი უნდა იქნას მიღწეული, მაგრამ არა იმას, თუ როგორ უნდა იქნას ის მიღწეული.

ამ მოთხოვნების (URS) დასაკმაყოფილებლად უნდა დაკონკრეტდეს სხვადასხვა ტექნიკური და მარეგულირებელი მოთხოვნა. ეს მოთხოვნები განსაზღვრულია როგორც „ფუნქციური მოთხოვნების სპეციფიკაციები“ (FRS). ფუნქციური მოთხოვნების სპეციფიკაციები აღწერს იმას, თუ როგორ შესრულდება მომხმარებლის მოთხოვნების სპეციფიკაციები (URS).

მაგალითად:

URS: მომხმარებელს სჭირდება ნარჩენების პაკეტებთან მოპყრობა.

FRS: დამონტაჟებული უნდა იყოს შესაბამისი მოპყრობის აღჭურვილობა, როგორცაა ჩანგლური დამტვირთველი ან ამწე.

ნარჩენების დამუშავების ცენტრისა და საცავის დაგეგმვისთვის საჭირო მონაცემების საფუძვლად, ექსპერტულ ცოდნასთან ერთად გამოყენებული იქნა საერთაშორისოდ აღიარებული და დამტკიცებული ინსტიტუტების არსებული დოკუმენტები, რომლებიც ადაპტირებულია ქართული მოთხოვნების შესაბამისად. ეს სპეციფიკაციები განხილული იქნა როგორც შენახვისთვის, ისე დამუშავების თითოეული მეთოდისთვის. ამავე დროს დავიწყებული არ იქნა კავშირი მომავალი დამარხვის შესაძლებლობასთან.

მეექვსე თავში განხილულია ნარჩენების მახასიათებლები და მათი კავშირი შენახვის და გადამუშავების სივრცეებთან, ანუ განსაზღვრულია გადამუშავების შემდეგი ოპერაციები:

მიწოდება: შემომავალი ნარჩენები შენობაში მოტანილია მიწოდების ზონის გავლით. მიწოდების სივრცე თამაშობს ჩამკეტის როლს, რომელიც უზრუნველყოფს ჰაერის მიმართულ ნაკადს შენობაში.

ტრანსპორტირება: ობიექტის შიგნით ტრანსპორტირება მოხდება სხვადასხვა პლატფორმული ვაგონით ან მაღალი აწევის მქონე პალეტური სატვირთო ტრანსპორტით. აწევა ხორციელდება ზემოხსენებული ხიდური ამწით.

დაჭრა: ლენტიანი ხერხით დაჭრა შეიძლება შედარებით დიდი ზომის ლითონის ნაწილების დაშლის მეთოდად შემდგომი დამუშავებისთვის (დეკონტამინაციისთვის) ან შენახვისთვის, როგორც რადიოაქტიური ნარჩენები. დაჭრა მოხდება ცალკე ყუთში, რომელიც აღჭურვილია ცალკე ვენტილაციისა და ფილტრაციის მოწყობილობით.

ჭავლით დამუშავება/დეკონტამინაცია: აბრაზიული ჭავლი გამოიყენება შედარებით დიდი ზომის მყარი ნარჩენების, განსაკუთრებით ლითონის დეკონტამინაციისთვის. ჭავლით დამუშავების დანადგარი მოწყობილი იქნება ცალკე ყუთში, დამატებითი ვენტილაციითა და ფილტრაციით. თუ გამოიყენება შედარებით დიდი ჭავლით დამუშავების კამერა, პერსონალს მის შიგნით უნდა ეცვას შესაფერისი პირადი დაცვის აღჭურვილობა, განსაკუთრებით რესპირაციული დაცვის აღჭურვილობა, ჰაერის გარედან მიწოდებით.

მეორადი ნარჩენებისა და მეორადი რადიოაქტიური ნარჩენების დახარისხება: ნარჩენების დახარისხება ხდება ცალკე ყუთში (დახარისხების ყუთში ან ხელთათმანის ყუთში).

კომპაქტირება: კასრის შიგნით კომპაქტორი გამოიყენება 200-ლიტრიან კასრებში წვადი და კომპაქტირებადი ნარჩენების კომპაქტირებისთვის. კომპაქტირება ხორციელდება კამერაში, სადაც ჰაერის ნაკადი მიმართულია შიგნით.

შრობა: კასრიანი საშრობი გამოიყენება ზოგიერთი ნარჩენის საშრობად, რომელიც უნდა გაშრეს 200-ლიტრიანი კასრის შიგნით. საშრობი კამერა ჰაერგაუმტარია და შრობისას უზრუნველყოფილია მცირეოდენი წნევა, ჰაერში აქტივობის გაშვების რისკის თავიდან ასაცილებლად.

ცხელი კამერა: ცხელი კამერა, ძირითადად, გამიზნულია მაღალი აქტივობის მქონე გამოყენებდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროების დამუშავებისთვის (მაგ. გადმოტვირთვა და ხელახალი შეფუთვა). ამ მიზნისთვის, ცხელი კამერა აღიჭურვება შესაბამისი მანიპულატორებით. მას უნდა ჰქონდეს რადიაციული დაცვა, რომელიც შეესაბამება გამოსხივების რისკს, მაგ. ყველაზე მაღალი აქტივობის წყაროებს. ოპერირებისას, ცხელი კამერა დახურულია და აქვს ცალკე ვენტილაცია.

გამოყენებდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროების დახარისხება: შემომავალი გამოყენებდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროები გადამუშავდება, რაც გულისხმობს დახარისხებას, ხელახლა შეფუთვასა და შესაძლოა წმენდას გამოყენებიდან ამოღებული დახურული რადიოაქტიური წყაროების ჯიხურში, თუ არ არის მათი ცხელ კამერაში დამუშავების აუცილებლობა. დახარისხების ჯიხური აღიჭურვება დამცავი საშუალებითა და ცალკე ვენტილაციით, რომელიც უზრუნველყოფს შიგნით ჰაერის ნაკადის ცირკულაციას.

ნარჩენი წყლის სისტემა: ნარჩენი წყლის სისტემა გამოიყენება რადიოაქტიური ნარჩენების გადამამუშავებელი საწარმოსა და საცავის სხვადასხვა სივრცეებში წარმოებული წყლის შესაგროვებლად. სისტემის ავზები აღჭურვილია გაჟონვის კონტროლის სისტემით, ან აუზით, რომელიც ახდენს სითხის დაღვრის პრევენციას მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში.

აორთქლება: აორთქლება გამოიყენება თხევადი ნარჩენის მოცულობის შესამცირებლად. წარმოებული კონცენტრატი ინახება კონცენტრატის ავზში,

რომელიც დაცულია ისე, რომ უზრუნველყოფდეს ოპერატორთა დაცვას გამოსხივებისგან.

ცემენტაცია / გრუნტირება: ცემენტაციისას, წყლიანი ნარჩენები 200-ლიტრიან კასრში შეერევა წინასწარ შემოწმებულ ცემენტის ნაზავს, ხოლო გრუნტირება გამოიყენება კაფსულაციისთვის არაკომპაქტირებადი ნარჩენებისა და გამოყენებიდან ამოღებული დახურული წყაროებისთვის.

მახასიათებლების გაზომვა / გაშვება: ეს ტარდება კასრის ინსპექტირების სადგურზე, სადაც ხორციელდება ყველა 200-ლიტრიანი კასრის მონიტორინგი. ის გამოიყენება შენახვისთვის ან/და საბოლოო დამარხვისთვის რადიოაქტიური ნარჩენების დასახასიათებლად, ან აქტივობის გასაზომად თავისუფალი გაშვებისთვის.

ლაბორატორია: გაზომვის რამდენიმე ტექნიკაა გათვალისწინებული სხვადასხვა წარმოშობისა და დანიშნულების ნარჩენების დახასიათებისთვის, მაგ. ნარჩენების დახასიათება, განმუხტული სითხის ან მონიტორინგის სისტემის ნიმუშების გაზომვა. შემდეგი გასაზომი მოწყობილობები უნდა იყოს ადგილზე: გამა სპექტრომეტრი, თხევადი სცინტილაციის მრიცხველი, ანაწმენდი ტესტის მოწყობილობა / აეროზოლის ფილტრები და ობიექტის მონიტორი ყოველდღიურად ძალიან მცირე ზომის საგნების გასაშვებად.

მონიტორი ცხელი საშხაპით: მონიტორი გამოიყენება ადამიანების ზედაპირული კონტამინაციის გასაზომად, როდესაც ისინი ტოვებენ კონტროლირებად სივრცეს. ცხელი საშხაპე წარმოადგენს პირთა დეკონტამინაციის საშუალებას.

სამრეცხაო: სამრეცხაო გამოიყენება კონტროლირებად სივრცეში გამოყენებული კონტამინირებული ტანსაცმლის გასარეცხად. მეორადი ნარჩენები გროვდება და მუშავდება და მოწმდება ტანსაცმლის აქტივობის დონე.

ვენტილაცია / ფილტრაცია: რადიოაქტიური ნარჩენების გადამამუშავებელი საწარმოსა და საცავის მთლიან კონტროლირებად ტერიტორიას ექნება სავენტილაციო სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო სასუნთქ ჰაერს, გაგრილებასა და გათბობას. ხდება გამონაბოლქვი ჰაერის ფილტრაცია (H13 HEPA-ფილტრი) და გარემოში გაშვება გამონაბოლქვის მილით, გაფრქვევის მონიტორინგის შემდეგ. სავენტილაციო სისტემის ყველა ფუნქცია დაექვემდებარება მონიტორინგს. სიგნალი იგზავნება სისტემის გათიშვის შესახებ და ფუნქციის დაკარგვის შემთხვევაში ინიცირებული იქნება განსაკუთრებული ზომები, როგორცაა ყველა ოპერაციის შეჩერება.

სახელოსნო (გადამამუშავებელ საწარმოს შიგნით): სახელოსნო გამოყენებული იქნება მომსახურებისა და შეკეთებისთვის. ის აღჭურვილია ლითონზე სამუშაო სტანდარტული ხელსაწყოებით.

საწყობი: გადამამუშავებელი საწარმოს შიგნით არსებული საწყობი გამოიყენება ყოველდღიურად გამოსაყენებელი მასალების შესანახად და ლაბორატორიის მომსახურებისა და ოპერირებისთვის საჭირო მასალებით.

სარდაფის სივრცე: სარდაფის სივრცე, ძირითადად, მდებარეობს ცენტრალური დერეფნის ქვეშ. ის უზრუნველყოფს წვდომას მილებთან და საკანალიზაციო სისტემასთან და იძლევა პოტენციურად კონტამინირებული წყლის, მაგ. ხანძრის ჩაქრობისგან, შეგროვების შესაძლებლობას. დამატებით, ის იძლევა საწვავის დრენაჟის შესაძლებლობას თვითმფრინავის შეჯახების შემთხვევაში.

აქვე განსაზღვრულია რამოდენიმე ათეული პოსტულირებადი მაიანიცირებელი შემთხვევები, რომელთა საფუძველზეც ჩატარებულია დეტერმინისტული და ალბათური უსაფრთხოების შეფასება. აქვე გათვალისწინებულია აირის დასაშვები გაშვება გარემოში და წყალში. ყველა შემთხვევაში მონაცემები ნორმების ფარგლებშია.

მეშვიდე თავში უსაფრთხოების შეფასებისთვის გამოყენებულია

დეტერმინისტული მიდგომა. აქ გათვლილია დასხივების შემდეგი გზები:

- გარეგანი ექსპოზიცია β -გამოსხივებით გაფრქვევის შლეიფის შიგნით (β -სუბმერსია);
- გარეგანი ექსპოზიცია γ -გამოსხივებით გაფრქვევის შლეიფისგან (γ -სუბმერსია);
- გარეგანი ექსპოზიცია γ -გამოსხივებით გრუნტში შენახული რადიოაქტიური ნაწილაკებისგან (γ -გრუნტის გამოსხივება);
- ექსპოზიცია რადიოაქტიური ნაწილაკების შესუნთქვის გზით მიღებით; და
- ექსპოზიცია რადიოაქტიური ნივთიერების ჩაყლაპვის გზით მიღებით.

ჩატარებული კომპლექსური შეფასების საფუძველზე გაანალიზირებულია მუშაკთა და მოსახლეობის დოზები, რომელთა საფუძველზე საბოლოო კორექტირების შემდგომ მიღებულია საცავისა და გადამამუშავებელი საწარმოს ძირითადი დიზაინი. შესაბამისად, მიღებული სტრუქტურა ნორმალური ოპერირების პირობებში აბსოლუტურად უსაფრთხოდ შეიძლება ჩაითვალოს. აქვე ზოგადად განსაზღვრულია ნარჩენების მიღების საწყისი კრიტერიუმები.

მერვე თავში ალაბათური მიდგომის საფუძველზე გაანალიზებულია სავარაუდო საავარიო სიტუაციები. პოსტულირებადი მაინიცირებელი ეფექტების ანალიზის საფუძველზე დატოვებული შემდეგი საავარიო შემთხვევები:

- ტვირთის ვარდნა
- ხანძარი
- სეისმური შემთხვევა
- თვითმფრინავის დაჯახება

ამასთან უკანასკნელი არ შედის საპროექტო შემთხვევაში, მაგრამ ის მაინც

იქნა განხილული შესაძლო მაქსიმალური ზიანის მიყენების თვალსაზრისით.

ჩამოთვლილიდან პირველის ზეგავლენა მინიმალურია და საერთოდ შეიძლება უგულებელვყოთ. მაქსიმალური ზიანი დაიმზირება ხანძრის დროს (გათვალისწინებულია, რომ დაიწვა ყველფერი, თუმცა დოზური დატვირთვები აქაც დიდი არ არის, რაც უსაფრთხოების მაღალ დონეზე მიუთითებს).

ამრიგად, შეიძლება დავსკვნათ, რომ ჩატარებულმა უსაფრთხოების შეფასებამ ცალსახად დაადასტურა მომავალი გადამამუშავებელი საწარმოს და საცავის მაღალი უსაფრთხოების დონე. გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს, რომ ამ საწარმოთა დიზაინი ზუსტად შეესაბამება საქართველოში არსებული რადიოაქტიური ნარჩენების უსაფრთხო მართვის ამოცანებს.

Abstract

Widespread use of radioactive materials in different technologies and processes facilitates the generation of radioactive waste. Dealing with this waste (considering their harmful influence on people and environment) is quite a pertinent problem. In general waste disposal involves their safe storage, relocation, treatment (as well as gathering, selection-segregation), conditioning and finally burying. The weight of this problem is emphasized by the fact that the disposal of decommissioned radioactive materials is also a part of it, which poses a particularly relevant problem for Georgia. After the dissolution of the Soviet Union a significant amount of decommissioned radioactive materials accumulated in Georgia. Many of them were left without any supervision whatsoever. Their neutralization was carried out in the scope of a series of special operations. (Noteworthy among these were the so called radiothermogenerators, 6 such sources were found and neutralized. In each of them ^{90}Sr with activity of at least 1295 TBq was found.) Currently a lot of decommissioned radioactive sources have accumulated in storage that demands our action. Georgia has "classic" radioactive waste as well. The majority of which were produced during the decommissioning of the nuclear research reactor. It may seem that radioactive waste in Georgia is a relic of the past and no significant amount of waste will be generated going forward, but such a statement is mostly false. Widespread development of industry throughout Georgia causes more and more radioactive materials to be used and waste to be generated. Although according to international guidelines generation of

radioactive waste should be kept to a minimum, we are at the time unable to fully mitigate its growth.

A radioactive waste storage facility and a “Radon” type repository is operated in Georgia. After thorough examination it was concluded that the storage does not satisfy nuclear safety and protection conditions. Additionally, there are some problems regarding the burial. Radioactive waste treatment capabilities of Georgia are very limited: abrasive cleaning machine at the physics institute and waste cementation device at the “radon” type burial (a.k.a. Saakadze Burial). (During the writing of this doctorate a decommissioned radioactive waste repackaging device has become operable at the storage facility). At the same time Georgia radioactive waste treatment strategy for 2017-2031 states bringing all of the radioactive waste facilities together as one of its goals. Clearly such a grand undertaking requires scientific input. The research conducted serves the purpose with following topics covered:

- Site selection for allocation of all radioactive waste management facilities on one site;
- Studying rising activity caused during liquid radioactive waste treatment
- Defining functional and operative requirements specification for storage and processing facilities
- Devising general design of future facilities in cooperation with foreign experts
- Conducting preliminary safety assessment of future facilities and defining provisional criteria for waste generation

Naturally other specialist were involved in dealing with the aforementioned colossal task, e.g. a German organization called DMT, but the significant contribution of the postgraduate student cannot be overstated. It has been taken into consideration that in future we must devise the final design and conduct the final assessment of safety and effect on the environment.

ნაშრომთან დაკავშირებული პუბლიკაციები

1. Giorgadze I., Nabakhtiani G., Kotetishvili K., Chelidze L. Site Selection for Radioactive Waste Management Facilities in Georgia. *Advanced Ecological Research*, 2020, Vol.5 Issue 10, 276-280
2. Nabakhtiani G., Giorgadze I., Ojovan M. IAEA-Assisted Treatment of Liquid Radioactive Waste on Saakadze Site in Georgia. *MDPI*, 2021, special issue *Advances in Liquid Radioactive Wastes Treatment*, V.9, issue 9, Suisse
3. გიორგაძე ი. რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის ახალი საწარმოების ნარჩენების მიღების ზოგადი კრიტერიუმები. *Georgian Engineering News* (slated for publication)

კონფერენცია

1. Nabakhtiani G., Gedevanishvili V., Giorgadze I. Development of National Infrastructure for Radioactive Waste Management in Georgian. International Conference on Radioactive Waste Management, ID-104, Vienna 2021