

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნიკოლოზ ნებიერიძე

ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების  
ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
სადოქტორო პროგრამა: ჰიდროინჟინერია

თბილისი, 0175, საქართველო

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი, ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნიკოლოზ ნებიერიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს სახელწოდებით: **„ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი“** და რეკომენდაციას ვუწევთ დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად მის განხილვას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში.

დისერტაციის ხელმძღვანელი:

პროფ. ლევან კლიმიაშვილი

რეცენზენტი:

პროფ. გურამ სოსელია

რეცენზენტი:

პროფ. მერაბ კანდელაკი

თარიღი: -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**წარდგენილია სადისერტაციო საბჭოში 2017 წელს**

**ნიკოლოზ ნეზირიძის მიერ**

*ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის*

*ამაღლება და კონტროლი*

**სამშენებლო ფაკულტეტზე**

**წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად**

**სხდომა ჩატარდა: 2016 წლის 22 დეკემბერს**

ინდივიდუალურ პირთა ან ინსტიტუტების მიერ გაცნობის მიზნით ზემო მოყვანილი დასახელების დისერტაციის მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და როგორც მთლიანი ნაშრომის, ისევე მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებულ საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა მცირე ზომის ციტატებისა ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

-----  
ავტორის ხელმოწერა

საავტორო უფლება © 2017 წელი, ნეზირიძე ნიკოლოზი

## რეზიუმე

სისტემურ-ლოგიკური კვლევის მეთოდოლოგიის საფუძველზე შემუშავებულია მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისთვის წყლის გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესარჩევად შესატყვის გადაწყვეტილებათა მიღების, მონაცემების დაზუსტებისა და განსახილველ სფეროში დანერგვის ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემები. შესაბამისად, შემუშავებულია სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელ ნაგებობათა კომპლექსებით - რენტაბელობის მახასიათებელი კრიტერიუმების, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ენერგოეფექტურობის, ეკონომიკური დანახარჯების მიზანშეწონილობის შეფასების და მენეჯმენტის პრინციპების გათვალისწინებით. კერძოდ:

- შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის ალგორითმი (ბლოკ-სქემა) შესაბამისი კრიტერიალური მაჩვენებლების (ეკოლოგიური, კლიმატური, ეკონომიკური, ენერგოეფექტურობის) გამოყენებით, რომლებიც ევროპაში მიღებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შერჩევის დადებითი გამოცდილებით გამოირჩევა;
- შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ მონაცემების დაზუსტებისა და გამოყენების სფეროს შესაბამისად დანერგვის შესაძლებლობის ამსახველი ბლოკ-სქემები, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ეკონომიკური დანახარჯების, ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით;
- შემუშავებულია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე. შესაბამისად, მცირე, საშუალო და დი-

დი ქალაქებისთვის წარმოდგენილია გაწმენდის შესაძლო ენერგო-ეფექტური ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების რეკომენდებული კომპლექსებით, რომლებიც ნორმატიული მოთხოვნის ფარგლებში უზრუნველყოფს ჩამდინარი წყლის გაუვნებლების სათანადო ხარისხს.

- ავტორის ხედვით, გადაწყვეტილებათა მიღების ოთხეტაპიანი სტრატეგიის საფუძველზე (გეგმა კეთება შემოწმება ქმედება) მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის შემუშავებულია „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისი მენეჯმენტის ბლოკ-სქემა მათი ენერგო-ეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელების მიზნით.
- რეკომენდებულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ეკოსისტემებით წმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს პირობებში, როგორც ჩამდინარი წყლების გაწმენდის არსებული ტექნოლოგიების შესაძლო ალტერნატივა.

## Summary

Systemic-logical survey based on the methodology developed for small, medium and large cities in waste water treatment plant for water purification “best available technology” for the selection of the decisions making, data specification and discussion in the field of implementation of a logical approach to the block-schemes and in accordance with the full biological treatment technological schemes with complex structures : characteristic criteria of profitability, the environment surrounding the ecological conditions of mutual convenience, efficiency, cost-economic feasibility assessment and management principles. In particular:

- Has been designed to clean up the wastewater treatment plant for the “best available technology” selection algorithm (flowchart) criteria with the use of appropriate indicators (environmental, climatic, economic, energy efficiency), which is distinguished with the positive experience of the best available technology selection in Europe;
- Has been designed to clean up the wastewater treatment plant for the “best available technology” for data specification and scope of the implementation of the possibility of block schemes, adjacent to the ecological environment in terms of convenience, economic costs, energy efficiency indicators in assessing the reasonableness of the principles of;
- Developed a complete biological treatment of wastewater to the modern scientific and technological progress at the level of developed “best technology available” basis. According to small, medium and large cities for the clearing of the possible schemes of energy efficient technological facilities with recommended complexes, which are within the statutory requirement to provide essential wastewater treatment.
- The author’s view of the decision making on the basis of the four-stage strategy (Plan> Do> Check> action) for small, medium and large cities in the sewage treatment plant has been designed with the “best available technology” in accordance with the implementation of management

flowchart their energy efficiency research and implementation of the Program.

- Natural ecosystems recommended wastewater cleansing overseas experience in the application of the conditions of possibility, as a possible alternative to wastewater treatment technology.

## შინაარსი

შესავალი და ნაშრომის საერთო დახასიათება .....	11
<b>თავი 1.</b> ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების მექანიკური და ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლო პრინციპული სქემა .....	14
<b>თავი 2.</b> ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დახასიათება „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად .....	21
<b>თავი 3.</b> ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად მიმართული ტექნოლოგიური მიდგომების, მეთოდების, ხერხების და ღონისძიებების აღწერა „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად .....	32
3.1. ფიზიკურ-მექანიკური დამუშავების არარეაგენტული მეთოდები .....	32
3.2. წყლის გაწმენდის ფლოტაციის მეთოდები .....	36
3.3. ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები .....	38
3.4. გაწმენდის რეგენერაციული მეთოდები .....	39
3.5. მემბრანული მეთოდები .....	40
3.6. ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დესტრუქციული მეთოდები .....	42
3.7. ჟანგვა-აღდგენითი მეთოდები .....	45
3.8. ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდა .....	48
3.9. შეწონილი ნივთიერებებისგან გაწმენდა .....	52
<b>თავი 4.</b> მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის სრული ბიოლოგიური გაწმენდა „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე .....	56
4.1. ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ეკოსისტემებით გაწმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილება .....	65
4.2. ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჭარბტენიანი ეკოსისტემებით გაწმენდა .....	73
4.3. ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელების აგება .....	83
შედეგები და მათი განსჯა .....	91
დასკვნა .....	95
გამოყენებული ლიტერატურა .....	97-102



## ცხრილების ნუსხა:

- ცხრილი 1.** მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შედეგები საზღვარგარეთის (რუსეთის) რეალურად მოქმედ სადგურებში .....49
- ცხრილი 2.** ჩამდინარი (საკანალიზაციო) წყლის ზოგადი შედგენილობა...65
- ცხრილი 3.** ქალაქის დასახლებული ადგილის ჩამდინარი წყლების გაწმენდა .....66
- ცხრილი 4.** მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ზოგიერთი დამაბინძურებლის მოცილების მექანიზმი .....72
- ცხრილი 5.** სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში .....78
- ცხრილი 6.** შედგენილი დესკრიფციული მოდელები, აგებული საქართველოს პირობებისთვის ჩამდინარი წყლების ზედაპირულ წყლებში ჩაშვებაზე ევროსაბჭოს დირექტივის შესაბამისად (ევროსაბჭოს 91/271/ EEC დირექტივის შესაბამისად) ..... 80

## ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ შერჩევის გადაწყვეტილებათა მიღების ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემა .....	13
ნახ.2. ბლოკ-სქემა - ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შესახებ მონაცემები „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ დასაწერად .....	14
ნახ.3. ბლოკ-სქემა - „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ ეკონომიკური სარგებლიანობის ეფექტურობის მახასიათებელი ძირითადი პრინციპები.....	15
ნახ.4. მცირე დასახლებების საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობების ტექნოლოგიური სქემა .....	50
ნახ.5. საშუალო ქალაქების საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობების ტექნოლოგიური სქემა .....	50
ნახ.6. დიდი ქალაქების საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობების ტექნოლოგიური სქემა .....	51
ნახ.7. მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლისსაწმენდი სადგურისათვის „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად მენეჯმენტის განხორციელების ბლოკ-სქემა მათი ენერგო-ეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელებით .....	53
ნახ.8. ბუნებრივი საწმენდი სისტემა - მიწის დაფენის მეთოდები.....	66
ნახ.9. მდგრადი აუზის ტიპები .....	67
ნახ.10. თავისუფალი წყლის ზედაპირის ჭაობი .....	68
ნახ.11. ჰორიზონტალური მიწისქვეშა ჭაობის სქემატური ილუსტრაცია ...	69
ნახ.12. ვერტიკალური ნაკადის ხელოვნური ჭაობის სქემა .....	70

## შესავალი

### ნაშრომის საერთო დახასიათება

**ნაშრომის აქტუალურობა.** დღევანდელი მდგომარეობით, ქვეყნის ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების ნორმატიული მოთხოვნების შესაბამისად, ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში წყლის გაწმენდა (გაუვნებლება) და ისე ჩაშვება წყალსატევებში (მდინარეებში, ტბებში და ა.შ.) უდიდესი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობის ამოცანაა. ამასთან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჩამდინარი წყლები შედგენილობის მიხედვით მკვეთრად ცვალებადობს, საკითხი დგება, საწმენდ სადგურებში მათი გაუვნებლებისთვის გამოყენებულ იქნას თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიურ დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები“. ამ მოტივით მნიშვნელოვანი პრობლემაა ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი თანამედროვე ტექნიკურ-ტექნოლოგიური მიღწევების შედეგების შესაბამისად, როგორც ფიზიკურ-მექანიკური გაწმენდის ურეაგენტო მეთოდების, ასევე ფიზიკურ-ქიმიური სრული ბიოლოგიური გაწმენდის მეთოდების მიხედვით.

აღნიშნულ კონტექსტში წინამდებარე დისერტაცია: „ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი“ ქმედით აქტუალობას იძენს და აქვს როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული ღირებულება.

**სამუშაოს მიზანი და კვლევის ამოცანები.** მიზნის მისაღწევად გამოყენებული იქნება ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მეთოდების მიხედვით შემუშავებული თანამედროვე „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები“. გამოყენების ეფექტურობის კვლევის სისტემურ-ლოგიკური მიდგომა (ГОСТ Р 54097-2010 „რესურსდაზოგვა. სუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები. იდენტიფიკაციის მეთოდოლოგია“), რომელიც შერჩეული საწმენდი კომპლექსის ქმედების მაღალი ენერგოეფექტურობით ხასიათდება. შესაბამისად, სისტემურ-ლოგიკური მეთოდოლოგიის გამოყენებით გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები, კერძოდ:

- შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის ალგორითმი (ბლოკ-სქემა) შესაბამისი კრიტერიალური მაჩვენებლების (ეკოლოგიური, კლიმატური, ეკონომიკური, ენერგოეფექტურობის) გამოყენებით, რომლებიც ევროპაში მიღებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შერჩევის დადებითი გამოცდილებით გამოირჩევა;
- შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ მონაცემების დაზუსტებისა და გამოყენების სფეროს შესაბამისად დანერგვის შესაძლებლობის ამსახველი ბლოკ-სქემები, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ეკონომიკური დანახარჯების, ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით;
- განხილულია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე. შესაბამისად, მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქებისთვის წარმოდგენილია გაწმენდის შესაძლო ენერგოეფექტური ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების რეკომენდებული კომპლექსებით, რომლებიც ნორმატიული მოთხოვნის ფარგლებში უზრუნველყოფს ჩამდინარი წყლის გაუვნებლების სათანადო ხარისხს.
- მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის გადაწყვეტილებათა მიღების ოთხეტაპიანი სტრატეგის საფუძველზე (გეგმა>კეთება>შემოწმება>ქმედება) შემუშავებულია „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისი მენეჯმენტის ბლოკ-სქემა მათი ენერგოეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელების მიზნით.
- რეკომენდებულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჭარბტენიანი ეკოსისტემებით წმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს პირობებში, როგორც ჩამ-

დინარი წყლების გაწმენდის არსებული ტექნოლოგიების შესაძლო ალტერნატივა.

- შედგენილია დესკრიფციული მოდელები, რომლებიც აგებულია საქართველოს პირობებში ჩამდინარი წყლების ზედაპირულ წყლებში ჩაშვებისათვის ევროსაბჭოს 91/271/ EEC დირექტივის შესაბამისად.

**მეცნიერული სიახლე.** სისტემურ-ლოგიკური კვლევის მეთოდოლოგიის საფუძველზე შემუშავებულია მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისთვის წყლის გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესარჩევად შესატყვის გადაწყვეტილებათა მიღების, მონაცემების დაზუსტებისა და განსახილველ სფეროში დანერგვის ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემები. შესაბამისად, შემუშავებულია სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების კომპლექსებით: რენტაბელობის მახასიათებელი კრიტერიუმების, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ენერგოეფექტურობის, ეკონომიკური დანახარჯების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით.

**კვლევის პერსპექტიული ობიექტები:** საქართველოს მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურები.

**კვლევის მეთოდი.** სისტემურ-ლოგიკური კვლევის მეთოდოლოგია, ანალიზისა და სინთეზის, როგორც გადაწყვეტილებათა მიღების ინსტრუმენტული საშუალება, ინდუქციისა და დედუქციის მეთოდები.

**სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია.** მიღებული შედეგები შეიძლება პერსპექტივაში რეალიზებულ იქნას საქართველოს ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლის საწმენდ სადგურებში მათი ეფექტური ფუნქციონირების უზრუნველყოფის მიზნით.

**სამუშაოს აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები 2016 წლის 2 სექტემბერს მოხსენებულ იქნა ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გამართულ საერთაშორისო კონფერენციაზე.

**სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, საერთო დახასიათების, ოთხი თავის, 93 დასახელების ლიტერატურული წყაროსა და დასკვნისაგან. ძირითადი ტექსტი 102 კომპიუტერული ნაბეჭდი გვერდია, მათ შორის 12 ნახაზი და 6 ცხრილია.

## თავი 1

### ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების მექანიკური და ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლო პრიციპული სქემა

ქალაქებსა და დასახლებულ ადგილებში ჩამდინარი-საყოფაცხოვრებო წყლები მიიღება საცხოვრებელი, ადმინისტრაციული, კომუნალური და აგრეთვე, სამრეწველო საწარმოების საყოფაცხოვრებო შენობებიდან. წყალარინების (კანალიზაციის) სისტემის დანიშნულებაა შენობა-ნაგებობების სანიტარულიმოწყობილობებიდან მიიღოს ჩამდინარი წყლები და თვითდენითი (უდაწნეო) გარე ქსელით გაიყვანოს დასახლებული ადგილის გარეთ გასაწმენდად, შემდეგ ეს წყლები გააუვნებლოს საწმენდ სადგურში ნორმატივების შესაბამისად ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში და ისე ჩაუშვას წყალსატევში [1].

ქვემოთ განხილულია ქალაქების და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი-ფეკალური წყლების თავისებურებანი შედგენილობის მიხედვით და შესაბამისად - მექანიკური და ბიოლოგიური გაწმენდის გამოყენების მეთოდები.

როგორც ცნობილია [2], ჩამდინარი საყოფაცხოვრებო წყლები შედგება მინერალური და ორგანული წარმოშობის მინარევებისაგან. როგორც პირველი, ისე მეორე იმყოფება გაუხსნელ, გახსნილ და კოლოიდურ მდგომარეობაში. გაუხსნელი მინარევების ნაწილს, რომელთა დაკავება ხდება ქალაქის ფილტრით ანალიზის დროს, უწოდებენ შეწონილ ნივთიერებებს. ამათგან ყველაზე დიდ სანიტარიულ საფრთხეს ორგანული წარმოშობის მინარევები წარმოადგენს.

ჩამდინარ-საყოფაცხოვრებო წყლებში ორგანული წარმოშობის შეწონილ ნივთიერებათა შემცველობა საშუალოდ არის 100-300 მგ/ლ. ორგანული მინარევების შემცველობა, რომლებიც გახსნილ მდგომარეობაშია, ფასდება ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილებისა (ჟბმ) და ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილების (ჟქმ) მაჩვენებლების მიხედვით. საყოფაცხოვრებო ჩამდინარ-ფეკალურ წყლებში აღინიშნება  $\text{ჟბმ} = 100 - 400 \text{ მგ/ლ}$ , ხოლო  $\text{ჟქმ} =$

150-600 მგ/ლ ფარგლებში, და ისინი შეიძლება შეფასდეს, როგორც უაღრესად დაბინძურებული [2].

ნორმატივების მიხედვით ცნობილია, რომ ჩამდინარი წყლები (როგორც საყოფაცხოვრებო, ისე ზედაპირული) წყალსატევში ჩაშვებამდე აუცილებლად უნდა გაიწმინდოს ამა თუ იმ დამაბინძურებელი ნივთიერების მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში. ამასთან, გაწმენდილი ჩამდინარი წყლების კონტროლს ახორციელებენ და ამტკიცებენ სახელმწიფო ზედამხედველობის ორგანოები და სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სადგური.

ნებისმიერი დასახლებული პუნქტის საწმენდი სადგურებისთვის დადგენილია ჩამდინარი წყლების ხარისხის კონტროლის ნორმატივები წყალსატევებში ჩაშვებამდე. ამასთან, ქალაქის ან დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობები იღებენ საყოფაცხოვრებო-ფეკალურ წყლებს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გარკვეული კონცენტრაციით, რომელთა გასაუვნებლად საჭირო იქნება ჩამდინარი წყლების ეფექტური გაწმენდის პრინციპული სქემის შემუშავება სათანადო მოწყობილობა-ნაგებობების კომპლექტაციით.

ქალაქის და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლები ფორმირდება იქ განთავსებული ზოგიერთი სამრეწველო საწარმოს საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო წყლებისა და სხვა სახის ჩანადენისაგან, რომელთა შედგენილობა და დაბინძურება, როგორც აღვნიშნეთ, მკვეთრად ცვალებადობს. საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო წყლებს მიეკუთვნება ფორმირებული ჩამდინარი წყლები საცხოვრებელი ბინებიდან, საავადმყოფოებიდან, სკოლებიდან, სასტუმროებიდან და სხვა ადგილებიდან, სადაც ცხოვრობს და მოღვაწეობს ხალხი, წყალისამრეცხაოებიდან, აბანოებიდან, სასადილოებიდან და სხვა კომუნალური დაწესებულებებიდან. თითოეული ადამიანისაგან დღე-ღამეში ქალაქის წყალარინების სისტემაში (კანალიზაციაში) მუდმივად საშუალოდ ჩაედინება სიბინძურის მუდმივი რაოდენობა (მგ/ლ):

შეწონილი ნივთიერებები.....	65
გაღიავებული სითხის ჟბმ <sub>5</sub> .....	35
გაღიავებული სითხის ჟბმ <sub>20</sub> .....	40
ამონიუმის მარილების აზოტი, N.....	8

ფოსფატები, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	1,7
ქლორიდები, Cl .....	9.

აღსანიშნავია, რომ სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო სახის ჩამდინარი წყლები სამრეწველო მინარევების გარეშე დღეს პრაქტიკულად არ არსებობს. გამონაკლისია ზოგიერთი საკურორტო დაბის ჩამდინარი წყლები, მაგრამ მასაც უერთდება ავტოფარეხებიდან მიღებული წყლები, რომლებიც შეიცავენ ნავთობპროდუქტებს და სხვა სახის სიბინძურეს, რაც ტიპური და დამახასიათებელია საწარმოო ჩამდინარი წყლებისათვის.

საყოფაცხოვრებო წყლების, და აქედან გამომდინარე, ქალაქის ჩამდინარი წყლების თავისებურება ისაა, რომ ისინი შეიცავენ მრავალ მიკროორგანიზმს, მათ შორის, პათოგენურ ბაქტერიებს, ნაწლავური ინფექციების გამომწვევებს. ბაქტერიები წარმოადგენენ საყოფაცხოვრებო-ჩამდინარი წყლების ორგანულ ნივთიერებათა მნიშვნელოვან ნაწილს. 1 მლ ჩამდინარ სითხეში მილიონობით და ათობით მილიონი ბაქტერიაა. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები ასევე შეიცავენ დიდი რაოდენობით ჰელმინთების კვერცხებს.

მრავალი მონაცემი ცხადყოფს, რომ უხეში დისპერსიული ნივთიერებები დაბინძურების საერთო მასის 35,4%-ს შეადგენენ, კოლოიდები - 14.3%-ს, ხსნადი ნივთიერებები - 50.3%-ს. ჩამდინარი წყლები შეიცავენ ორგანული ნივთიერებების 53,7%-ს, მინერალურის - 46.3%-ს. მიჩნეულია, რომ საყოფაცხოვრებო-ჩამდინარ წყლებში ორგანული ნივთიერებები შეადგენენ 58%-ს, ხოლო მინერალური - 42%-ს [2].

ქალაქის და დასახლებული ადგილების ტიპის ჩამდინარი წყლების გაწმენდა გულისხმობს სხვადასხვა მეთოდების ერთობლიობას, რომლებიც თანმიმდევრულად ასუფთავებენ წყალს მსხვილი მინარევებისგან (ქალაქი, ქსოვილი და სამზარეულო ნარჩენები და სხვ.), მძიმე მინარევებისაგან (ქვიშა, წიდა), კოლოიდური და ხსნადი ორგანული დამაბინძურებლებისაგან და აუსნებოვნებენ მას პათოგენური მიკროფლორისგან.

დაბინძურება, რომლისგანაც წყალი თანამიმდევრულად იწმინდება, გროვდება სქელი სუსპენზიის (ჩამდინარი წყლების ნალექის) სახით და ასევე ექვემდებარება გადამუშავებას, რომლის მიზანია ნალექის გაუსნებოვნება სა-ნიტარიული და ეპიდემიოლოგიური კუთხით. სპეციალური გადამუშავების შემდეგ ნალექის გამოყენება შეიძლება სოფლის მეურნეობაში სასუქის სახით,



ან შეიძლება მოხდეს მისი უტილიზაცია სხვა ნებისმიერი საშუალებით. ყველაზე მიზანშეწონილად შეიძლება ჩაითვალოს განეიტრალებული ნალექის გამოყენება სოფლის მეურნეობაში - ეს უზრუნველყოფს ბუნებაში ნივთიერებათა შეკრული მიმოქცევის ციკლს, რითაც ბიოსფეროში ნარჩუნდება საერთო ბალანსი.

ჩამდინარი წყლების საწმენდ ნაგებობათა მთელი კომპლექსი შეიძლება ხუთ ჯგუფად დაიყოს [3], ესენია:

- 1) მექანიკური გაწმენდა;
- 2) ბიოლოგიური გაწმენდა;
- 3) წყლის დამატებით გაწმენდა;
- 4) წყლის დეზინფექცია;
- 5) ნალექის დამუშავება.

ქალაქის და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლები შეიცავენ დიდი ოდენობით უხსნადი და ნაკლებად ხსნადი ნივთიერებების ნაწილაკებს, რომელთა სიდიდე აღემატება 0,1 მკმ-ს. ისინი წყალთან ერთად ქმნიან დისპერსიულ სისტემებს - სუსპენზიას და ემულსიებს. ასეთი სისტემები კინეტიკურად არასტაბილურია და გარკვეულ პირობებში შეიძლება განადგურდეს - ნალექად გამოიყოს ან წყლის ზედაპირზე ამოტივტივდეს.

მექანიკური გაწმენდა ნიშნავს ჩამდინარი წყლებიდან არსებული გაუხსნელი უხეშდისპერსიული მინარევების გამოყოფას, რომლებსაც მინერალური და ორგანული ბუნება აქვთ. ამისათვის იყენებენ შემდეგ მეთოდებს:

- **დაწურვას** - განსაკუთრებით მსხვილი დაბინძურების და ნაწილობრივ შეწონილ ნივთიერებათა დაკავებას ცხაურებსა და საცრებზე;
- **დალექვას** - ჩამდინარი წყლებიდან შეწონილი ნივთიერებების გამოყოფას ქვიშადამჭერზე სიმძიმის ძალის ზემოქმედებით (მინერალური მინარევების გამოსაყოფად), სალექარში (უფრო წვრილი დალექილი და ამოტივტივებული მინარევების შესაჩერებლად), ასევე, ნავთობსაჭერებით, ცხიმ- და ფისდამჭერებით. ამ მეთოდის ნაირსახეობას წარმოადგენს ცენტრიდანული დალექვა, რომელიც გამოიყენება ჰიდროციკლონებსა და ცენტრიფუგებში;
- **ფილტრაციას** - ძალიან წვრილი სუსპენზიის დაკავებას შეწონილ მდგომარეობაში ბადისებრ და მარცვლოვან ფილტრებში.

სამრეწველო ჩამდინარი წყლების არათანაბარი წარმოქმნის შემთხვევაში საწმენდ ნაგებობებზე მიწოდებამდე მათ ასაშუალებენ კონცენტრაციის მიხედვით სხვადასხვა კონსტრუქციის გამასაშუალებელში.

დალექვის მეთოდი ნალექის დუღილთან ერთად გამოიყენება კომბინირებულ ნაგებობებში მცირე რაოდენობის ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად - სეპტიკებში, ორსართულიან სალექარში და გამდიავებელ დამლპობში. ამჟამად მექანიკური გაწმენდა, როგორც დამოუკიდებელი მეთოდი, იშვიათად გამოიყენება. ასეთი შესაძლებლობა არსებობს, თუ მხოლოდ მექანიკური გაწმენდის გამოყენებისას, წყალსატევში ჩაშვების პირობებიდან გამომდინარე, ხერხდება წყლის საჭირო ხარისხის უზრუნველყოფა (სამრეწველო ჩამდინარი წყლებისათვის - ხელახლა დაბრუნება ტექნოლოგიურ პროცესში).

მექანიკური გაწმენდა ძირითადად გამოიყენება, როგორც წინასწარი ეტაპი ბიოლოგიური გაწმენდის წინ ან როგორც ჩამდინარი წყლის დამატებითი წმენდა.

ბიოლოგიური გაწმენდის პროცესი ეყრდნობა მიკროორგანიზმების უნარს, საკვებად გამოიყენონ ჩამდინარ წყლებში გახსნილი ორგანული ნივთიერებები. ორგანული ნივთიერებების ნაწილი გარდაიქმნება წყალში, ნახშირის დიოქსიდში, ნიტრიტ- და სულფატ-იონებში, ნაწილი კი მიდის ბიომასის შესაქმნელად.

ბიოლოგიური საწმენდი საშუალებები პირობითად შეიძლება დაიყოს 2 ტიპად:

- იმ პირობებში გაწმენდით, რომლებიც ბუნებრივთანაა ახლოს;
- ხელოვნურად შექმნილ პირობებში გაწმენდით.

პირველ ტიპს მიეკუთვნება ფილტრაციის და სარწყავი მინდვრები (მიწის ნაკვეთები, რომლებშიც გაწმენდა მიმდინარეობს ფილტრაციის ხარჯზე გრუნტის ფენის მეშვეობით), ასევე, ბიოლოგიური ტბორები (მცირე სიღრმის წყალსატევები, სადაც მიმდინარეობს გაწმენდა, ეყრდნობა წყალსატევების თვითგაწმენდას).

მეორე ტიპს შეადგენენ ისეთი ნაგებობები, როგორებიცაა: ბიოფილტრები და აეროტენკები. აღნიშნულ ნაშრომში განიხილება ბიოლოგიური ფილტრები. ბიოფილტრი წარმოადგენს რეზერვუარს გამფილტრავი მასალით,

რომლის ზედაპირი დაფარულია ბიოლოგიური აპკით (მიკროორგანიზმების კოლონია, რომელსაც შეუძლია ჩამდინარი წყლებიდან ორგანული ნივთიერებების სორბირება და დაჟანგვა).

ბიოლოგიური გაწმენდა წარმოადგენს ქალაქის და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების დამუშავების ძირითად მეთოდს. ამასთან, არსებობს ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის აერობული და ანაერობული მეთოდები. აერობული წმენდის დროს ხდება მიკროორგანიზმების კულტივირება აქტიურ შლამსა და ბიოაპკში.

ბიოაპკი იზრდება ბიოფილტრის შემკვებზე და აქვს ლორწოვანი წარმონაქმნის ფორმა, რომლის სისქეა 1-2 მმ. ბიოაპკის სახეობრივი შედგენილობა უფრო მრავალფეროვანია, ვიდრე აქტიური შლამისა. ბიოაპკი შედგება ბაქტერიების, სოკოების, საფუარის, მწერების მატლების, ჭიების და სხვა ორგანიზმებისაგან.

ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიურ სქემაში იყენებენ აგრეთვე მეორად სალექარს, რომელიც განთავსებულია ბიოლოგიური საწმენდი სადგურის შემდეგ ხელოვნურად შექმნილ პირობებში (აეროტენკები, ბიოფილტრები, საცირკულაციო ჟანგვითი არხები, ბიოტენკები და სხვ.) და ემსახურება აქტიური შლამის ან მკვდარი ბიოაპკის გამოყოფას გაწმენდილი ჩამდინარი წყლიდან.

მეორად სალექარში გაწმენდის (გალიავების) ეფექტურობა განსაზღვრავს წყლის გაწმენდის საერთო ეფექტს და ბიოლოგიური გაწმენდის საწმენდი ნაგებობების მთელი კომპლექსის ეფექტურობას.

ვერტიკალური სალექარის უპირატესობად მიჩნეულია დალექილი ლამის მარტივი მოშორება, ხოლო ბიოაპკისა - ჰიდროსტატიკური წნევის ქვეშ, მათი განთავსების კომპაქტურობა და მარტივი კონსტრუქცია. უარყოფითი მხარეებია - დიდი სიღრმე და ანაერობული პროცესების განვითარება დალექილ აქტიურ შლამში. აღნიშნული სალექარის უარყოფითი მხარეა აგრეთვე საფხეკი მექანიზმების ექსპლუატაციის სირთულე.

არსებობს რადიალური სალექარის მოდიფიკაციები, რომლებშიც გამოიყენება დაბალგრადიენტული შერევის პრინციპი და გაუმჯობესებული ლამის შემწოვი, რაც საშუალებას აძლევს შეწონილ ნივთიერებათა შემცველობის შემცირებას და გალიავებულ წყალში ბიოაპკის კონცენტრაციის გაზრდას.

ჩამდინარი წყლების დამუშავების ბოლო ეტაპზე ხდება წყლის ქლორითან ქლორის შემცველი რეაგენტებით გაუსნებოვნება - დეზინფექცია - წყლიდან პათოგენური და სხვა მიკროორგანიზმებისა და ვირუსების მოცილება. ქლორაგენტებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ძირითადად თხევადი ქლორი, ქლორის კირი, ჰიპოქლორიდები, ქლორის დიოქსიდი. ქლორის წყალში ხსნადობა დამოკიდებულია ტემპერატურასა და წნევაზე. ატმოსფერული წნევის და 14°C ტემპერატურის დროს 1 ლ-ში იხსნება დაახლოებით 3 ლ გაზისებრი ქლორი (9,65 გ). ქლორისებრ მჟავას აქვს დიდი ბაქტერიოციდული ეფექტი, რის გამოც ქლორი მჟავა გარემოში უფრო ეფექტურია, ვიდრე ტუტეში.

ამრიგად, განხილული იყო ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების მექანიკური და ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლო პრინციპული სქემა, გამომდინარე ჩამდინარი წყლების საწყისი დაბინძურებისა და კონცენტრაციისგან. კომპლექსში მექანიკურ გაწმენდასთან ერთად შემოთავაზებულია ბიოლოგიური საწმენდი ნაგებობების ბიოფილტრისა და მეორადი სალექარის გამოყენება შესაბამის სადეზინფექციო კვანძთან ერთად, რომელიც ხასიათდება გაწმენდის მაღალი ეფექტურობითა (89%) და ნაკლები ენერგოდანახარჯებით.

## თავი 2

### ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დახასიათება „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად

სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავში მოყვანილია ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დახასიათება „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად. ამავე დროს, აღსანიშნავია, რომ „საუკეთესო დასაშვები ტექნოლოგიის“ არსი შეესაბამება ГОСТ P 54097-2010-ის ძირითად მიზანდასახულობას - რესურსდაზოგვა. საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიები. იდენტიფიკაციის ტექნოლოგია“.

შესაბამისად, ამა თუ იმ კონკრეტული საწმენდი სადგურისთვის შემუშავებულია ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის ალგორითმი (ბლოკ-სქემა) სათანადო კრიტერიულური მაჩვენებლების (ეკოლოგიური, კლიმატური, ეკონომიკური, ენერგოეფექტურობის) გამოყენებით. ეს მაჩვენებლები ეყრდნობა ლიტერატურულ წყაროებში აღწერილ ევროპაში მიღებულ „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შერჩევის დადებით გამოცდილებას, სამეცნიერო-კვლევის შედეგების ანალიზს და დარგის გამოცდილი ექსპერტ-სპეციალისტების კონსულტაციებს (ნახ. 1). 1-ლ ნახ-ზე მოყვანილი ბლოკ-სქემა კონკრეტულად აღებული ჩამდინარი წყლების საწმენდი სადგურისთვის ითვალისწინებს შემდეგ კრიტერიუმებს:

- საერთაშორისო ხელშეკრულებით მიღებულ ტექნიკურ ხერხებს გაწმენდილი წყლის წყალსატევში (მდინარე, ტბა და ა.შ.) ჩაშვებამდე;
- ჩამდინარი წყლების მოცულობებისა და შედგენილობის მიხედვით ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების ფარგლებში გაწმენდის პროცესის დაგეგმვას მისაღები ეკონომიკური დანახარჯებისა და ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიხედვით, „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ უზრუნველსაყოფად. ამასთან, ჩამდინარი წყლების გაწმენდის რიგ ვარიანტებს შორის უნდა შეირჩეს ისეთი ალტერნატიული გადაწყვეტილება, რომელიც ნაკლებნეგატიურ გავლენას მოახდენს გარემოზე (აქ უმთავრესია ჰიდროსფეროზე ზემოქმედება გაწმენდილი წყლის წყალსატევებში ჩაშვებისას) და

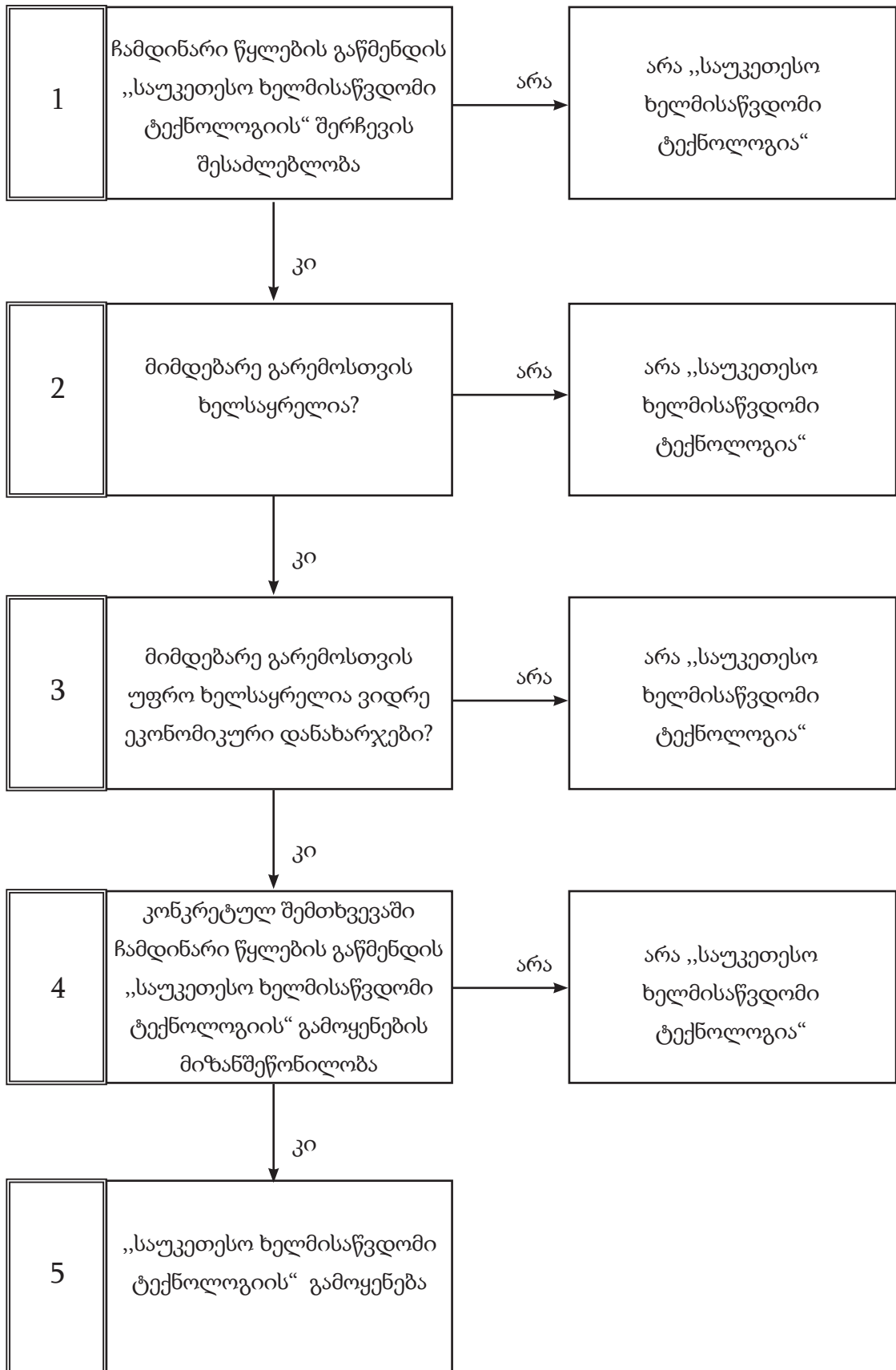
მოსალოდნელი ფინანსური დანახარჯები ტექნიკურ მოწყობილობებზე გაწმენდის პროცესის მაღალი ენერგოეფექტურობის მისაღებად იქნება ეკონომიური.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შესახებ მონაცემების ფორმირების ბლოკ-სქემა (ნახ.2) მოიცავს ყველა იმ პირობის შესახებ ინფორმაციის (ჩამდინარი წყლების მოცულობები და შედგენილობა ნივთიერებების მიხედვით, დამაბინძურებელი ნივთიერებების წყალსატევში ჩაშვების პირობები და ა.შ.) გათვალისწინებას, აგრეთვე, ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მეთოდს, ჩამდინარე წყლების ხელმეორედ გამოყენების შესაძლებლობას და სხვ., რომლებიც საჭიროა „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ უზრუნველსაყოფად.

იმისათვის, რომ დადგინდეს, თუ რა ღონისძიებებს უნდა მიენიჭოს უპირატესობა სასურველი ეკოლოგიური მიზნის მისაღწევად, საჭიროა ჩატარებულ იქნას დანახარჯების ეფექტურობის ანალიზი კონკრეტული საწმენდი სადგურისთვის, ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ მონაცემების დაზუსტებისა და გამოყენების სფეროს შესაბამისად დანერგვის შესაძლებლობის ამსახველი ბლოკ-სქემის თანახმად (ნახ. 3) ისე, რომ გათვალისწინებულ იქნას მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ეკონომიკური დანახარჯებისა და ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპები.

აღსანიშნავია, რომ „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ უზრუნველსაყოფად ჩამდინარი წყლების კონკრეტული საწმენდი სადგურის პირობებში საჭირო იქნება თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური მიღწევების გამოყენება არსებული ლიტერატურული წყაროების მიხედვით [7-88]. ასევე გასათვალისწინებელია ეკონომიკური დანახარჯებისა და ეკოლოგიური პირობების კრიტერიალური შეფასებები, რომლებიც საფუძვლად დაედება სპეციალისტების მიერ ფორმირებულ ექსპერტული შეფასებების გადაწყვეტილების მიღებას მაღალი ენერგოეფექტურობის შესაბამისად. 1-ლ, მე-2 და მე-3 ნახ-ებზე მოყვანილი და აღწერილია „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიის“ მახასიათებელი ბლოკ-სქემები მათი შერჩევის, დაზუსტებისა და დანერგვის პროცედურული ეტაპების გათვალისწინებით:

ტექნოლოგიური საჭიროებებისთვის მსხვილი სამრეწველო საწარმოები იყენებენ როგორც ზედაპირული წყაროებისა და არტეზიული ჭაბუ-



**ნახ.1.** ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის გადაწყვეტილებათა მიღების ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემა

**საერთო მონაცემები ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესახებ:**

- საწმენდი ობიექტების რაოდენობა და ტერიტორიული განაწილება;
- ეკონომიკურობის მაჩვენებელი;
- გასაწმენდი ჩამდინარი წყლების შესახებ მონაცემები;
- გასაწმენდი ჩამდინარი წყლების მოცულობები;
- ძირითადი ეკოლოგიური პრობლემები და ა.შ .

**ჩამდინარი წყლების „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიიდან“ გამომდინარე:**

- ჩამდინარი წყლების ხარისხი;
- გაუწმენდავი ჩამდინარი წყლების მოცულობები;
- თანმდევი ეკოლოგიური გარემოს პრობლემები და ა.შ.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდაში გამოყენებული ტექნოლოგიური პროცესის შესახებ მონაცემები და შესაძლო „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევა

ჩამდინარი წყლების შესახებ მონაცემების დამუშავება და „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად მისაღწევი ხარისხი

**პრიორიტეტული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ რეკომენდირება, რომელიც:**

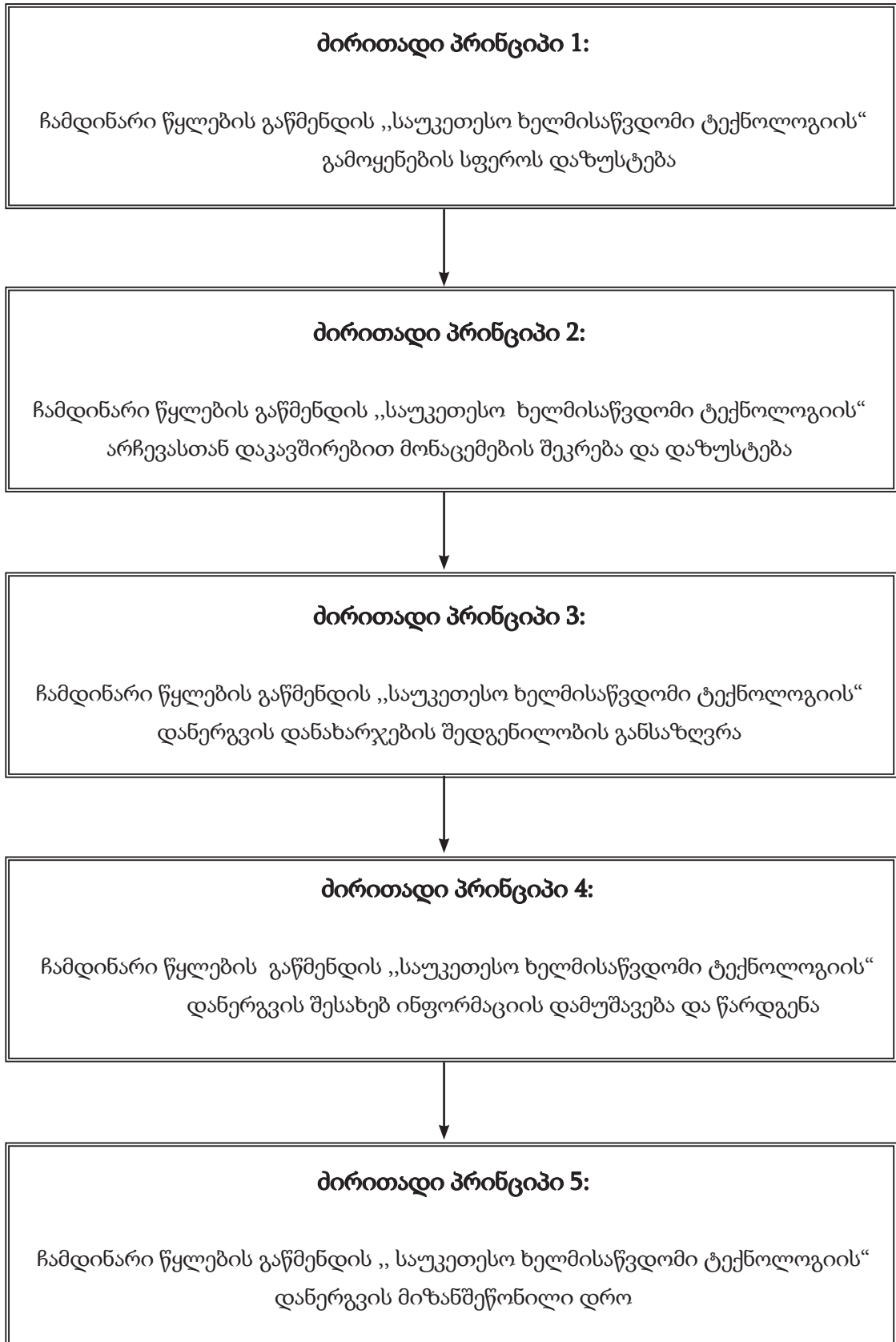
- ჩამდინარი წყლების შემცირებას უზრუნველყოფს წყალსატევში (მდინარე, ტბა და ა.შ.) ჩაშვებამდე;
- უზრუნველყოფს გასაწმენდ წყალში არსებული დააბინძურების შემცირებას ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში;
- უზრუნველყოფს მიმდებარე გარემოზე მინიმალურ ზემოქმედებას (სუნი,ფერი და ა.შ);
- უზრუნველყოფს მოხმარებული რესურსისა და ენერგოეფექტურობის (ელ. მოხმარება, რეაგენტი და ა.შ) მაღალ მაჩვენებელს

**ჩამდინარი წყლების გაწმენდისათვის შერჩეული ტექნოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა, რომლის დროსაც მიიღწევა გაწმენდის მაღალი ხარისხი, ენერგოეფექტურობა და მისაღები ეკოლოგიური გარემო:**

- მიმდებარე ეკოლოგიურ გარემოზე უარყოფითი ზეგავლენის შემცირება;
- შესაბამისი ტექნიკური მახასიათებელი;
- მიღებადობა;
- დანახარჯები დანერგვაზე;
- დანერგვის განმაპირობებელი ძირითადი მიზეზები.

**ნახ. 2.** ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შესახებ მონაცემები „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ დასაწერად





**ნახ. 3.** „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ ეკონომიკური სარგებლიანობის ეფექტურობის მახასიათებელი ძირითადი პრინციპები

რღილებს, ასევე მათ საწმენდ ნაგებობებში გაწმენდილ ჩამდინარ წყლებს. წყლის მომხმარებელ მსხვილ საწარმოებში, ზედაპირული წყაროების წყლის მოხმარებაზე მოდის 90%-97%; გაწმენდილი ჩამდინარი წყლების ჩაშვება ზედაპირულ წყალსატევებში შეადგენს 92%-დან 98%-მდე. საწარმოთა ტექნოლოგიურ ციკლში წყლის ხელმეორედ გამოყენება აღწევს 90%-ზე მეტს. უმრავლესობა საწარმოებისა, რომლებიც წყალს იღებენ უმეტესად ზედაპირული წყაროებიდან, აღნიშნავენ, რომ ხშირ შემთხვევაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა დასაშვები კონცენტრაცია, რომელიც დადგენილია თევზსამეურნეო დანიშნულების წყალსატევში ჩამდინარი წყლების ჩასაშვებად დაბალია, იმავე წყალსატევში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე, საიდანაც საწარმოები განახორციელებენ წყალაღებას.

რადგან სამრეწველო საწარმოებში ტექნოლოგიური მიდგომები წყლის მომზადებისა და წყლის გაწმენდის მეთოდების შესარჩევად ერთი და იგივეა და განსხვავდება მხოლოდ გაწმენდილი წყლის გამოყენების გადაწყვეტილებებით, საწმენდი მოწყობილობების მრავალ სახეობას გამოიყენებენ როგორც წყლის მოსამზადებლად, ისე წყალარინებისთვის. მაგალითად, დაბინძურებული წყლის დამუშავების ტრადიციულ მეთოდებს - დალექვას და გაფილტვრას საწარმოები გამოიყენებენ ორივე შემთხვევაში. საწარმოები ასევე იყენებენ ერთსა და იმავე საყოველთაოდ მიღებულ მეთოდებს წყლის ღრმა გაწმენდის აუცილებლობის შემთხვევაშიც - რომელიმე სპეციფიკური კომპონენტის გამოყოფის ან დემინერალიზაციის დროს.

ამასთან ერთად, აშკარაა, რომ წყლის მომზადებისას წყლის გაწმენდის ხარისხისადმი მოთხოვნები, რომლების წაყენება წყლის გამოყენებას ტექნოლოგიურ პროცესში, განსხვავდება იმ მოთხოვნებისგან, რომლებსაც უყენებენ ჩამდინარი წყლების გაწმენდას მათი წყალსატევში, განსაკუთრებით, თევზსამეურნეო დანიშნულების წყალსატევში, ჩაშვებისას. მაგალითად, რიგ საწარმოებში ტექნოლოგიური საჭიროებებისთვის მიმართული წყალი იწმენდება ხარისხის იმ მინიმალურ დონემდე, რომელიც მისაღებია არსებული ტექნოლოგიური პროცესისთვის, გაწმენდის ზოგიერთი ეტაპის გარდა, როდესაც აუცილებელია წყლის წყალსატევში ჩაშვება. ცალკეულ საწარმოებში გაწმენდილი ჩამდინარი წყლები გამოიყენება ბრუნვითი

სისტემების ასამოქმედებლად, რაც დაკავშირებულია ბრუნვით სისტემებში აორთქლების დროს წყლის დანაკარგთან და აუცილებელ გამორეცხვასთან მარილების დაგროვების თავიდან ასაცილებლად.

რიგ საწარმოებში დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების და მოქმედი საწმენდი ნაგებობების ეფექტურობის ანალიზის საფუძველზე, ასევე გაწმენდილი წყლის ხარისხისადმი მოთხოვნების გათვალისწინებით მისი ხელმეორედ გამოყენებისთვის, ქალაქის კანალიზაციაში გადასაცვანად ან წყალსატევში ჩასაშვებად შეიმუშავეს და ნერგავენ საწმენდი ნაგებობების მართვის სისტემებს მათი შემდგომი გაუმჯობესებისა და მოდერნიზაციის შესაძლებლობით, ავტომატიზებული მართვით, გაწმენდის ეფექტურობის გაუმჯობესებით. ბევრმა საწარმომ შეიმუშავა და განახორციელა რეკონსტრუქციის და წარმოების ტექნიკური გადაიარაღების საინვესტიციო პროგრამები, რომლებიც, პირველ რიგში, მიმართულია წარმოების მოცულობის ზრდისა და პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესებისკენ, წყლის რაოდენობის შემცირებისაკენ. უფრო თანამედროვე მოწყობილების გამოყენების ხარჯზე მცირდება ნეგატიური ზემოქმედება გარემოზე.

რიგ საწარმოებში ნერგავენ ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემებს, რომლებიც სერტიფიცირებულია სტანდარტის შესაბამისად. რიგ საწარმოებში მსგავსი სისტემები ინერგება ფორმალურად მხოლოდ იმისთვის, რომ მიაღწიონ უცხოურ ბაზრებზე საქონლის გასაყიდად აუცილებელ მოთხოვნებთან შესაბამისობას ან სხვა მიზნებისთვის, რომლებიც არ არის დაკავშირებული ეკოლოგიურ შემადგენელთა გაუმჯობესებასთან. საწარმოთა უმრავლესობაში ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემების დანერგვის მიზანია გარემოსდაცვითი საქმიანობის ეფექტურობის ზრდა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა. საწარმოები ასაჯაროებენ ინფორმაციას დანერგვის პოზიტიური შედეგების შესახებ, როგორც ფინანსური მაჩვენებლების (გადასახადის შემცირება გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედებისათვის), ასევე ნატურალური მაჩვენებლების თვალსაზრისით: ჩაშვებული ჩამდინარი წყლების მოცულობის შემცირება, წყლის მოხმარების შემცირება, წყლის მოცულობის ზრდა, რომელიც გამოიყენება ბრუნვით წყალმომარაგებაში.

საწარმოების მიერ მოყვანილი მონაცემები მოწმობენ აღნიშნული მაჩვენებლების მნიშვნელობათა ცვლილებებზე; გარკვეულ შემთხვევებში ეს ცვლილებები მნიშვნელოვანია. მაგრამ გათვალისწინებული უნდა იქნას ისიც, რომ ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემები, როგორც წესი, ინერგება ეკოლოგიურად პასუხისმგებელ საწარმოებში; მათ დანერგვას შეიძლება ახლდეს ტექნოლოგიური ღონისძიებები საწმენდი ნაგებობების სრული მოდერნიზაციის ჩათვლით. ამრიგად, საწარმოების მიერ წარმოდგენილი მონაცემების საფუძველზე ძნელია პოზიტიური ცვლილებების გამოყოფა, რომლებიც მიღწეულ იქნა მხოლოდ ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემების დანერგვის ხარჯზე, მაგრამ თავად პოზიტიური ტენდენციების არსებობის ფაქტი უდავოა. იმ ქვეყნებში ჩატარებული კვლევები, რომლებსაც ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემების დანერგვის დიდი გამოცდილება აქვთ, და, შესაბამისად, მათი ეფექტურობის შესასწავლად უფრო მეტი დრო ჰქონდათ, ცხადყოფენ, რომ ხდება ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემების დანერგვის რაოდენობრივად ზომიერი ზემოქმედება ჩამდინარი წყლების გადამუშავების შედეგების ხარისხზე, რაც დაფიქსირდა ასეთი სისტემების დანერგვიდან ერთი წლის შემდეგ, რაც ხშირ შემთხვევაში საკმაოდ მნიშვნელოვანი და თვალსაჩინოა.

რიგი საწარმოებისა ატარებს საგანგებო სიტუაციების თავიდან აცილების ღონისძიებებს. კერძოდ, ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობის გამოყენება შეიძლება მოხდეს საგანგებო სიტუაციების პირობებში იქ არსებული (აკუმულირებული) წყლის მოცულობების გამოყენებით.

რამდენიმე საწარმოში ენერგომოხმარების შემცირების მიზნით ტექნოლოგიური და ჩამდინარი წყლების დამუშავებისას იყენებენ ეგზოთერმული რეაქციების სითბოს რეკუპერაციას დაბალი წნევის ორთქლის გამომუშავებისა და ჭარბი ორთქლის გამოყენების, ენერგოდამოკიდებული დისტილაციის მეთოდს.

ცალკეული საწარმოები სისტემატურად ახორციელებენ ენერგომოხმარების შემცირების პროგრამებს, მათ შორის, ჩამდინარი წყლების გადამუშავების ობიექტებზე, ატარებენ ძირითადი ტექნოლოგიური ოპერაციების ენერგეტიკულ აუდიტს, ასევე, ჩამდინარი წყლის გადამუშავებით დაკავებულ პერსონალს ასწავლიან ენერგომოხმარების ორგანიზაციის საფუძველს.

რიგ საწარმოებში წყალაღების და ჩამდინარი წყლების წარმოქმნის შემცირების, შესაბამისად კი ბრუნვით წყალმომარაგებაში გაწმენდილი ჩამდინარი წყლების ხელახლა გამოყენების მიზნით აწარმოებენ ტექნოლოგიური ჩამდინარი წყლების გამოყოფას პირობითად სუფთა ატმოსფერული ან სხვა წყლებიდან, აგრეთვე განახორციელებენ ღონისძიებებს, რათა არ მოხდეს პირობითად სუფთა ცივი წყლის შერევა დაბინძურებულ ტექნოლოგიურ წყალში.

ტექნოლოგიურ პროცესებში წყალმოხმარების ყველაზე დაბალ შესაძლო დონემდე შემცირების და გაწმენდილი წყლის ხელახლა გამოყენების ხარისხის ზრდის მიზნით საწარმოებში ქმნიან წყალბრუნვის სისტემების დახურულ ციკლს, იყენებენ წყლის რეციკულაციის სისტემებს, ტექნოლოგიურ პროცესებში ასევე იყენებენ პირობითად სუფთა ატმოსფერულ წყალს, რომელსაც აგროვებენ სახურავებიდან და ფარდულებიდან.

ბევრ საწარმოში ქმნიან ჩამდინარი წყლების მოგროვების და გამოყოფის სისტემებს, მათ შორის, ატმოსფერული ზედაპირული წყლებისთვის, წყალსადინარის საწარმოო კოლექტორებში მათ გადასამუშავებლად და შემდგომ გამოსაყენებლად. ცალკეულ საწარმოებში ხდება წყლის ნაკადის გამოყოფა დაბინძურების ხარისხის მიხედვით და მათი ლოკალურ საწმენდ დანადგარებში შემდგომი გაწმენდა ამ ლოკალური საწმენდი დანადგარების შექმნის გზით, რაც, თავის მხრივ, ამცირებს ჰიდრავლიკურ დატვირთვას სადრენაჟო ობიექტებსა და ჩამდინარი წყლის გადამუშავების ობიექტებზე.

ცალკეულ საწარმოებში წყლის ხელახალი გამოყენების გასამარტივებლად ცალკე უშვებენ ტექნოლოგიურ წყლებს (მაგალითად, კონდენსატს და ცივ წყალს). წყლის ხელახლა გამოყენების წინ ტარდება გახსნილი მარილების შემოწმება ელექტროგამტარობის გაზომვის მეთოდით.

ცალკეულ საწარმოებში ყურადღებას აქცევენ ჩამდინარი წყლებიდან ნედლეულის ან პროდუქტის გადამუშავების შედეგად წარმოქმნილი ზოგიერთი სასარგებლო დამაბინძურებელი ნივთიერების მაქსიმალურად გამოყოფას, გამოცალკევებას მათი შემდგომი გამოყენების მიზნით.

ჩამდინარი წყლების დამუშავების პროცესის მუდმივად ოპტიმიზაციის მიზნით და ჩამდინარი წყლების დამუშავების ობიექტის სტაბილური და უწყვეტი ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად ბევრ საწარმოში იყენებენ

საწარმოო ეკოლოგიურ კონტროლს (ექსპორტიორ საწარმოებში - ძირითადად ავტომატიზებულ საწარმოო ეკოლოგიურ კონტროლს); ამასთან, კონტროლს დაქვემდებარებული მაჩვენებლები დამოკიდებულია ჩამდინარი წყლების მოცულობაზე, დაბინძურების რაოდენობასა და ტიპზე და მათი გაწმენდის ხარისხის მოთხოვნებზე. ჩასაშვები ჩამდინარი წყლების ხარისხის მუდმივი კონტროლი ხორციელდება კოლექტორში, დაგროვების კამერაში ან ჭაში საწმენდი ნაგებობიდან გამოშვების ადგილზე.

საწარმოთა უმრავლესობაში წყლის ხარჯვის შესამოწმებლად იყენებენ ტრადიციულ ხარჯმზომებს - უფრო თანამედროვე საწარმოები იყენებენ ულტრაბგერით ან ინდუქციურ ხარჯსაზომებს.

მხოლოდ რამდენიმე საწარმოშია დანერგილი მოწყობილობის მთლიანობის და (ან) ჰერმეტიკულობის კონტროლის გამართული სისტემა ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად, მათ შორის, მილგამყვანი სისტემები იზოლაციური არმატურით და სატუმბი დანადგარები. იგივე ეხება სალექარის და ჩამდინარი წყლების გადამუშავების სხვა კვანძების აღჭურვილობას, სადაც შეიძლება მოხდეს გაჟონვა. ცალკეულ საწარმოებში ახორციელებენ საკანალიზაციო ქსელების პროფილაქტიკურ წმენდას, ასევე, სარეზერვო ელექტრომომარაგებისთვის სატუმბი სადგურების აღჭურვას.

რადგან ორგანული ნაერთების კონცენტრაცია ჩამდინარი წყლების მოგროვებისა და საწმენდ სისტემათა ჩაშვების დგილას პრაქტიკულად არ არის რეგლამენტირებული არსებული ნორმებით სუნის გაზომვის მიღებული სისტემების არქონის გამო, ამიტომ მხოლოდ რამდენიმე საწარმომ მიუთითა მათთან არსებული შესაბამისი სპეციალური ზომებისა და ღონისძიებების შესახებ. ესენია: დახურული და ჰერმეტიკული სისტემების გამოყენება, ქიმიური ნივთიერებების გამოყენება გოგირდწყალბადის წარმოქმნისა და დაჟანგვის შემცირებისთვის, მოტივტივე და სტაციონარული საფარის არსებობა რეზერვუარებზე, აუზებსა და სალექარებზე და სხვ., გამოსული გაზების გადაყვანა მათი დამატებით დამუშავების მიზნით და ა.შ. იგივე ეხება ხმის საიზოლაციო აღჭურვილობას და შენობებს, სადაც ხდება ჩამდინარი წყლების გაწმენდა.

არჩევანი ტექნოლოგიური მიდგომების, მეთოდების, ზომების და ღონისძიებებისა, რომლებიც მიმართულია საწარმოო ჩამდინარი წყლების

გასაწმენდად, განისაზღვრება სხტ-თა გამოყენების კონკრეტული სფეროების ჩამდინარი წყლების თავისებურებებით, რომლებიც ქვემოთაა განხილული.

საწარმოო ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასებისას ყურადღება მახვილდება შემდეგ ძირითად მახასიათებლებზე: pH, ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები, მინერალიზაცია, შეწონილ ნივთიერებათა და ნავთობ-პროდუქტების (მათ შორის, მინერალური ზეთების) საერთო შემცველობა, ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნილება, ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილება,  $\text{NH}_3$ , ტოქსიკანტები, Fe, Mn,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca, Mg, Al, ექსტრაჰირებული ორგანული ჰალოგენები, ფენოლები, პოლიქლორირებული დიბენზო-დიოქსინები/დიბენზოფურანები, საერთო ორგანული ნახშირბადი, საერთო N, ნიტრატები და ნიტრიტები, საერთო P, Cr, Cu, Zn, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>. ამ პარამეტრების მნიშვნელობა და მათი კონტროლისთვის გამოყენება დამოკიდებულია კონკრეტული საწარმოს სპეციალიზაციასა და მის მიერ გამოყენებულ ტექნოლოგიებზე, რომლებიც ასევე ავლენენ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს და მათ კონცენტრაციას ჩამდინარ წყლებში გაწმენდამდე.

### თავი 3.

#### **ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად მიმართული ტექნოლოგიური მიდგომების, მეთოდების, ხერხების და ღონისძიებების აღწერა „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად**

აღნიშნულ თავში განხილულია ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად მიმართული ტექნოლოგიური მიდგომების, მეთოდების, ზომების და ღონისძიებების აღწერა „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად, კერძოდ:

- ფიზიკურ-მექანიკური დამუშავების არარეაგენტული მეთოდები,
- წყლის გაწმენდის ფლოტაციური მეთოდები,
- ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები,
- გაწმენდის რეგენერაციული მეთოდები,
- მემბრანული მეთოდები,
- ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დესტრუქციული მეთოდები,
- ჟანგვა-აღდგენითი მეთოდები,
- ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდა,
- შეწონილი ნივთიერებებისგან გაწმენდა.

#### **3.1.ფიზიკურ-მექანიკური დამუშავების არარეაგენტული მეთოდები**

**გაწურვა.** მსხვილი დაბინძურების და ნაგვის გამოსავლენად საწარმოები იყენებენ გაწურვის მეთოდს - წყლის ფილტრაციის პროცესს ცხრილის და ცხაურის მეშვეობით. საწარმოთა უმრავლესობაში იყენებენ ცხაურს, რომელსაც აქვს დაბინძურების როგორც მექანიზებული, ასევე ხელით მოშორების საშუალება. განხილულ საწარმოებში ცხაურის წნელებს შორის ღრიჭო ვარირებს 2 მმ-დან 16 მმ-მდე. რამდენიმე საწარმოში ცხაურის გამოყენება, რომელსაც ნაკლები ღრიჭო აქვს, იძლევა ჩამდინარი წყლების შემდგომი გაწმენდის ოპტიმიზირების საშუალებას მცირე ღრიჭოს მქონე (2



- 4 მმ) ცხაურების დიდი ღრიჭოს მქონე ცხაურის შემდეგ განთავსების ხარჯზე, რაც ხელს უშლის მიწოდების პანელის გადავსებას.

ტრადიციულ ცხაურებთან ერთად ზოგიერთ საწარმოში იყენებენ ცხაურ-სამსხვრეველას (კომინუტორს), რომელშიც დამაბინძურებელი ნივთიერებების მოშორებასთან ერთად ხდება მათი დანაწევრება.

რამდენიმე საწარმოში ჩამდინარი წყლებიდან ბოჭკოვანი დამაბინძურებლების დასაჭერად იყენებენ ძაფის ბადეს. ერთ-ერთ საწარმოში ბოჭკოვანი დამაბინძურებელი ნივთიერებების დასაჭერად მთავარი ცხაურების წინ აყენებენ ცხაურს მრგვალღეროიანი წნელებით, რომლის გარშემო ეხვევა ბოჭკოვანი ნივთიერებები და ძაფი, რაც ქმნის გორგალს. ამასთან, ღეროიანი ცხაური პერიოდულად იწვევს მაღლა, ღეროები გაივლიან ხვრელებს გორგალის მოსახსნელად; გორგალი ხვდება ჩამდინარი წყლების ნაკადში, რომელიც მიემართება სამუშაო ცხაურისკენ, სადაც ჩერდება.

**დალექვა.** შეწონილი დაბინძურების გამოსაყოფად საწარმოთა უმრავლესობაში იყენებენ დალექვას - სალექარებში შეწონილი დაბინძურების გამოყოფის პროცესს გრავიტაციული ძალების ზემოქმედებით დაბინძურების და წყლის სიმკვრივის სხვაობის ხარჯზე. ზოგიერთ საწარმოში ჩამდინარი წყლების მცირე მოცულობის გამო სალექარს შეუძლია შეასრულოს გამშუალებლის ფუნქცია.

საწარმოებში იყენებენ ჰორიზონტალურ, რადიალურ და ვერტიკალურ სალექარებს, რომლებიც განსხვავდებიან გაწმენდილი წყლის მიმართულების ნაკადით. ჰორიზონტალურ და რადიალურ სალექარებს იყენებენ წყლის დიდი რაოდენობით მოხმარების შემთხვევაში. ამასთან, თანაბარი გამტარი შესაძლებლობების ჰორიზონტალური სალექარები, რადიალურთან შედარებით, ხასიათდება გაწმენდის ნაკლები ეფექტურობით წყალსაგდები კიდეების ნაკლები სიგრძის გამო. მათ იყენებენ იმ შემთხვევაში, თუ მათი კომპაქტურობა უდავო უპირატესობაა. ვერტიკალურ სალექარებს, რომელთა გამტარობა შეზღუდულია 1000 მ<sup>3</sup>/სთ-ით, ყველაზე ხშირად იყენებენ ამორფული ჰიდროქსიდული ნალექის გამოყოფისას, რომელიც არ ექვემდებარება საფხეკებით ტრანსპორტირებას. დალექვის წინ, წვრილდისპერსიული დამაბინძურებლების გამოყოფის საჭიროების შემთხვევაში, იყენებენ კოაგულაციას და ფლოკულირებას. ამ შემთხვევაში სალექარის კონსტრუქცია ზოგჯერ რთავს ფანტელის წარმომქმნელს.

ქვიშის და მსხვილდისპერსიული დაბინძურების მოსაცილებლად იყენებენ ქვიშის ხაფანგს (დამჭერს).

ზოგიერთ საწარმოში იყენებენ თხელფენიანი სალექარების კონსტრუქციულ ნაირსახეობათა დიდ რაოდენობას, რომელთა თავისებურებას წარმოადგენს ნალექის მოცულობის დაყოფა პარალელურ ფირფიტებად ცალკე იარუსებზე, სადაც დაბინძურების გამოყოფის პროცესი ბევრად უფრო სწრაფად მიმდინარეობს დალექვის დაბალი სიმაღლის გამო. რამდენიმე საწარმოში თხელფენიანი მოდულებით - ბლოკებით არის აღჭურვილი არსებული სალექარი ნაგებობები, რაც ზრდის გაწმენდის ეფექტურობას და მის პროდუქტიულობას.

სალექარები გათვლილია გარკვეული ჰიდრავლიკური სიმსხოს მქონე დამაბინძურებლების ნაწილაკების გამოსაყოფად, რაც, არსებითად, ნაწილაკების დალექვის სიჩქარეა (მმ/წმ.), რომლის გამოყოფა უზრუნველყოფს გაწმენდის საჭირო ეფექტს.

**ჰიდროციკლონირება.** შეწონილ დაბინძურებათა გამოსაყოფად ცალკეული საწარმოები იყენებენ ჰიდროციკლონირებას, ანუ შეწონილ დაბინძურებათა გამოყოფის პროცესს მბრუნავ ნაკადში, რომელიც წარმოქმნილია ამოსავალი წყლის ტანგენციალური შეშვებით აპარატის ცილინდრულ კორპუსში. საწარმოებში იყენებენ ღია უდაწნევო და დაწნევით ჰიდროციკლონებს.

უდაწნევო ჰიდროციკლონებში დაბინძურების გამოყოფის პროცესი მიმდინარეობს გრავიტაციულ ძალთა ზემოქმედებით; ცენტრიდანული ძალები მცირეა და პროცესზე პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას, თუმცა, ნაკადის ბრუნვითი მოძრაობა ხელს უწყობს შეწონილ ნივთიერებათა აგლომერაციას, რაც აჩქარებს მათი გამოყოფის პროცესს. წყლის გაწმენდისას, რომლის დანახარჯი 50-150 მ<sup>3</sup>/სთ-ია, რამდენიმე საწარმო იყენებს შიგაცელინდრიან ღია ჰიდროციკლონებს, წყლის დიდი ხარჯისას - მრავალიარუსიან ჰიდროციკლონებს, რომელთა კონსტრუქციაში ერთდროულად გამოიყენება თხელფენიანი ნალექის პრინციპი. ცალკეულ საწარმოებში ღია და მრავალიარუსიანი ჰიდროციკლონები გამოიყენება კოაგულირებული და ფლოკულირებული დაბინძურების გამოსაყოფად.

დაწნევით ჰიდროციკლონებში შეწონილ ნივთიერებათა გამოყოფის პროცესი მიმდინარეობს ცენტრიდანული ძალების ზემოქმედებით; ამასთან,

მცირე დიამეტრის აპარატებში შეიძლება ეს ძალები ბევრად აღემატებოდეს გრავიტაციულს. დიამეტრის შემცირებისას მცირდება ერთი აპარატის მწარმოებლურობა, ამიტომ ზოგიერთ საწარმოში წყლის დიდი რაოდენობის გადამუშავების უზრუნველსაყოფად მცირე ზომის ჰიდროციკლონებს (დიამეტრი 40-100 მმ) ბლოკებად აერთიანებენ დანადგარის კომპაქტურობის გაზრდის მიზნით. აპარატის დიამეტრის მნიშვნელოვანი შემცირებისას შეიძლება მოხდეს მექანიკური დაბინძურების გამოყოფის ეფექტურობის შემცირება წყლის სრული მოცულობით შემოდინების ხანგრძლივობის შემცირების გამო.

რამდენიმე საწარმოში იყენებენ დაწნევით ჰიდროციკლონებს ჩამდინარი წყლების ლოკალური გაწმენდისას გამოყენებული ნედლეულის და წარმოებული პროდუქციის დანაკარგის შესამცირებლად. გარდა ამისა, ზოგიერთ საწარმოში დაწნევით ჰიდროციკლონებს იყენებენ ნალექის გასასქელებლად მისი გაუწყლოვნების წინ, ასევე, გამოყენებული შნეკური ცენტრიფუგების აბრაზიული ცვეთის თავიდან ასაცილებლად.

**ცენტრიფუგირება.** შეწონილი დაბინძურების გამოსაყოფად რიგ საწარმოში იყენებენ ცენტრიფუგირებას. ეს არის დაბინძურების გამოყოფის პროცესი ცენტრიდანული ძალების ველში, რომლებიც წარმოიქმნება ცენტრიფუგაში როტორის ბრუნვისას. ცენტრიდანული ძალები შეიძლება აღემატებოდეს გრავიტაციულს 100-3000-ჯერ ან მეტად. ზოგიერთ საწარმოში ცენტრიფუგებს იყენებენ ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად, რომელთა სავარაუდო ხარჯია 1 – 200 მ<sup>3</sup>/სთ.

ზოგიერთ საწარმოში ცენტრიფუგებს წარმატებით იყენებენ ლოკალური გაწმენდის სქემაში შეწონილი წვრილდისპერსიული დაბინძურების მოსაცილებლად ( $U_0 < 0,2$  მმ/წმ). ყველაზე გავრცელებულია შნეკური ცენტრიფუგები. შედარებით იშვიათად საწარმოები იყენებენ ქანქარა ცენტრიფუგებს. შნეკური ცენტრიფუგების გამოყენებისას შნეკის აბრაზიული ცვეთის თავიდან ასაცილებლად ზოგიერთ საწარმოში წყლის სუსპენზიას ატარებენ დაწნევით ჰიდროციკლონებში მსხვილდისპერსიული მინერალური შეწონილი ნივთიერებების გამოსაყოფად. ცენტრიფუგირებას საწარმოებში ძირითადად იყენებენ ნალექის დასამუშავებლად, რომელიც გამოიყოფა საწმენდ ნაგებობებში.

### 3.2. წყლის გაწმენდის ფლოტაციური მეთოდები

ჩამდინარი წყლების თხევადი (ზეთები, ნავთობპროდუქტები და სხვ.) და სხვა დაბინძურებისგან გასაწმენდად მრავალ საწარმოში იყენებენ ფლოტაციურ მეთოდებს, რომლებიც დაფუძნებულია სითხიდან ნივთიერებების დისპერჰირებული ჰაერის დახმარებით გამოყოფაზე. ფლოტაციის პროცესის კინეტიკას განსაზღვრავენ მყარი ან თხევადი ნაწილაკების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები, როგორებიცაა: დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზედაპირის დანამვა, აბსორბირების უნარი ჰაერის (გაზის) ბუშტების ზედაპირზე, რეაგენტებთან სტაბილური ჰიდროფობური ნაერთების წარმოქმნის შესაძლებლობა, ასევე, თხევადი ფაზის (წყლის) ზედაპირული დაჭიმვა. ფლოტაციის ეფექტურობა განისაზღვრება არა მხოლოდ გამოყოფილი ნაწილაკების, მყარი და თხევადი დამაბინძურებლების (ზეთების, ნავთობპროდუქტების, ცხიმების, სინთეტიკურად ზედაპირული ნივთიერებების და ა.შ.) თვისებებით, გამოყენებული რეაგენტებით, არამედ - აპარატების (ფლოტოკამერები) ჰიდრავლიკური მახასიათებლებით.

საწარმოთა უმრავლესობაში ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას იყენებენ დაწნევით, იმპულსურ ფლოტაციას და ელექტროფლოტაციას, რომლის გამოყენება დამოკიდებულია შემომავალი ჩამდინარი წყლების მოცულობაზე, თავდაპირველი ხარისხის დაბინძურების, ასევე, წმენდის საჭირო ხარისხზე.

წყლის ფლოტაციური გაწმენდის პროცესში წარმოქმნილ ზედაპირულ პროდუქტს (ფლოტოფენას), რომელიც შეიცავს გამოყოფილ დაბინძურებებს და ხშირად სასარგებლო კომპონენტებს, როგორებიცაა: ნავთობპროდუქტები, ცხიმები და ა.შ., ზოგიერთი საწარმო აგზავნის უტილიზაციისთვის. ფლოტატორზე გამოყოფილ ფსკერის ნალექს კი გზავნიან გადასამუშავებლად.

წყლის გაწმენდის ინტენსიფიკაციისა და ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად ფლოტაციის პროცესს რიგ საწარმოებში იყენებენ რეაგენტებთან (კოაგულაცია, ფლოკულაცია) კომბინაციაში, რადგან იგი უზრუნველყოფს გაწმენდის მაღალ ეფექტს დალექვის პროცესთან შედარებით და წყლის დანაკარგის შემცირებას გამოყოფილი დაბინძურებით (ქაფის სახით),

**ფილტრაცია.** წყლის დაბინძურებისგან ღრმად გასაწმენდად საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს ფილტრაციას, რომელიც წარმოადგენს დაბინძურების

გამოყოფის პროცესს ფოროვან გარემოში, რომელიც შეიძლება წარმოქმნას მარცვლოვანმა მინერალურმა, ხელოვნურმა პოლიმერულმა და ბოჭკოვანმა მასალებმა. გაწმენდის პროცესი მიმდინარეობს დაბინძურების ადჰეზიის ხარჯზე საბარგულის ზედაპირზე და ასევე მათი მექანიკური გამოყოფის შედეგად - მის ფორებში.

მარცვლოვანი ჩატვირთვისათვის რამდენიმე საწარმო იყენებს ქვიშას, კერამიტიტს, ცეოლიტს, ხრემს, დამწვარ ქანებს, ანთრაციტს და სხვ.; ბევრი საწარმო იყენებს ხელოვნურ დატვირთვას (პოლისტიროლს, ქაფპო-ლიურეთანს, სინთეტიკური ბოჭკოს ბოჭკოვან ნარჩენებს).

ზოგიერთ საწარმოში, რომელთა საწმენდი ნაგებობები აღიჭურვა ბოლო ათი წლის განმავლობაში, გათვალისწინებულია რეგენერაცია ხელოვნური მასალებისა, რომლებიც გამოიყენება როგორც ჩასატვირთი. ფილტრირებული ჩატვირთვის რეგენერაციის ეფექტურობაზეა დამოკიდებული ჩამოტვირთვის გამოყენების ეფექტურობა და ხანგრძლივობა. რამდენიმე საწარმოში მარცვლოვანი ფილტრები დამატებით აღჭურვეს ინტენსიური რეგენერაციის კვანძით.

განხილულ საწარმოებში ფილტრები მუშაობენ, როდესაც მათ მიეწოდება ჩამდინარი წყლები როგორც დაწნევით, ასევე მის გარეშე. პირველ შემთხვევაში მათ აქვთ ჰერმეტიკული კორპუსი. განსაკუთრებულ როლს ფილტრის კონსტრუქციაში ასულებს სადრენაჟო სისტემა, რომლის მეშვეობითაც გადაიცემა ფილტრში გაწმენდილი წყალი.

**მაგნიტური სეპარაცია.** ჩამდინარი წყლების არარეაგენტული გაწმენდისთვის ზოგიერთი საწარმო იყენებს მაღალგრადიენტულ მაგნიტურ სეპარატორებს. ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად, რომლებიც წარმოიქმნება მაგალითად, ფოლადის და გლინვის წარმოების, ლითონების მექანიკური გადამუშავების, ქვების შევსების და კონდენსატის ფაქიზი გაწმენდის შედეგად, რომლებიც შეიცავენ ფერომაგნიტურ და პარამაგნიტურ ნივთიერებებს, იყენებენ ელექტრომაგნიტებს ან მუდმივ მაგნიტებს.

### 3.3.ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები

ჩამდინარი წყლებიდან კოლოიდური და გახსნილი დაბინძურების გამოსაყვანად, გამომდინარე გამოსაყვანი ნივთიერებების თვისებებიდან, დამუშავებული ჩამდინარი წყლების მახასიათებლებიდან, ტექნიკურ-ეკონომიკური მოსაზრებებიდან, ასევე, ადგილობრივი პირობებიდან, საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს.

ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები იყოფა რეგენერაციულად და დესტრუქციულად.

რეგენერაციული მეთოდები დაფუძნებულია ქიმიური, ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების გამოყენებაზე, რომლებშიც მოსაცილებელ ნივთიერებას იღებენ წყლიდან სტრუქტურის, თვისებების და ქიმიური შედგენილობის შეცვლის გარეშე შემდგომი გამოყენების მიზნით. ესენია: კოაგულაცია, ფლოკულირება დალექვით და ფლოტაციით, იშვიათად - ფილტრაციით, ასევე, იონგაცვლითი ამოღება და კონცენტრირება, ამოღების და კონცენტრირების მემბრანული მეთოდი, ადსორბცია, ექსტრაქცია, დისტილაცია, დეგაზაცია, გამოხდა ორთქლით (ევაპორაცია), რექტიფიკაცია, კრისტალიზაცია და სხვ.

დესტრუქციული მეთოდი დაფუძნებულია ქიმიურ და ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებზე, რომელთა შედეგადაც ამოსაღები ნივთიერებები განიცდიან ცვლილებებს, გარდაიქმნებიან სხვა ნაერთებად ან ნივთიერებებად, ხშირად გადადიან სხვადასხვა ფაზურ მდგომარეობაში. ეს პროცესებია მჟავების და ფუძეების განეიტრალება; წყლის დამაბინძურებელი ნივთიერებების ქიმიური დალექვა ძნელად ხსნადი ნაერთების სახით; ელექტროქიმიური და გალვანოქიმიური დალექვა; ქიმიური დაჟანგვა; ელექტროქიმიური დაჟანგვა; თხევადფაზური დაჟანგვა; დაწვა; ქიმიური აღდგენა; ელექტროქიმიური და გალვანოქიმიური აღდგენა.

### 3.4. ჩამდინარი წყლების გაწმენდის რეგენერაციული მეთოდები

**ადსორბცია.** ჩამდინარი წყლების ღრმად და საბოლოოდ გასაწმენდად არაპოლარული და პოლარული, ნაკლებდისოცირებული ორგანული ნაერთებისგან (ალიფატურის, არომატულის, ალიციკლური ნახშირწყალბადების, მათი ჰალოგენწარმოებული და ნიტროწარმოებული, სინთეტიკური საღებავების, სინთეტიკურად ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების, ფენოლების, ამინების, პესტიციდების, უმაღლესი ცხიმოვანი და არომატული მჟავების), როდესაც ამოსაღებ ნივთიერებათა საწყისი კონცენტრაცია შეადგენს  $<15$  მგ/ლ-ზე, მრავალი საწარმო იყენებს ადსორბციას. რამდენიმე საწარმოში ადსორბცია გამოიყენება, როდესაც ჩამდინარ წყლებში მექანიკური მინარევების კონცენტრაცია აღემატება 5 მგ/ლ-ს, რაც იწვევს ადსორბციული ფილტრების მკვეთრ შემცირებას მექანიკური მინარევების სორბციის გამო. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს სორბციული ჩატვირთვის ექსპლუატაციის ვადას.

ადსორბცია, რომელიც გამოიყენება გაწმენდის საბოლოო ეტაპზე, უზრუნველყოფს გაწმენდილი წყლის მაღალ ხარისხს, რომელიც აკმაყოფილებს მისი ჩაშვების მოთხოვნებს თევზსამეურნეო დანიშნულების წყალსატევებში.

**იონური გაცვლა.** ჩამდინარი წყლების ლითონის იონების (მათ შორის, მძიმე) მინერალური და ორგანული მჟავების ანიონებისგან გასაწმენდად მათი კონცენტრაციით და უტილიზაციით, ან გაუვნებლება დესტრუქციული მეთოდების გზით, ასევე, წყლის შესარბილებლად და გაუმარილებსას, როდესაც საწყისი მარილშემცველობა 3000 მგ/ლ-ზე ნაკლებია, რიგ საწარმოებში იყენებენ იონური გაცვლის ტექნოლოგიას.

**დეგაზაცია.** ჩამდინარი წყლებიდან გახსნილი მჟავა ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) და ტუტე ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{NH}_2$ ) აირის მოსაცილებად რიგ საწარმოებში (ძირითადად, ქიმიურ მრეწველობაში) იყენებენ დეგაზაციას (ჰაერით, ინერტული აირით ან ორთქლით გაწმენდას) რეაგენტების (ქიმიური მეთოდების) გამოყენებით, ან გახურებით და ვაკუუმირებით (ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდი), ასევე, ჰაერით გაწმენდას ბარბოტაჟულ ან ჩამოსაცემელ აპარატებში. წყალში აირის დაბალი კონცენტრაციის, მათი უტილიზაციის მიზანშეუწონლობის ან

შეუძლებლობის შემთხვევაში, ასევე, იმ შემთხვევაში, თუ პროდუქტების რეაგენტებით დამუშავებისას ხელი არ ეშლება ჩამდინარი წყლების შემდგომ გაწმენდას, ზოგიერთი საწარმო იყენებს დეგაზაციის ქიმიურ მეთოდებს.

### 3.5. მემბრანული მეთოდები

მრავალ საწარმოში ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად გამოიყენებენ მემბრანულ მეთოდებს, რომლებსაც მიეკუთვნება ულტრაფილტრაცია, ნანოფილტრაცია, უკუოსმოსი.

ულტრაფილტრაციას იყენებენ წყლიდან შეწონილი ნივთიერებების, ორგანული ნივთიერებების, ნავთობპროდუქტების კოლოიდური ნაწილაკების ამოსაღებად, ასევე, სიმღვრივის, დაჟანგვის შესამცირებლად და ა.შ. ასევე იყენებენ აპარატს ფილტრაციის შიგაზედაპირიანი მემბრანებით. ულტრაფილტრაციის დანადგარების აწყობა შეიძლება მილისებრი სინთეტიკური, კერამიკული ელემენტების, რულონური ელემენტების ან ღრუ ბოჭკოების საფუძველზე. ზოგიერთ საწარმოში ულტრაფილტრაციას იყენებენ ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ბიოლოგიურ პროცესში, ამასთან, იყენებენ აერირებული წყლის მოცულობაში ჩაშვებულ მემბრანების ბლოკს.

წინასწარ გაფილტრული ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად (როგორც წესი, მიკროფილტრაციით) იყენებენ ნანოფილტრაციას, რომელიც უზრუნველყოფს წყლიდან მრავალდამუხტული იონების და 0.01 - 0.001 ზომის მქონე მოლეკულების, 200 მ.ე-ზე მეტი მასის მქონე ორგანული ნივთიერებების მოლეკულების და ვირუსების ამოღებას. სელექციურობა წყლის მძიმე მეტალებისა და ხისტი მარილებისგან გაწმენდისას შეადგენს 98%-99%, ერთმუხტიანი იონების ამოღებისას - 50%-ს.

უკუოსმოსს იყენებენ გაუმარილების დროს მინერალური მარილების იონების (მათ შორის, მძიმე მეტალების იონების) და დაბალმოლეკულური ორგანული ნივთიერებების გამოყოფისას და კონცენტრირებისას, როდესაც საწყისი კონცენტრაცია შეადგენს 2-5-დან 20-35გ/ლ-მდე. უკუოსმოსის დანადგარები უზრუნველყოფენ წყლის გაწმენდის შესაძლებლობას ერთდროულად ხსნადი არაორგანული (იონური) და ორგანული დამა-



ბინძურებელი მინარევების, მაღალმოლეკულური ნაერთების, შეწონილი ნივთიერებების, ვირუსების, ბაქტერიებისა და სხვა მავნე მინარევებისგან.

მემბრანულ ტექნოლოგიებს შეუძლიათ წყლის გაწმენდის მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა, არა მხოლოდ შემოტანილი დაბინძურების, არამედ გახსნილი ნივთიერებების მოცილება და ამით წყლის ხარისხის დისტილირებულთან მიახლოება.

**ელექტროდიალიზი გაუმარილებისთვის.** ასევე, ჩამდინარი წყლებიდან მჟავების, ტუტის და სხვა იონიზებული მასალების გამოსაყოფად გადამუშავებული ტექნოლოგიური ხსნარების გადამუშავებისა და რეგენერაციისას, მათი უტილიზაციის მიზნით, რამდენიმე საწარმო იყენებს ელექტროდიალიზს, როდესაც საწყისი მარილშემცველობაა 2500 - 15000 მგ/ლ.

**ორთქლით გამოხდა (ევაპორაცია).** ფენოლების, ამინების, ანილინის და მისი წარმოებულების, ასევე, ამიაკის შემცველი კონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების მცირე რაოდენობით ჩაშვებისას საწარმოთა ნაწილი (უმეტესად ქიმიური მრეწველობისა) იყენებს ევაპორაციას, რომელიც დაფუძნებულია აქროლადი ნივთიერებების წყლის ორთქლით გამოხდაზე მათი შემდგომი კონდენსაციით ან შთანთქმა სპეციალური შთამნთქმელით და კონცენტრირებული ხსნარების უტილიზაციით. მეთოდის გამოყენების სფეროა ნივთიერებები, რომლებიც წყლის ორთქლთან ერთად ქმნიან ნარევს, რომელიც დულს 100°C ტემპერატურაზე ქვევით. რამდენიმე საწარმოში მეთოდის ეფექტურობა აღწევს 85%-95%, რაც დამოკიდებულია ამოსაღები ნივთიერებების საწყის კონცენტრაციაზე.

**რექტიფიკაცია.** ორგანული ნივთიერებების და გახსნილი ორგანული სითხეების შემცველი კონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების ჩაშვებისას, ზოგიერთი საწარმო, ძირითადად, ქიმიური მრეწველობისა, იყენებს რექტიფიკაციას (აზეოტროპულ ან ზედმეტად გაცხელებულ წყლის ორთქლს). ამასთან, ჩამდინარი წყლების გამოხდის და რექტიფიკაციის დანადგარები, როგორც წესი, შედის ძირითადი წარმოების ტექნოლოგიური სქემების შემადგენლობაში, ხოლო ჩამდინარი წყლებიდან გამოყოფილ ნივთიერებებს, ჩვეულებრივ, იყენებენ ამავე საწარმოებში.

**კრისტალიზაცია.** გადამუშავებული მომწამვლელი ხსნარების რეგენერაციისთვის სათანადო ლითონის მარილების გამოყოფის გზით

გადამეტჯერებული ხსნარებიდან წყლის ნაწილობრივი აორთქლების შემდეგ საწარმოები იყენებენ კრისტალიზაციას. ამასთან, მიღებული მარილის კრისტალებს გამოყოფენ თხევადი ფაზიდან ფილტრაციის ან ცენტრიფუგირების გზით, ხოლო რეგენერირებულ ხსნარებს აბრუნებენ წარმოებაში.

**ექსტრაქცია.** კონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების მცირე რაოდენობით ჩაშვებისას ორგანული მინარევებისაგან (აქროლადი და არააქროლადი ფენოლების, ნავთობპროდუქტების, პესტიციდებისგან) მათ გასაწმენდად მიმართავენ ექსტრაქციულ მეთოდს. მას იყენებენ მოპოვებული ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაციის ან მათი მაღალი კომერციული ღირებულების შემთხვევაში, ასევე, ჩამდინარი წყლების გადამუშავებისას, რომლებიც შეიცავენ მაღალტოქსიკურ ნივთიერებებს, როდესაც მიუღებელი ან შეუძლებელია სხვა ცნობილი მეთოდის გამოყენება. გამოყენების სფეროა ამოღებული ნივთიერებები საწყისი კონცენტრაციით 2000 - 30000 მგ/ლ და მაღალი ნარჩენის კონცენტრაციით.

### **3.6. ჩამდინარი წყლების გაწმენდის დესტრუქციული მეთოდები**

**ნეიტრალიზაცია.** თუ სამრეწველო ჩამდინარი წყლები შეიცავენ თავისუფალ მჟავებს ან ფუძეებს, რომლებიც განაპირობებენ გარემოს მჟავა ( $\text{pH} < 7$ ) ან ტუტე ( $\text{pH} > 7$ ) რეაქციას, ამ შემთხვევაში ბევრი საწარმო იყენებს ნეიტრალიზაციას, რადგან ჩამდინარი წყლების ჩაშვება წყალსატევებში ან საკანალიზაციო სისტემებში დაუშვებელია, თუ მათი  $\text{pH}$  სიდიდე 6.5-ზე (მჟავა წყალი) დაბალია ან 8.5-ზე (ტუტე წყალი) მაღალია. გარდა ამისა,  $\text{pH}$  რეგულირებას იყენებენ წყლის დამუშავებისას კოაგულაციის და ფლოკულაციის მეთოდით დალექვის, დაჟანგვის, აღდგენის პროცესში.

**მჟავა ჩამდინარი წყლების განეიტრალეზა.** ჩამდინარი წყლების მჟავა გარემო ( $\text{H}^+$  იონების გაზრდილი კონცენტრაცია) განპირობებულია მათში არსებული თავისუფალი მინერალური (გოგირდის, მარილის, აზოტის, ორთოფოსფორის, ფთორწყალბადის და ა.შ.) და (ნაკლებად) ორგანული

მჟავებით. გარდა ამისა, ასეთი ჩამდინარი წყლების ნეიტრალიზაცია აუცილებელია მილსადენების და საკანალიზაციო ნაგებობების კოროზიის თავიდან ასაცილებლად. ადგილობრივი პირობებიდან გამომდინარე, ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას საწარმოები იყენებენ მჟავა ჩამდინარი წყლების ნეიტრალიზაციის შემდეგ საშუალებებს:

- მჟავა და ტუტე ჩამდინარი წყლების ურთიერთნეიტრალიზაცია მათი შერევისას;
- ნეიტრალიზაცია ტუტე რეაგენტებით: კაუსტიკური სოდა, კალციონირებული სოდა, კალციუმის ჰიდროქსიდი (კირი), კალციუმის კარბონატი (კირქვა, დოლომიტი);
- ნეიტრალიზაცია წარმოების ნარჩენებით, მაგალითად, აცეტილენის სადგურების კარბიდის შლამი, შლამი წყლის ქიმიური დარბილების დანადგარებიდან და ა.შ.;
- ნეიტრალიზაცია ფილტრაციით ნეიტრალიზაციის მასალების მეშვეობით: კირქვა -  $\text{CaCO}_3$ , დოლომიტი -  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , მაგნეზიტი -  $\text{MgCO}_3$ .

**ტუტე ჩამდინარი წყლების ნეიტრალიზაცია.** ჩამდინარი წყლების ტუტე გარემო ( $\text{OH}^-$ -იონების მაღალი კონცენტრაცია) განპირობებულია მასში თავისუფალი მწვავე ტუტის (ნატრიუმის ჰიდროქსიდი, კალიუმის ჰიდროქსიდი), ტუტემიწიანი ლითონების ფუძეების (კალციუმის, მაგნიუმის, ბარიუმის ჰიდროქსიდები), ტუტე და ტუტემიწიანი ლითონების კარბონატების, ამიაკის არსებობით. ტუტე ჩამდინარ წყლებს საწარმოს წყალსატევში ან კანალიზაციაში ჩაშვებამდე ანეიტრალეზენ არა მხოლოდ წყლის ობიექტებსა და ბიოლოგიური გაწმენდის ნაგებობების ჩამდინარი წყლების ჩაშვების პირობების შესაბამისად, არამედ ბეტონის დაშლის თავიდან ასაცილებლად და მილსადენში კარბონატული ნალექის ინტენსიურობის შესამცირებლად.

ადგილობრივი პირობებიდან გამომდინარე, ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას საწარმოები იყენებენ ტუტე ჩამდინარი წყლების ნეიტრალიზაციის შემდეგ საშუალებებს:

- მჟავა და ტუტე ჩამდინარი წყლების ურთიერთნეიტრალიზაცია მათი შერევისას (წარმოებისას - თუ ასეთები არის საწარმოში);

- მინერალური მჟავებით (გოგირდის, მარილის, აზოტის) ნეიტრალიზება;
- ჰაერის CO<sub>2</sub> განეიტრალეება მათი ხანგრძლივი შენახვისას ღია აუზებში ან აერირებულ ჰაერში;
- ნახშირბადის დიოქსიდით ან ჰაერის CO<sub>2</sub> ნეიტრალიზაცია ქაფის აპარატებში ან სკრუბერებში; შეზღუდვა - კალციუმის მაღალი სიხისტე (> 0.7 მგ-ე / ლ);
- საქვების საცეცხლურის გაზებით ნეიტრალიზაცია, თბოელექტროსადგური ქაფის აპარატებში ან სკრუბერებში; შეზღუდვა - კალციუმის მაღალი სიხისტე (> 0.12 მგ-ე/ლ) აირების - SO<sub>2</sub>-ის, SO<sub>3</sub>-ის არსებობისას.

**ქიმიური დალექვა.** ჩამდინარი წყლებიდან მძიმე იონების (Fe, Cu, Zn, Ni, Sn, Pb, Hg, Cr<sup>+3</sup>, Cd და სხვ.) და მსუბუქი (Al, Ti, Be) ლითონების ამოსაღებად, მაგალითად, გალვანურ წარმოებაში, საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს ამ ნივთიერებების გამოყოფის მეთოდს ძნელადხსნადი ნაერთების სახით pH გარკვეული მნიშვნელობით; მათი ამოღება ეფუძნება ძნელადხსნადი ჰიდროქსიდების, კარბონატების, ძირითადი მარილების წარმოქმნას წყლის ტუტე რეაგენტების დამუშავებისას ძნელადხსნადი ნაერთების ხსნადობის ზღვრის, ამოსაღები ნივთიერებების ნარჩენი კონცენტრაციის მოთხოვნების, წარმოქმნილი ნალექების რაოდენობის გათვალისწინებას.

ჩამდინარი წყლებიდან სულფატების, სულფიტების, სულფიდების, ფოსფატების, ფთორიდების, არსენატების ამოსაღებად ბევრი საწარმო იყენებს მათ გადაყვანას ძნელადხსნად ნაერთებად ისე, რომ ითვალისწინებს კალციუმის, რკინის და ალუმინის მარილების მეშვეობით გაწმენდილი წყლის ხარისხისადმი მოთხოვნებს ამოსაღები ნივთიერებების ნარჩენი კონცენტრაციის მიხედვით.

ჩამდინარი წყლებიდან მძიმე ლითონების, ფთორიდების, ფოსფატების, ქრომატების ამოსაღებად ბევრ საწარმოში გამოიყენება ელექტროქიმიური და გალვანოქიმიური დალექვა.

### 3.7. ჟანგვითი და აღდგენითი მეთოდები

ტოქსიკური მინერალური და ორგანული ნივთიერებების დესტრუქციით მათი დაბალტოქსიკურ ან არატოქსიკურ ნაერთებად გარდაქმნით (ხშირ შემთხვევაში -  $\text{CO}_2$  და  $\text{H}_2\text{O}$ ) საწარმოები იყენებენ ჟანგვის მეთოდებს, მათ შორისაა:

- აქტიური ქლორით დაჟანგვა - ციანიდების, ფენოლების, როდანიდების, გოგირდის ნაერთების დესტრუქციით;
- ოზონით დაჟანგვა - ციანიდების, ფენოლების, როდანიდების, სინთეტიკური ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების, პესტიციდების, ალდეჰიდების, ლიგნინების, გოგირდის ნაერთების დესტრუქციისთვის;
- წყალბადის პეროქსიდით დაჟანგვა - ციანიდების, როდანიდების, საღებავების, სინთეტიკური ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების დესტრუქციისთვის;
- კატალიზატორებზე ჟანგბადის დაჟანგვა - ციანიდების, როდანიდების, სულფიდების, მერკაპტანების დესტრუქციისთვის;
- კალიუმის პერმანგანატით დაჟანგვა - ციანიდების, როდანიდების, არაიონოგენური სინთეტიკური ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების დესტრუქციისთვის;
- ანოდზე ელექტროქიმიური დაჟანგვა - კონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების უმნიშვნელო მოცულობის გაუვნებლებისათვის ციანიდების, როდანიდების, საღებავების და სხვა ორგანული ნაერთებისგან;
- თხევადი ფაზური დაჟანგვა, ციკლონურ ღუმელში, ფსევდოსითხიანი ფენის ღუმელში დაწვა - მაღალკონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების უმნიშვნელო რაოდენობის გაუვნებლებისათვის, რომელიც დაბინძურებულია სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებით.

ნაერთებში ზოგიერთი ტოქსიკური ნივთიერების გადასაყვანად, რომლებიც წყლიდან უფრო ადვილად ამოიღება დალექვით ან აირისებრი პროდუქტის სახით, ბევრი საწარმო იყენებს აღდგენით მეთოდებს.

ქრომის შემცველი ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად საწარმოთა უმრავლესობაში იყენებენ ნაერთების  $\text{Cr}^{+6}$  რეაგენტულ აღდგენას. ამასთან,  $\text{Cr}^{+6}$  აღდგენა ხდება  $\text{Cr}^{+3}$ -ში, მისი შემდგომი დალექვით ძნელადხსნადი ჰიდროქსიდების სახით pH გარკვეული მნიშვნელობისას. აღმდგენის სახით იყენებენ ნატრიუმის სულფიტს და ბისულფიტს,  $\text{SO}_2$ -ს, მარილს,  $\text{Fe}^{+2}$ -ს, ჰიდრაზინს.

ნიტრიტების შემცველი შედარებით კონცენტრირებული ჩამდინარი წყლების დასამუშავებლად იყენებენ ნიტრიტების რეაგენტულ აღდგენას მათი მოლეკულურ აზოტში გარდაქმნით. როგორც აღმდგენი, გამოიყენება  $\text{Fe}^{+2}$ , შარდოვანა, სულფამინური მჟავა და სხვ. მეთოდის გამოყენება შემოიფარგლება პროცესის დასაწყისში მჟავა გარემოს შექმნით ( $\text{pH}_{\text{დაწყ}} < 3$ ).

ჩამდინარი წყლების მძიმე ლითონების იონების, მათ შორის,  $\text{Cr}^{+6}$ -ისგან გასაწმენდად იყენებენ ელექტროქიმიურ აღდგენას, რომელიც დაფუძნებულია ჩამდინარი წყლების ელექტროლიზზე ფოლადის ან ალუმინის ანოდების გამოყენებით, რომელიც ექვემდებარება ელექტროლიტურ დაშლას. პროცესი ჩამდინარი წყლების რკინის და ალუმინის მარილებით დამუშავების მსგავსია, მაგრამ მისი რეალიზაციისას არ ხდება წყლის გამდიდრება სულფატებით და ქლორიდებით. ელექტროქიმიური აღდგენისთვის საწარმოები იყენებენ სხვადასხვა სახის კათოდებს: ფოროვანს; მოცულობით-ყრილ გამდინარს (ბრტყელი ფირფიტები ინერტული დატვირთვით).

**კოაგულაცია, ფლოკულაცია (ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად მომზადება).** წყლიდან ნივთიერებების ამოღების ინტენსიფიკაციისთვის, რომელთა მოცილება არ ხერხდება არარეაგენტული მექანიკური მეთოდებით (დალექვით, ფლოტაციით, ფილტრაციით), საწარმოთა უმრავლესობაში იყენებენ კოაგულაციას და ფლოკულაციას. კოლოიდურ და წვრილდისპერსიულ ნივთიერებებს მიეკუთვნებიან ნაწილაკები, რომელთა ზომა არანაკლებ 100 მკმ-ია (ორგანული ჰიდროფობული დაბინძურება (ნავთობპროდუქტები, ზეთები, ცხიმები), ჰიდროფილური ორგანული ნივთიერებები (ცელულოზა, საღებავები, ცილები, ლიგნინი) და მინერალური ნივთიერებები (თიხის ნაწილაკები, სხვადასხვა ლითონის ჟანგეული).

ჩამდინარი წყლებიდან გახსნილი ორგანული და მინერალური ნაერთების (ანიონური და კათიონური საღებავები, ანიონური და კათიონური

ზედაპირული აქტიური ნივთიერებები, ფოსფატები, სულფატები, მძიმე ლითონების კათიონები და კომპლექსური ანიონები და ა.შ.) გამოსაყვანად, რომლებიც შეიძლება შევიდნენ ქიმიურ ურთიერთობაში კოაგულანტებთან და ფლოკულანტებთან უხსნადი ნაერთების წარმოსაქმნელად, ბევრ საწარმოში მიმართავენ ქიმიურ დალექვას კოაგულანტების და ფლოკულანტების გამოყენებით. ქიმიურ დალექვას საწარმოები ჩვეულებრივ იყენებენ, როგორც გაწმენდის ცალკეულ მეთოდს, რადგან რეაგენტებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას შემუშავებული და ამჟამად რეკომენდირებული ახალი ნივთიერებები და არა მხოლოდ ცნობილი მარკის კოაგულანტები და ფლოკულანტები.

ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად საწარმოები იყენებენ არაორგანულ (რკინის და ალუმინის მარილები) და ორგანულ (წყალში ხსნადი დამუხტული დაბალმოლეკულური პოლიმერები - პოლიელექტროლიტები) კოაგულანტებს.

კოაგულანტების დამატებით ნაწილაკების აგრეგაცია ხდება კოლოიდური და წვრილდისპერსიული ნაწილაკების მუხტის შემცირების ხარჯზე კოაგულანტის საპირისპიროდ დამუხტული იონებით, რაც იწვევს ნაწილაკების კინეტიკური სტაბილურობის დაკარგვას. მინერალური კოაგულანტების გამოყენებისას დაჩქარდება აგრეგაციის პროცესი კოლოიდური და წვრილდისპერსიული ნაწილაკების ადსორბციის ხარჯზე კოაგულანტების ჰიდროლიზის პროდუქტებით.

ორგანული ფლოკულანტების დამატებით კოლოიდური და წვრილდისპერსიული ნაწილაკების აგრეგაცია მსხვილ ფანტელებად ხდება ფლოკულანტის მაკრომოლეკულის ადსორბციის შედეგად ერთდროულად რამდენიმე ნაწილაკზე, რომლებიც პოლიმერული ხიდებით უკავშირდებიან ერთმანეთს.

ნაგებობების დანიშნულებიდან და შერევის მეთოდიდან გამომდინარე, წყლის კოაგულაციური გაწმენდისთვის საწარმოები იყენებენ შემდეგ ნაგებობებს: ჰიდრაულიკურ და მექანიკურ შემრევებს რეაგენტის გადასამუშავებელ წყალთან შესარევად; ფანტელის შემქმნელ ჰიდრაულიკურ და მექანიკურ კამერებს ნაწილაკების მსხვილი ზომის ფანტელებად აგრეგაციისთვის. ამასთან, რეაგენტულ მეურნეობაში შედის გამხსნელი ავზები პნევმატური (შეკუმშული ჰაერის) ან მექანიკური შერევისათვის კოაგულანტების, ფლო-

კულანტების და დამხმარე რეაგენტების გასახნელად, ასევე, გასავლის ავზები პნევმატური ან მექანიკური შერევისათვის კოაგულანტის ან ფლოკულანტის მომზადებული ხსნარების და დამხმარე რეაგენტების ტუმბოდოზატორებით დოზირებისთვის საწმენდ ნაგებობებზე, რეაგენტების ხსნარების შერევის და ჩამდინარი წყლების ნაკადის კვანძებზე, რეაქციის კამერასა და ფანტელების შექმნის კამერაში.

### **3.8. ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდა**

ქანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნის/ქანგბადის ქიმიური მოთხოვნის თანაფარდობისას, რომელიც 0,35-ზე მეტია, pH= 6-8, წყლის ტემპერატურა 8°C - 37°C და უხეში დისპერსიული მინარევების კონცენტრაცია შეადგენს 150-დან 2000 მგ/ლ-მდე, საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს ბიოლოგიურ გაწმენდას.

ბიოლოგიურ გაწმენდას ბუნებრივ პირობებში (ჩამდინარი წყლების შედარებით მცირე რაოდენობის გასაწმენდად, ასევე, მათ შემდგომ გასაწმენდად) ბევრი საწარმო ახორციელებს ფილტრაციის ველზე, გასაფილტრ სანგრებში, გასაფილტრ ჭებში, ასევე ბიოლოგიურ ტბორში წყლის მცენარეულით და მის გარეშე, და დაჟანგვის არხებში, სადაც მრავლდებიან მიკროორგანიზმები, რომლებიც მონაწილეობენ ბუნებრივი წყალსატევების (მდინარეები და ტბები) თვითგაწმენდაში.

ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიურ გაწმენდას ხელოვნურ პირობებში ბევრი საწარმო ახორციელებს ბიოლოგიურ საწმენდ ნაგებობებზე, რომლებიც მოიცავს ბიოფილტრებს, სხვადასხვა მოდიფიკაციის აეროტენკებს ჰაერის მიწოდებით, ასევე, ანაერობულ რეაქტორებს.

ბიოქიმიურად გაწმენდილი ჩამდინარი წყლების დამატებით გასუფთავებას ბევრი საწარმო ახორციელებს ბიოლოგიური ტბორების გამოყენებით (გათვლილია მათში 2-დან 17 დღით, ხოლო რიგ შემთხვევებში - უფრო მეტი ხნით წყლის არსებობის ხანგრძლივობაზე).

ბიოფილტრებში წყლის გაწმენდას ახორციელებენ მიმაგრებული მიკ-



როფლორით, რომელიც ვითარდება ჩატვირთვის ზედაპირზე. როტორულ ბიოფილტრებში, ბიოტენკებში, ბიოსორბერებში მრავლდებიან მიკრო-ორგანიზმები და მათი შენარჩუნება ხერხდება პლასტმასის ინერტული საცმის, ქვიშის ან გააქტიურებული ნახშირის დახმარებით.

აზოტის და ფოსფორის ბიოგენური ელემენტების ღრმად მოცილების საჭიროების შემთხვევაში, საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს ნიტრიფიკაციის (ამონიური აზოტის დაჟანგვა ნიტრიტებსა და ნიტრატებამდე) და დენიტრიფიკაციის (ნიტრიტების და ნიტრატების აზოტის დაჟანგული ფორმების აღდგენა აირისებრ აზოტამდე) პროცესებს.

ფოსფორის უფრო სიღრმისეულ მოშორებას აღწევენ ბიორეაგენტული მეთოდის გამოყენებით. კონცენტრირებული (ჟბმ) ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას წინასწარი გადამუშავებისთვის რამდენიმე საწარმოში იყენებენ ანაერობულ მეთოდს, მეთანრეზერვუარებს.

წყლის გამოსაყოფად ჭარბი ბიომასიდან, რომელიც წარმოიქმნა ბიოლოგიური გაწმენდის პროცესში, საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს მეორად სალექარს ან შლამის გამომყოფს, რომლებიც შედიან ბიოლოგიური ნაგებობების შემადგენლობაში ბიოფილტრებით და აეროტენკებით.

ბიოლოგიური გაწმენდის შემდეგ ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს მარცვლოვან ფილტრებს, ზოგჯერ ფილტრებს სინთეტიკური დატვირთვით. ყველაზე ღრმა გაწმენდას თევზსამეურნეო წყალსატევებში ჩაშვების ნორმების შესაბამისად ბიოსორბერებზე გააქტიურებული ნახშირის ბიოლოგიური რეგენერაციით იღებენ.

მსხვილ საწარმოთა უმრავლესობა საწარმოო საკანალიზაციო სისტემის ჩამდინარი წყლების ბიოქიმიურ გაწმენდას ატარებს ქარხნის და ქარხნის დასახლების საყოფაცხოვრებო ჩამდინარ წყლებთან ერთად, რომლებმაც გაიარეს წინასწარი მექანიკური გაწმენდა. ბიოქიმიურ გაწმენდას ახორციელებენ ერთ- ან ორსაფეხურიანი სქემით. ორსაფეხურიანი სქემით დასაშვებია ჩამდინარი წყლების მიწოდება სულფიდების უფრო მაღალი შემცველობით და უფრო მაღალი ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნით.

ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდისას იყენებენ მემბრანების ღრუ ბოჭკოვან ულტრაფილტრაციულ ბლოკებს ფილტრაციის გარე

ზედაპირით, რომელიც ეშვება წყლის აერირებულ მოცულობაში. ეს მიდგომა საშუალებას იძლევა წყალი მაღალი ხარისხით გაიწმინდოს მეორადი სალექარის გამოყენების გარეშე.

**ჩამდინარი წყლების გაუვნებლება.** მათში არსებული პათოგენური მიკრობების გასანადგურებლად და წყალსატევის ამ მიკრობებით ინფიცირების საშიშროების აღმოსაფხვრელად გაწმენდილი ჩამდინარი წყლების ჩაშვებისას მრავალ საწარმოში იყენებენ ჩამდინარი წყლების დეზინფექციას შემდეგი მეთოდებით:

- ქიმიური (ძირითადად იყენებენ ქლორის, ოზონის სხვადასხვა ნაერთს);
- ფიზიკური (თერმული, ულტრაბგერითი დამუშავების, ულტრაიისფერი გამოსხივების გამოყენებით);
- ჩამდინარი წყლების დეზინფექციას ხელოვნური და ბუნებრივი ბიოცენოზის პირობებში.

დეზინფექციის ფიზიკური მეთოდებიდან საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს გადამუშავების ულტრაიისფერ მეთოდს, რომელიც მოითხოვს ორჯერ ნაკლებ კაპიტალდაბანდებას და ხუთჯერ ნაკლებ საექსპლოატაციო ხარჯებს ოზონირებასთან შედარებით.

ზოგიერთი საწარმო იყენებს ჩამდინარი წყლების ულტრაბგერით დამუშავებას, როგორც მათი დეზინფექციის, ასევე წყალზე დაფუძნებული ტექნოლოგიური სითხეების ბაქტერიოლოგიური დაზიანების თავიდან ასაცილებლად, რაც იძლევა ტექნოლოგიურ პროცესში სპეციალური ბაქტერიციდული პრეპარატების გამორიცხვას.

**ჩამდინარი წყლების ნალექის გაუწყლოება.** ჩამდინარი წყლების ნალექის გაუწყლოების მრავალი მეთოდიდან საწარმოები ნალექების თვისებებისა და ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით ირჩევენ შესაბამისს.

ნალექის მოცულობის შესამცირებლად, რომელიც წარმოიქმნება ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას (ქარბი აქტიური შლამი, პირველადი დალექვის ნალექი, შლამი ფიზიკურ-ქიმიური დამუშავების შემდეგ და ა.შ.), საწარმოები იყენებენ მექანიკურ გაუწყლოებას დეკანტერული ცენტრიფუგების საშუალებით,

რომელიც იძლევა ნალექის ტენიანობის შემცირების საშუალებას 70%-75%-მდე, ამასთან, იყენებენ ნალექის წინასწარ კონდიცირებას რეაგენტების გამოყენებით ფაზების გამოყოფის შესამსუბუქებლად.

აქტიურად იყენებენ ლენტისებრ ფილტრ-პრესს, რომელშიც ფილტრაციის პროცესი მიმდინარეობს პოლიელექტროლიტებით წინასწარი ფლოკულაციური დამუშავებისას, ფილტრქსოვილის ორ ლენტს შორის დაწნებით.

ზოგიერთ საწარმოში იყენებენ კამერიან ფილტრ-პრესს, რომელზეც, ლენტისებრი ფილტრ-პრესისგან განსხვავებით, მთელი ნალექი ექვემდებარება გაუწყლოებას, ანუ, არ არსებობს ნალექის ჩაშვების შესაძლებლობა. ასევე, იყენებენ მემბრანულ ფილტრ-პრესს, რომელიც კამერიანი ფილტრ-პრესის გაუმჯობესებული ვარიანტია.

აქტიური შლამის გაუწყლოებისთვის, რომელიც დამუშავებულია ნალექის ფლოკულანტის ხსნარით, შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციით 2000 - 35000 მგ/ლ, მრავალ საწარმოში იყენებენ ხრახნულ-გასაწურ პრესს, ამასთან, ნალექის გაუწყლოება აღწევს ტენიანობის 81%-ს ან ნაკლებს.

ნარჩენების შეკუმშვის, დაპრესვის და დაგროვების საწყაოში ან ტრანსპორტიორზე გადასაცემად, რომელსაც იღებენ საკანალიზაციო მოწყობილობებიდან, ზოგიერთი საწარმო იყენებს ხრახნულ-გასაწურ პრესს. ზოგჯერ იყენებენ ნალექის გაუწყლოებას ტომრისებრი ვაკუუმ-ფილტრების მეშვეობით.

რამდენიმე საწარმოში (ძირითადად - გამამდიდრებელ სამთო, ქვანახშირის და მეტალურგიული მრეწველობის ქარხნებში) ფართოდაა დანერგილი დისკის ვაკუუმ-ფილტრები.

ზოგიერთ საწარმოში იყენებენ ნალექის ღრმა გაუწყლოების ტექნოლოგიას, რომელიც ჩამოყალიბდა დგუშიანი ტუმბოს საფუძველზე და რომელიც ეყრდნობა კამერული პრეს-ფილტრის უპირატესობას და ცენტრიფუგების ავტომატიზაციის მაღალ დონეს.

ფილტრაციის და ცენტრიფუგირების პრინციპებზე დაფუძნებული ნალექის მექანიკური გაუწყლოება მოითხოვს მათ წინასწარ კონდიცირებას

მინერალური რეაგენტების (კოაგულანტების/ფლოკულანტების) და (ან) სინთეტიკური პოლიმერების შეყვანის გზით.

რიგი საწარმოებისა იყენებს ნალექის გაუწყლოებას შლამის ბაქანზე.

### 3.9. შეწონილი ნივთიერებებისგან გაწმენდა

თითქმის ყველა განხილული საწარმოს ჩამდინარი წყალი შეიცავს შეწონილ მინერალურ და ორგანულ მინარევებს.

შეწონილი ნივთიერებებისგან ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს მექანიკურ მეთოდებს კოაგულაციით და ფლოკულაციით, ასევე მათ გარეშე, ესენია: გაწურვა, დალექვა, ჰიდროციკლონირება, ცენტრიფუგირება, ფლოტაცია, ფილტრაცია.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა უხეში მსხვილდისპერსიული ნაწილაკების, ასევე, წყალში მოხვედრილი ნაგვის გამოსაყოფად საწარმოთა უმრავლესობა ღარში, რომელშიც მიედინება ჩამდინარი წყლები, აყენებს ცხაურებს, ხშირ შემთხვევაში, შეჩერებულ ნივთიერებათა ხელით ამოღებით. ზოგჯერ ცხაურებს აყენებენ ქაში და სატუმბი სადგურების მიმდებარე რეზერვუარებში.

წვრილდისპერსიულ შეწონილ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს საწარმოები, ძირითადად, ამორებენ სალექარებში. საწარმოთა უმრავლესობაში იყენებენ ჰორიზონტალურ სალექარებს, რომლებიც კომპაქტურია და, აქედან გამომდინარე, თანაბარი ჰიდრავლიკური დატვირთვისას (სხვა სალექარებთან შედარებით) მცირე ფართობს იკავებენ. ამავე დროს, ბევრი საწარმო აწყდება ასეთი სალექარების ექსპლოატაციასთან დაკავშირებულ სირთულეებს მიღებული ნალექის მოშორების სიძნელის გამო, რადგან გამოყენებული საფხეკი მექანიზმები ხშირად გამოდიან მწყობრიდან და ნალექის გადმოტვირთვა ხდება ხელით სალექარის დაცლის შემდეგ. მცურავი დაბინძურების (ნავთობპროდუქტების, ზეთების, ცხიმების და ა.შ.) მოშორების ინტენსიფიკაციისთვის ზოგიერთი საწარმო იყენებს სხვადასხვა კონსტრუქციის „სკიმერებს“.

რადგან სალექარებში შეწონილ დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გამოყოფის ეფექტურობა დამოკიდებულია დალექვის ხანგრძლივობაზე, ბევრი საწარმო იყენებს თხელფენიანი ფირფიტებით აღჭურვილ ბლოკებს (მოდულებს), რაც ამცირებს ჩამდინარი წყლების დალექვის დროს. ამასთან, დანალექის ფენა შეადგენს 70-100 მმ-ს, რაც ტრადიციული სალექარის ფენაზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია.

ბევრი საწარმო გაწმენდის ეფექტურობის გასაზრდელად ატარებს არსებული სალექარების დამატებით აღჭურვას თხელფენიანი ბლოკებით.

ბევრ საწარმოში ჩამდინარი წყლების შეწონილი ნივთიერებებისგან გაწმენდის ეფექტურობის ზრდისათვის იყენებენ რეაგენტებს - კოაგულანტებს და ფლოკულანტებს. ამ შემთხვევაში სალექარი ნაგებობები რთავენ რეაქციის და ფანტელის წარმოქმნის კამერებს.

რამდენიმე საწარმოში, მაგალითად, შავი მეტალურგიის ქარხნებში, ჩამდინარი წყლები შეწონილი დამაბინძურებელი ნივთიერებებისგან იწმინდება ღია ჰიდროციკლონებში, რომლებიც მუშაობენ ფლოკულანტების გამოყენებით.

წვრილდისპერსიულ შეწონილ ნივთიერებათა, მაგალითად, წვრილი ქვანახშირის, მოსაშორებლად ბევრი საწარმო იყენებს რეაგენტულ დაწნევით ფლოტაციას. ამასთან, საწმენდ ნაგებობაში ფლოტაციის კამერა შეეთავსება ფანტელის წარმოქმნელ კამერას.

შეწონილი წვრილდისპერსიული კოლოიდური დამაბინძურებელი ნივთიერებებისგან ღრმად გასაწმენდად ბევრი საწარმო იყენებს ფილტრაციას, რაც, ხშირ შემთხვევაში, იძლევა გაწმენდილი წყლის გამოყენების საშუალებას ტექნოლოგიურ პროცესებში.

გასაფილტრ ნაგებობებს ბევრი საწარმო იყენებს, როგორც დამოუკიდებელ ნაგებობას მეორე და მესამე საფეხურის გაღიავენის სალექარის ან ფლოტატორის სქემაში.

ჩამდინარი წყლების მექანიკური გაწმენდის ეფექტის ასამაღლებლად ბევრი საწარმო იყენებს რეაგენტებს, ანუ გაწმენდის ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს. საწარმოთა უმრავლესობა იყენებს კოაგულანტებს, ფლოკულანტებს და კომპოზიტურ მასალებს, ამასთან, ახდენს pH კორექტირებას ტუტის და მჟავას გამოყენებით. ზოგიერთ საწარმოში ალუმინის პოლიოქსიქლორიდის,

როგორც რეაგენტის, გამოყენების გზით ჩამდინარი წყლების კოაგულაციური გაწმენდის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად იზრდება.

რამდენიმე საწარმოში იყენებენ მხოლოდ ფლოკულანტებს; ზოგჯერ ერთად იყენებენ კოაგულანტებს და ფლოკულანტებს.

ჩამდინარი წყლების გაღიავებისას, რომლებიც შეიცავენ სხვადასხვა სახის მინერალურ მინარევებს (ნახშირის მტვერს, ალუმოსილიკატებს, ყვითელი რკინის ოქსიდის პიგმენტს, ლითონების ჰიდროქსიდებს), დამოუკიდებელ რეაგენტებად მრავალ საწარმოში იყენებენ ანიონურ და კათიონურ ფლოკულანტებს.

მინერალური კოაგულანტის ანიონურ ან კათიონურ ფლოკულანტებთან ერთად გამოყენებისას აღწევენ ჩამდინარი წყლების შეწონილი ნივთიერებებისგან გაწმენდის 92-97%-ს, ამავე დროს, იკლებს ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნის შემცირება 30% -დან 89%-მდე, საწყისი სიდიდიდან გამომდინარე.

საღებავი წარმოების ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად იყენებენ ალუმინის ქლორიდს ან სულფატს, რომლის დოზაა 50-100 მგ/ლ, რაც იძლევა ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნის შემცირების საშუალებას 65%-68%-ით და შეწონილ ნივთიერებათა მოშორების საშუალებას 88 - 99%-ით.

სარეცხი ხსნარების გასაწმენდად, რომლებიც გამოიყენება სარეცხ დანადგარებში, იყენებენ ულტრაფილტაციას, რადგან ულტრაფილტრაციული მემბრანები აკავებენ დაბინძურებას, რომელიც სარეცხ ხსნარშია, წმენდენ სარეცხ ხსნარს ელემენტებისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისგან დაახლოებით 70%-ით, რაც გარკვეული კორექტირების შემდეგ იძლევა მისი ხელმეორედ გამოყენების საშუალებას. ზოგიერთ საწარმოში დანადგარები ჩართულია რეცხვის ტექნოლოგიურ ციკლში.

ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად, რომლებიც წარმოიქმნება ტყავის ქარხნებში და რომლებიც შეიცავენ არა მხოლოდ შეწონილ ნივთიერებებს, არამედ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს და სულფიდებს (13-87 მგ/ლ ჩამდინარი წყლების ნაკადში), ამ დარგის ზოგიერთი საწარმო რეაგენტებად იყენებს მომჟავო რკინის სულფატს, ასევე ალუმინის სულფატს ფლოკულანტთან ერთად შემდგომი დალექვით. ამასთან, ჩამდინარი წყლის გაწმენდა აღწევს 70%-85%, როდესაც შეწონილ ნივთიერებათა საწყისი

შემცველობა არის 1895 მგ/ლ. რკინის აჯასპის გამოყენებისას, რომლის დოზა 0.8-1.5 გ/ლ-ია, სულფიდების კონცენტრაცია მცირდება 106-დან 15-20 მგ/ლ-მდე.

ფოსფორული სასუქების წარმოებაში წარმოქმნილ ჩამდინარ წყლებს ახასიათებს მჟავა შემცველობა, ამიტომ ბევრი საწარმო ანეიტრალებს მათ კირით, ხოლო დალექვის დასაჩქარებლად ამატებენ ფლოკულანტებს. გაწმენდის ეფექტი აღწევს 99.8%-ს.

## თავი 4

### მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის სრული ბიოლოგიური გაწმენდა „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე

ამ თავში წარმოდგენილია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე. შესაბამისად, მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქებისთვის წარმოდგენილია გაწმენდის შესაძლო ენერგოეფექტური ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების რეკომენდებული კომპლექსებით, რომლებიც ნორმატიული მოთხოვნის ფარგლებში უზრუნველყოფს ჩამდინარი წყლის გაუვნებლების სათანადო ხარისხს. ამ თავში აგრეთვე განხილულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჭარბტენიანი ეკოსისტემებით წმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს პირობებში, როგორც ჩამდინარი წყლების გაწმენდის არსებული ტექნოლოგიების შესაძლო ალტერნატივა. აგრეთვე განხილულია ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელების აგება საქართველოს პირობებისათვის ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში ევროსაბჭოს დირექტივის შესაბამისად (91/271/EEC სტანდარტი).

ჩამდინარი წყლების დასაპროექტებელ საწმენდ ნაგებობებში თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიურ დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიების“ გამოყენება რთულად რეალიზებადი საინჟინრო ამოცანაა, რომლის გადაწყვეტა უნდა განხორციელდეს ენერგოეფექტურობის მოხოვნების გათვალისწინებით.

აღსანიშნავია, რომ ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების დაპროექტება ბუნებრივი წყლების საწმენდი ნაგებობების დაპროექტებასთან შედარებით რთულ ხასიათს იძენს. აღნიშნული სირთულე განპირობებულია ჩამდინარ წყლებში არსებული სხვადასხვა შედგენილობისა და შემადგენელი ინგრედიენტების მრავალფეროვნებით, რომელთა გაუვნებლება მოქმედი



სტანდარტების მიხედვით (ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების ფარგლებში) აუცილებელია მათ წყალსატევებში ჩაშვებამდე. ამასთან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო სახის ჩამდინარი წყლები მეტ-ნაკლებად შესწავლილია, ვიდრე სამრეწველო ჩამდინარი წყლები (რადგან სარეწველო ჩამდინარი წყლები შედგენლობის მიხედვით რთული კომპონენტების, ხოლო საწმენდი ნაგებობები - რთული კომპლექსებისაგან შედგება), ამიტომ ქმედით აქტუალობას იძენს თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიურ დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიების“ გამოყენება საკვლევ პრობლემაში.

მიზნის მისაღწევად ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების დამპროექტებელმა შესაბამისი საპროექტო გადაწყვეტილებების მიღების პროცესში უნდა გაითვალისწინოს მოქმედების მექანიზმების მიხედვით რიგი ურთიერთგამომრიცხავი კრიტერიუმებისა, კერძოდ:

1. გაწმენდის ხვედრითი კაპიტალური დანახარჯები, ლარი/მ<sup>3</sup>;
2. ერთეულ მწარმოებლურობაზე საწმენდი ნაგებობების მიერ დაკავებული ხვედრითი ფართობი, მ<sup>2</sup>/მ<sup>3</sup>;
3. ხვედრითი დადგენილი სიმძლავრე, კვტ.სთ/მ<sup>3</sup>;
4. ხვედრითი რესურს- და ენერგომოხმარება, გ/მ<sup>3</sup> (რეაგენტი) და კვტ.სთ/მ<sup>3</sup> (ენერგომოხმარება);
5. გაწმენდილი წყლის თვითღირებულება, ლარი/მ<sup>3</sup>;
6. ხვედრითი საექსპლოატაციო დანახარჯები, ლარი/მ<sup>3</sup>.

ენერგოეფექტურობის მისაღები დონე დაპროექტების სტადიაზე, რომელსაც მოითხოვს შემკვეთი, უნდა შეესაბამებოდეს აღნიშნული კრიტერიუმების გარკვეულ მნიშვნელობებს. სრულებითაც არ არის შეუძლებელი, რომ საწმენდი ნაგებობები, რომლებიც მოიხმარენ მცირე ელექტროენერგიას, ვერ უზრუნველყოფენ გაწმენდის სათანადო ხარისხს, ან კიდევ ის ნაგებობები, რომლებიც მოიხმარენ ბევრ ელექტროენერგიას, შეძლებენ ძალიან კარგად გაწმინდონ წყალი. აქედან აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების დაპროექტება უმეტესწილად გარკვეული საინჟინრო ხასიათის შემოქმედებითი ხელოვნებაა, ამიტომ ენერგოეფექტურობის მიღწევის წინასწარმოცემული მკაცრი რეგლამენტირებული წესები არ არსებობს. ამასთან დაკავშირებით ისიც

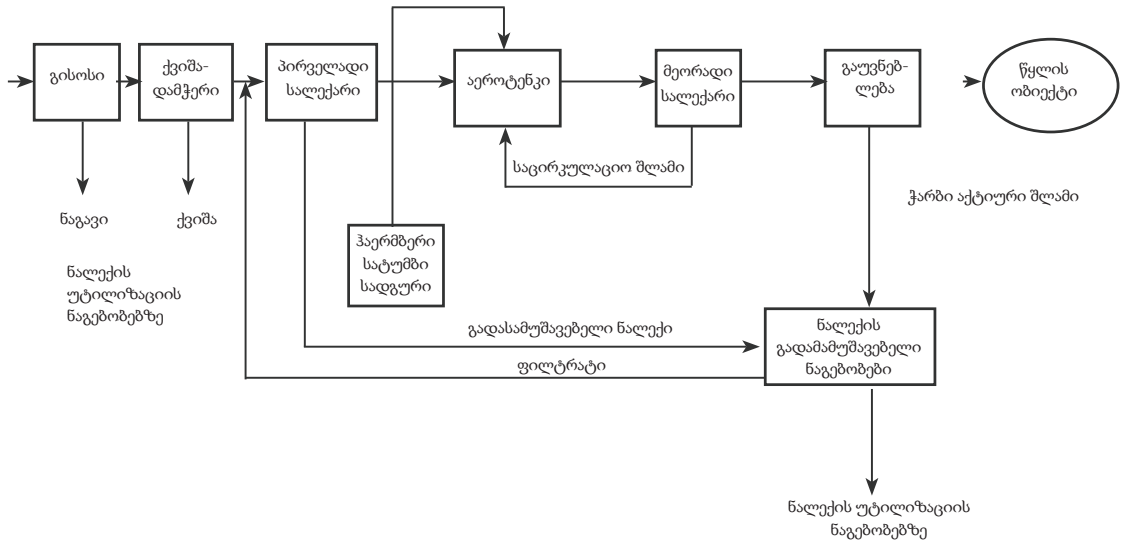
გასათვალისწინებელია, რომ საწმენდი ნაგებობების დაპროექტების პროცესში, გარდა აღნიშნული ენერგოეფექტურობის მახასიათებელი კრიტერიუმებისა, დაპროექტების პროცესში კომპლექსში ჩართულ უნდა იქნას როგორც ჩამდინარი წყლების შედგენილობა, ასევე მათი უთანაბრო მოდინების რეჟიმი. როგორც ცნობილია, სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების მოდინების უთანაბრობის კოეფიციენტის სიდიდე შეიძლება აღებულ იქნას  $K=1,4$ -ის ტოლი. ასეთ პირობებში მიიჩნევენ, რომ დასაპროექტებელი საწმენდი ნაგებობები იფუნქციონირებენ ეფექტურად.

დღეისათვის ქვეყანაში მოქმედებს ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ხარისხის უზრუნველყოფისა და მათ წყალსატევებში ჩაშვებაზე მკაცრად რეგლამენტირებული ნორმები, განსაზღვრული ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების ფარგლებში, რომლებიც შეესაბამება თევზსამეურნეო დანიშნულების წყალსატევებს. მაგრამ ისიც ნიშანდობლივია, რომ არსებული ეკონომიკური და ტექნოლოგიური მდგომარეობა ყოველთვის ამის განუხრელი დაცვის საშუალებას ვერ იძლევა.

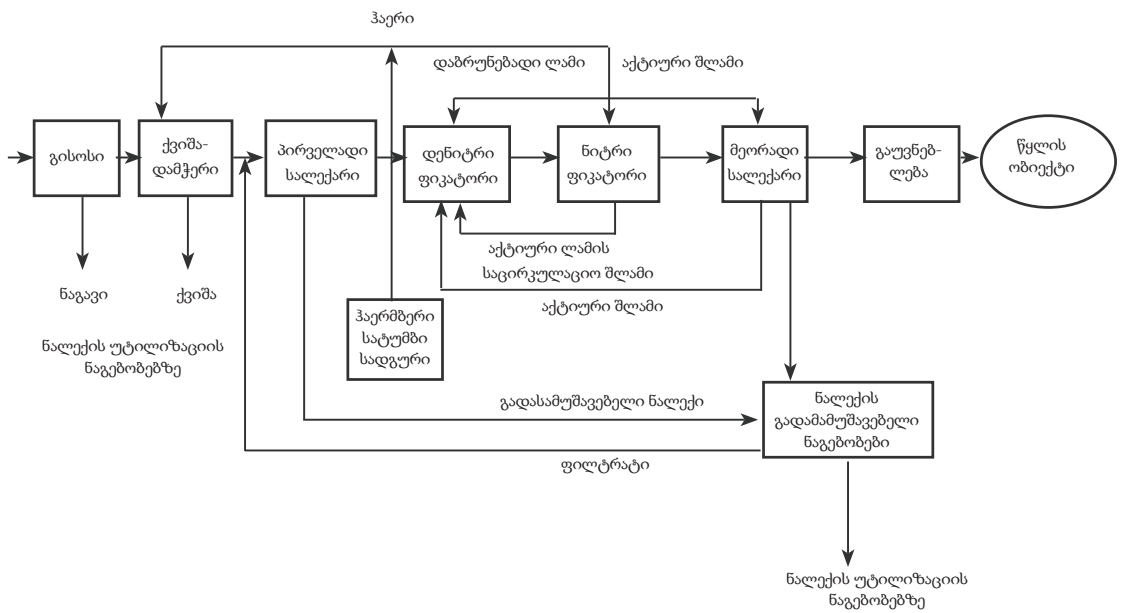
საყურადღებოა განვიხილოთ მცირე დასახლებული ადგილების (5-10 ათ. მ<sup>3</sup>/დღ. ღამ. ხარჯი), საშუალო ქალაქების (80-მდე ათ. მ<sup>3</sup>/დღ. ღამ. ხარჯი) და დიდი ქალაქების (80 და მეტი ათ. მ<sup>3</sup>/დღ. ღამ. ხარჯი) ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შედეგები, რომლებიც მიღწეული იყო საზღვარგარეთის (რუსეთის) პრაქტიკაში რეალურად მოქმედ სადგურებში და ხასიათდებიან საექსპლუატაციო ფუნქციონირების საკმაოდ მაღალი ენერგოეფექტურობით (ცხრ.1).

შესაბამისად, ზემოთ მოყვანილი სამივე ტიპის დასახლებებისთვის მე-4, მე-5 და მე-6 ნახ-ებზე წარმოდგენილია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის პრინციპული ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების კომპლექსებით, რომლებიც ნორმების შესაბამისად უზრუნველყოფენ გაწმენდის მაღალ ხარისხს, ფუნქციონირებენ თანამედროვე „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შესაბამისად და ხასიათდებიან მაღალი ენერგოეფექტურობით.

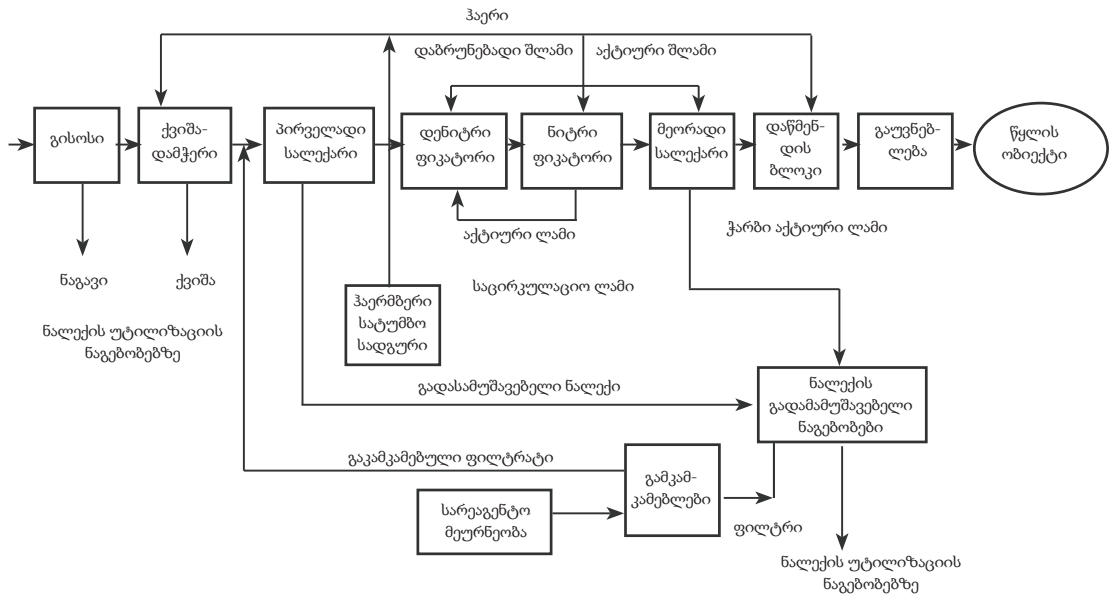
ჩამდინარი წყლების შედგენილობის მაჩვენებლები, მგ/დმ3	დასახლების ტიპი					
	მცირე დასახლებები		საშუალო ქალაქები		დიდი ქალაქები	
	საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობა		საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობა		საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობა	
	გაწმენდამდე	გაწმენდის შემდეგ	გაწმენდამდე	გაწმენდის შემდეგ	გაწმენდამდე	გაწმენდის შემდეგ
შეწონილი ნაწილაკები	250-300	12-20	200	10-15	250	3-8
ქქმ სრული	250-300	15-20	250	5-15	250	3-7
ამონიუმის აზოტი	40-მდე	5-7	30	1-2	30	0,39
ნიტრიტული აზოტი	-	-	0,1	-	0,5-მდე	0,1
ნიტრატული აზოტი	10-მდე	15	5,0	12-15	6-მდე	9,1
ფოსფორი (P)	2-4	1-2	3,0	1-2	15-მდე	0,2-1,0
ნავთობპროდუქ.	4	1	4,7	0,5	4	0,05-0,50
ზან-ზედ. აქტ. ნივ	-	1	4	0,8	4	0,2
მინერალიზაცია	-	-	1000	1000	1000	1000
ქლორიდები	-	-	300	300	300	300
სულფატები	-	-	100	100	100	100
ქრომი-სამვალენ.	-	-	0,5	0,30	0,5	0,3
ნიკელი	-	-	0,25	0,1	0,25	0,10
სპილენძი	-	-	0,1	0,05	0,1	0,05
თუთია	-	-	0,3	0,20	0,3	0,20
ტყვია	-	-	0,05	0,03	0,05	0,01



**ნახ.4.** მცირე დასახლების საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობების ტექნოლოგიური სქემა



**ნახ.5.** საშუალო ქალაქების საკანალიზაციო საწმენდინაგებობების ტექნოლოგიური სქემა



**ნახ.6 .** დიდიქალაქების საკანალიზაციო საწმენდი ნაგებობების ტექნოლოგიური სქემა

აღსანიშნავია, რომ მე-4, მე-5, მე-6 ნახ-ებზე მოყვანილი ენერგოეფექტური ტექნოლოგიური სქემები შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა ნაგებობების ტიპური კომპლექსების შესაბამისად, კერძოდ:

1. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვანებლების ბლოკი.
2. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვანებლების ბლოკი.
3. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, დაწმენდის ბლოკი, გაუვანებლების ბლოკი.
4. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები ნიტრიფიკაცია-დენიტრიფიკაციით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვანებლების ბლოკი.
5. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები ნიტრიფიკაცია-დენიტრიფიკაციით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვანებლების ბლოკი.

6. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, დაწმენდის ბლოკი, გაუვნებლების ბლოკი.
7. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მემბრანული ბიორეაქტორი, გაუვნებლების ბლოკი.
8. მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მემბრანული ბიორეაქტორი, გაუვნებლების ბლოკი.

„საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად რეკომენდებულია მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის პრინციპული ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების აღნიშნული კომპლექსებით, რომლებიც მისაღები ენერგოეფექტურობით ხასიათდებიან (ნახ.4,5,6).

ავტორის ხედვით, გადაწყვეტილებათა მიღების 4-ეტაპიანი სტრატეგიის შესაბამისად (გეგმა>კეთება>შემოწმება>ქმედება), მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის შემუშავებულია „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისი მენეჯმენტის ბლოკ-სქემა მათი ენერგოეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელების მიზნით (ნახ.7):

საყურადღებოა აღინიშნოს, რომ საწმენდი ნაგებობების კომპლექსში აეროტენკები ელექტროენერჯის ტევადი - 47%-ის მომხმარებლებია, აგრეთვე მათზე მოდის დანახარჯების -26%, ხოლო ტერიტორიულ განთავსებაზე - 54%, ამიტომ აეროტენკების დაპროექტებას უნდა დაეთმოს განსაკუთრებული ყურადღება, როგორც ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესების შესაძლო რეზერვს.

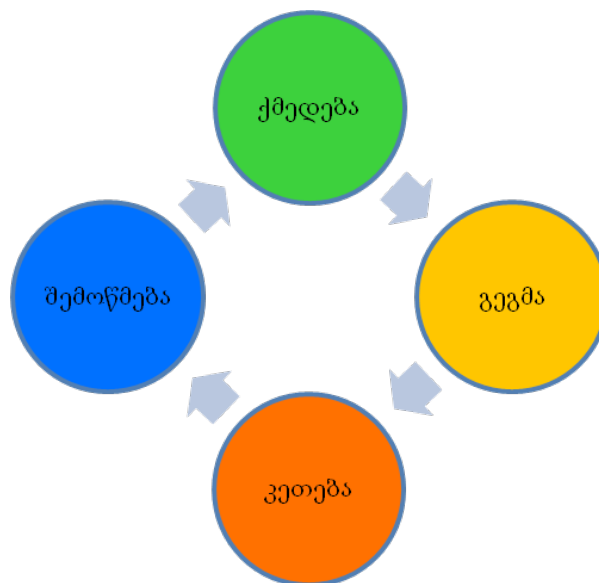
აღსანიშნავია აგრეთვე რიგი მახასიათებლებისა, რომლებსაც საწმენდი ნაგებობების დაპროექტების პროცესში ჯეროვანი ყურადღება უნდა გაეწიოს, კერძოდ: კომპლექსის შემადგენელი ნაგებობების ტერიტორიული განთავსება, ნაგებობების ენერგოდანახარჯები და ავტომატიზაციის აღჭურვის დონე (რომელიც უშუალოდ დაკავშირებულია ენერგოეფექტურობის მახასიათებლების დადგენასთან), ეკოლოგიური გარემოს უზრუნველყოფა, სამონტაჟო-აღდგენითი სამუშაოების წარმოების ორგანიზაცია და საიმედოობა და ა.შ.

გ ე ბ მ ა	<p><b>ნაბიჯი 1. მომზადება</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ენერგოპოლიტიკის ჩამოყალიბება და საერთო მიზნები</li> <li>■ საერთო ხედვებზე დამყარებული შეთანხმებული მმართველობის უზრუნველყოფა</li> <li>■ “ენერგოფენქტორის”(energy fenceline) შერჩევა</li> <li>■ საუკესესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის (BAT) შერჩევა</li> <li>■ ეფექტური მმართველი გუნდის შერჩევა</li> <li>■ თითოეული თანამშრომლის მიერ ენერგოეფექტურობაზე პასუხისმგებლობის გააზრების მიღწევა</li> </ul> <p><b>ნაბიჯი 2. საბაზო ენერგომომხმარებლის დონის განსაზღვრა</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ საბაზო და სანიმუშო ობიექტების დაარსება</li> <li>■ ენერგოაუდიტის ჩატარება</li> <li>■ არაეფექტური და ენერგიატევადი კვანძების იდენტიფიცირება</li> </ul> <p><b>ნაბიჯი 3. ენერგოეფექტური ხედვის შექმნა და გაუმჯობესების პრიორიტეტები</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ სამომავლო პროექტებისა და ქმედებების განსაზღვრა და შეფასება</li> </ul> <p><b>ნაბიჯი 4. მიზნებისა და ამოცანების განსაზღვრა</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ენერგეტიკაში მიზნებისა და ამოცანების განსაზღვრა პრიორიტეტული უბნების გაუმჯობესებისათვის</li> <li>■ ეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრა</li> </ul>
-----------------------	---

კ ე თ ე ბ ა	<p><b>ნაბიჯი 5. მმართველობის სისტემის შექმნა ენერგოეფექტურობის პროგრამის განხორციელებისათვის</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ სამოქმედო გეგმის შექმნა</li> <li>■ ზემდგომ ხელმძღვანელობასთან შეთანხმება და უფლებამოსილების განსაზღვრა</li> <li>■ ოპერაციების მართვისა და კონტროლის რეგლამენტის დანერგვა</li> <li>■ დამტკიცების შემდეგ პრაქტიკაში დანერგვა</li> </ul>
----------------------------	---

შ ე მ ო წ მ ე ბ ა	<p style="text-align: center;"><b>ნაბიჯი 6. ენერგოეფექტურობის ამაღლების მართვის პროგრამის შედეგების მონიტორინგი და შეფასება</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ობიექტზე არსებული და დაგეგმილი პარამეტრების თანხვედრის გადამოწმება</li> <li>■ შედეგის გასაუმჯობესებლად დამატებითი ღონისძიებების აუცილებლობის დაზუსტება</li> <li>■ მოწყობილობების მომსახურების გეგმის შედგენა</li> <li>■ მიღწეული პროგრესის შეფასება</li> <li>■ შესაბამისი ზომების გატარება, თუ პროგრესი არ შეესაბამება დასახულ მიზნებს</li> <li>■ წყლის ხარისხის მონიტორინგი</li> </ul>
---	--

ქ მ ე დ ე ბ ა	<p style="text-align: center;"><b>ნაბიჯი 7. ენერგოეფექტურობის ამაღლების პროგრამის მხარდაჭერა</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ მუდმივი ზრუნვა ენერგოეფექტურობის მომგებიანობაზე</li> <li>■ მიღებული გამოცდილების გათვალისწინება</li> <li>■ პერსონალისა და ხელმძღვანელობის პროცესებში ჩართულობის ზრდა</li> <li>■ წარმატების გაზიარება</li> </ul>
---------------------------------	---





#### 4.1. ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ეკოსისტემებით გაწმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილება

თანამედროვე მდგომარეობით, დაბინძურებისგან წყლის ობიექტების დაცვისა და პლანეტის წყლის რესურსების შენარჩუნების პრობლემა ნებისმიერი ქვეყნის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია. ამასთან დაკავშირებით წყლის ბუნებრივი ობიექტების დაცვის, მომზადებისა და ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ქმედითი ტექნოლოგიების შემუშავებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან წყალი ადამიანის არსებობისათვის განკუთვნილი სისტემის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტია. დღეისათვის ქალაქებისა და სამრეწველო საწარმოთა წყალმომარაგებისათვის საჭირო წყლის დაახლოებით 80 % აღებულია ზედაპირული წყალსატევებიდან. ამასთან, წყალსატევების წყლის ხარისხი ხშირ შემთხვევაში ისეა დაბინძურებული, რომ მათგან მკვებავი წყალსადენების საწმენდი ნაგებობები და მათში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესები ვეღარ უზრუნველყოფენ წყლის გაწმენდის საჭირო ხარისხს, არსებული ტრადიციული ინტენსიური სისტემების გამოყენება კი დაკავშირებულია ენერჯის დიდ ხარჯვასა და მაღალკვალიფიციური მუშახელის არსებობასთან (*Shrader Frechette, K. 1994*).

ზედაპირული წყლის რესურსების არადამაკმაყოფილებელი მდგომარეობა ზოგადად გამოწვეულია მათში დასახლებული ადგილების სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ფეკალური წყლების არასაკმარი გაწმენდით ან კიდევ სრულიად გაუწმენდავი ჩამდინარი წყლების წყალსატევებში ჩაშვებით. წინამდებარე ნაშრომში, უცხოეთის გამოცდილების მიხედვით, განხილულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი საწმენდი ჭარბტენიანი ეკოსისტემის გამოყენების შესაძლებლობის საკითხი.

საერთო მდგომარეობით ცნობილია, რომ დღეისათვის საყოფაცხოვრებო, სასოფლო-სამეურნეო და საწარმოო ჩამდინარი წყლების მთელი მოცულობის დაახლოებით 30% წყალსატევებში ჩაშვებამდე არ იწმინდება და მათ შედგენილობაში არსებული ელემენტები (ძირითადად, აზოტისა და ფოსფორის ნაერთი) ჩამდინარ წყლებთან ერთად წყალსატევში აკუმულირდება. განსაკუთრებით ხშირად ასეთი სიტუაციაა მცირე დასახლებულ პუნქტებში, სადაც სათანადო ტრადიციული საწმენდი საშუალებების მშენებლობის

ღირებულება ადგილობრივი ბიუჯეტისათვის მიუწვდომელია. ამავ დროს, ჯარიმები და გადასახადები ასეთი წყლების ჩაშვების გამო მნიშვნელოვან თანხებს აღწევს (Cairns, J., Jr. 1996).

საყოველთაოდ ცნობილია ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად ეფექტური ბუნებრივი საწმენდი საშუალებებისა და ქიმიური რეაგენტების გამოყენების შესახებ. ამასთან, დასაბუთებულია მათი გამოყენების უპირატესობა და ეფექტურობა საწმენდი სადგურების მშენებლობასა და ექსპლუატაციაში (შედარებით დაბალი ღირებულებების გამო), აგრეთვე, უმეტეს შემთხვევაში, გაწმენდილი წყალი საწმენდ სადგურებში შედარებით მაღალი ხარისხისაა, ვიდრე ხელოვნურ ნაგებობებში (გუბურა, ტბორი და სხვ.). ამასთან, ჟანგვითი პროცესების ინტენსიურობა ზამთრის პერიოდში, კლიმატურ პირობებთან დაკავშირებით, შედარებით მცირდება, რაც გამოწვეულია გასაწმენდად შემომავალი ჩამდინარი წყლების დაბალი ტემპერატურით.

ამრიგად, აქტუალური პრობლემაა ახალი ტიპის საწმენდი ნაგებობების შემუშავება, რომლებიც შეძლებენ შემომავალი ჩამდინარი წყლების დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაში (ზამთარში) საიმედო ფუნქციონირებას, თანაც, სამშენებლო ღირებულება და საექსპლუატაციო ხარჯები ტრადიციულთან შედარებით 10-20-ჯერ დაბალი იქნება. თანამედროვე მიდგომებით, ასევე პროგრესული და პერსპექტიული მიმართულებაა წყალმცენარეების ბუნებრივი ეკოსისტემის გამოყენებით ჩამდინარი წყლების გაწმენდა. ეს მეთოდი საკმაოდ იაფია, არ არის რთული და გამოირჩევა გარკვეული ეფექტურობით (Robert L. Knight, 2004).

ჭაობიან წყალსატევებში ფოსფორი ფოსფატის სახით შედის ორგანულ და არაორგანულ ნაერთში. ფოსფორი ასრულებს არა მხოლოდ სტრუქტურულ, არამედ ენერგეტიკულ ფუნქციასაც. ბუნებრივ წყალში მისი მაღალი ან დაბალი შემცველობა იწვევს ბიოტებისთვის არასასურველ შედეგს. წყალსატევში ფოსფორის (P) შეტანა ხდება სხვადასხვა წყაროს ხარჯზე. ეს შეიძლება მოხდეს მდინარის წყლის ჩადინებისას, ეროზიის დროს ნიადაგიდან ბუნებრივი შეტანით, ატმოსფერული ნალექის შედეგად და სხვ. გარდა ამ ბუნებრივი წყაროებისა, არსებობს ფოსფორის წყალსატევში შეტანის სხვა წყაროც, როგორცაა P-ს გამოყვანა დამუშავებული სასოფლო-სამეურნეო მიწებიდან, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ფოსფორშემცველი ჩამდინარი წყლებიდან.

ფოსფორი ქარბტენიან ადგილებში, რომელსაც უშუალოდ წყალმცენარეები და მაკროფიტები იყენებენ, შეადგენს ძირითად დამაკავშირებელ რგოლს ორგანულ და არაორგანულ ფოსფორს შორის (Anderson. B. C, 2004).

არაორგანული ფოსფორის ჯგუფის შედგენილობაში შედიან ხაზოვ-ნად შეკუმშული და ციკლური პოლიფოსფატები. მაგალითად, ორგანუ-ლი ფოსფორი შედის ფოსფოლიპიდებში, ნუკლეინის მჟავასა და პოლიფოსფატებში.

ორგანული ფოსფორის ფორმები შეიძლება შემდეგნაირად დაჯგუფდეს:

- ადვილად დაშლადი P;
- ნელა დაშლადი ორგანული P.

ფოსფორის ციკლი ნიადაგში მნიშვნელოვნად განსხვავდება აზოტის ციკლისგან. არ არსებობს ვალენტობის არავითარი ცვლილება არაორგანული P ბიოტური ასიმილაციის დროს, ან მიკროორგანიზმების მიერ ორგანული P-ს დაშლის დროს. ნიადაგის ფოსფორი, პირველ რიგში, ხდება ვალენტობისას +5, რადგან უფრო დაბალი დაჟანგვა თერმოდინამიკურად მერყევია.

განსაკუთრებით რთული ურთიერთობები იქმნება ფოსფორის გაცვლისას წყლის მასებსა და გრუნტს შორის. ხდება ფოსფორის დაგროვება გრუნტში მცენარეთა და ცხოველთა ნაშთების ხარჯზე, ასევე, ფოსფორის ადსორბცია დალექილ სექტორზე და ქვედა ნალექებით შთანთქმის ხარჯზე. თუმცა ქვედა ნალექი ფოსფორის ძირითადი ავტოქტონური რეზერვია, წყალსაცავში P-ს მიმოქცევის დროს მისი ორგანული ნაერთები ანაერობულ პირობებში გრუნტიდან თითქმის არ ერთვიან, თავისთავად ძალიან ნელა ხდება მათი მინერალიზაცია და არააქტიურ მდგომარეობაში იმყოფებიან. ფოსფორის ნაერთების ზუსტი ბუნება არასაკმარისად არის შესწავლილი.

ასევე ცოტა რამ არის ცნობილი ფოსფორის დამარხვის ვადების შესახებ ორგანიზმების ნაშთის სახით. არაორგანული ფოსფორისათვის დამახასიათებელია მისი ასოციაცია რკინასთან, ალუმინთან, კალციუმთან, ფთორიდებთან, ასევე, ადსორბცია ანიონების სახით თიხასა და ორგანულ კომპლექსებზე. მჟავა ნალექში დომინირებენ P -კომპლექსები რკინასა და ალუმინთან, ტუტესა და ნეიტრალურში - კალციუმის ფოსფატთან, რაც შეეხება ფოსფორის სხვა ფორმებს, მათი ტრანსფორმაცია დამოკიდებულია, პირველ რიგში, მიკროორგანიზმების სიცოცხლისუნარიანობაზე, ასევე pH,

ტემპერატურასა და ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალზე. ქვედა ნალექიდან ფოსფორის გატანის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს ჟანგბადის შემცველობა, pH, ტემპერატურა, ფოსფორის კონცენტრაცია წყალში (Jacques Brisson, 2006).

მაკროფიტები P მიმოქცევისას ასრულებენ მინიმუმ სამ ფუნქციას: ფოსფორს წყლიდან გამოყოფენ და აგროვებენ მას თავის ორგანოებში, შეაქვთ წყალში ფიზიოლოგიური მდგომარეობის ცვლილებისას, და, ბოლოს, მიმაგრებული მცენარეები ასრულებენ „სატუმბ“ ფუნქციას გადატუმბავენ ფოსფორშემცველ წყალს გრუნტიდან მიწისზედა ორგანოებში. უმაღლეს წყალმცენარეთა სხვადასხვა ეკოლოგიურ ტიპს შორის მხოლოდ მიმაგრებულ მცენარეთა სახეობებს შეუძლია ფოსფორის გადატუმბვა გრუნტიდან წყალში, მისი ფესვებით ამოღება და ფოთლებით და ყლორტებით გამოყოფა სიცოცხლისუნარიანობის პროცესში (Lemons, J., 1995).

მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ჭაობი უკვე დიდი ხანია და მეტად წარმატებით გამოიყენება ურბანული დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად. ცივი კლიმატის ჭარბტენიანი ტერიტორიების პროექტები სირთულეებს აწყდებიან. ცივ პერიოდში, როგორც კი ჭარბტენიანი ტერიტორიებზე ჩნდება ყინულის ფენა, იწყება წყლის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი განსხვავება ჰაერის ტემპერატურისაგან. ჩამდინარი წყლების ტემპერატურა 1 ან 2 გრადუსამდე დაიწევს და დაიწყება ყინულისფენის სისქის განხილვა პროექტში. ყინულის ფენის ფორმირება შეამცირებს წყლის სიღრმეს. ამიტომ, ცივკლიმატიან ჭარბტენიან ტერიტორიებზე დამატებით ქმნიან წყალზევით კიდეს, რათა შეძლონ მოსალოდნელი ყინულის ფენის გამოყენება. ამასთან, ენერგეტიკული ბალანსის გაანგარიშება განისაზღვრება ყინულის ფენის ფორმირების ხარისხით. ყინულის სისქე წლიდან წლამდე შეიძლება მნიშვნელოვნად შეიცვალოს თოვასა და ტემპერატურასთან დაკავშირებული ცვლილებების გამო (Robert H Kadles, 2008).

დადგენილია, რომ ფლორიდის შტატში კვიპაროსის ჭაობებში გამავალი ჩამდინარი წყლებიდან გამოაქვთ აზოტის - 98% და ფოსფორის - 90%. ასევე, ინდოეთის ქალაქ კალკუტაში საერთოდ არ არსებობს ჩამდინარი წყლების საწმენდი სადგურები. სამაგიეროდ, იქიდან ყველა საყოფაცხოვრებო ჩასადინარი მიმართულია მოდიფიცირებულ წყალ-ჭარბტენიანი მიწების კომპლექსისკენ, რომლებიც გამოიყენება თევზის მოსაშენებლად (რომლის

პროდუქცია ყოველწლიურად შეადგენს ჰექტარზე 2,4 ტონას), აგრეთვე ბრინჯის მინდვრების მოსარწყავად.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ბუნებრივი სისტემის სასარგებლოდ შეიძლება აღინიშნოს:

- 1) აღნიშნული მეთოდის გამოყენება შეიძლება როგორც ცალკე სახლის, ასევე მთელი საწარმოს ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად;
- 2) აღნიშნული სისტემის ასაშენებლად და შემდგომ შესანარჩუნებლად უმნიშვნელო ხარჯებია საჭირო;
- 3) ცალკე სახლის ან კოტეჯის ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად იყენებენ მცირე ტერიტორიებს;
- 4) ამ სისტემის დახმარებით ხდება ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნილების (ჟბმ<sub>5</sub>) დაშეწონილ ნივთიერებათა შემცირება 90 %-ით, საერთო აზოტისა და ფოსფორისა - 60-90 %-ით, E-coli და სხვა ენტერობაქტერიებისა - 99.99%-ით;
- 5) აღნიშნული სისტემა შეიქმნა, რათა მთელი წლის განმავლობაში იმუშაოს ღია ცის ქვეშ კანადის ცივი კლიმატის პირობებში (გათბობის გაყვანილობის გარეშე), გაწმენდის და მწარმოებლურობის მოცულობის შეუმცირებლად;
- 6) ამ მეთოდის გამოყენებით შეიძლება გაიწმინდოს ნებისმიერი ჩამდინარი წყლები მკვებავი ნივთიერებების, ორგანული და შეწონილი ნივთიერებების მაღალი შემცველობით (საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები, ცელულოზურ-ქაღალდის ფაბრიკის ჩამდინარი წყლები, ჩასადინარი ორანჟერეიდან და ა.შ.);
- 7) საჭიროების შემთხვევაში ასეთი გაწმენდის შემდეგ გაწმენდილი წყლების გამოყენება შეიძლება სასმელ-სამეურნეო და საყოფაცხოვრებო წყალმომარაგებისა და სხვა მიზნებისათვის.

აღნიშნულ მეთოდს იყენებენ მშენებლობის პროცესში *Niagara-Under-Glass, Kitchenmaykoosib Inninuwug, Toronto Waldorf School*. დასრულებულია *Kortright Centre, Metro Toronto Conservation Authority*.

აღსანიშნავია, რომ აშშ-ს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს ბუნებრივი რესურსების დაცვის სამსახური დაინტერესებულია აშენებული ჭაობების შესაძლებლობებით სასოფლო-სამეურნეო ჩასადინარების (არხების) გასაწმენდად ცივ კლიმატურ პირობებში.

ამრიგად, მთავარი პრობლემა, რომელსაც ამერიკელი მკვლევრები წააწყდნენ, არის ზაფხულის პირობებში ტენიანობის ნაკლებობა, რამაც გამოიწვია ცალკეული მონაკვეთების, ტერიტორიების სიმშრალე, ხოლო ზამთრის პირობებში გამოსაშვები ხვრელების მოყინვა და სექციების ზედაპირის გაყინვა მცირეთოვლიანი ზამთრის დროს (*Cairns, J., Jr. 1996*). ქალაქში საწვიმარ-სადრენაჟე არხებში არის წყალი, რომელიც შეიცავს ბევრ დამაბინძურებელ ნივთიერებას. მათი დაგროვება ხდება თოვლის დნობის და წვიმების შედეგად. ასეთ წყალშია ნავთობი, პესტიციდები, მძიმე ლითონები, ბაქტერიები, ვირუსები და ა.შ.

ამასთან, ხელოვნური ნაგებობების (მაგალითად, დამბის) მშენებლობა წყლის ობიექტების მახლობლად საჭიროებს სპეციალურ ნებართვას. ნაგებობების დაპროექტება უნდა მოხდეს ისე, რომ შეამციროს *wetland* განადგურება და გააუმჯობესოს წყლის ხარისხი. ნებისმიერ საქმიანობაზე, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს წყლის დაბინძურება, ნებართვას გასცემს გარემოს დაცვის ორგანიზაცია. შემოთავაზებული საქმიანობა არ უნდა არღვევდეს წყლის ხარისხის სტანდარტებს. დამპროექტებლებმა ან მენეჯერებმა უნდა გაითვალისწინონ, რომ გარკვეული დროის შემდეგ უნდა მოხდეს *wetland* სათანადო ფუნქციონირება (*Gulding Principles, 2000*).

წელიწადის სხვადასხვა დროს ჭარბობს ამა თუ იმ აბიოგენური ფაქტორის გავლენა. მრავალი სახის ვეგეტაციის შესაძლებლობას განსაზღვრავს ტემპერატურის ფაქტორი. ყველა ცოცხალი ორგანიზმი მუდმივად განიცდის ტემპერატურის ზემოქმედებას. ხშირად ტემპერატურა არის ციკლის შეცვლის სიგნალი ცხოველთა ცხოვრებაში. ტემპერატურის ფაქტორი დიდწილად გავლენას ახდენს ორგანიზმების განაწილებაზე წყალში და მათი გაცვლითი რეაქციების ინტენსივობაზე.

ტემპერატურის დაწევას მიკროორგანიზმები ბევრად უკეთესად უძლებენ, ვიდრე დათბობას. ვეგეტაციური უჯრედების ბევრ სახეობას შეუძლია გაუძლოს ერთჯერად გაყინვას. უჯრედების დაღუპვის მიზეზს მრავალი მკვლევარი ხედავს უჯრედებში დაგროვილი ყინულის კრისტალების გამანგურებელ მოქმედებაში. სწრაფი გაყინვის შემთხვევაში (1-100C), როდესაც უჯრედებში კრისტალების ნაცვლად იქმნება მინისებრი ყინულის მასა, მკვდარი უჯრედების პროცენტი მნიშვნელოვნად იკლებს (*Joan Garcia, 2005*).

წყლის ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ჰაერისა. წყალსატევის გაყინვის დროს გამოყოფილი სითბოს დიდი რაოდენობა ხელს უშლის წყლის ქვედა ფენების გაცივებას. ორგანიზმის ტემპერატურისადმი დამოკიდებულებაზე გავლენას ახდენს ტემპერატურის ხასიათი - თანდათანობითი ან მოულოდნელი.

ზამთარში დაკლებულ ტბორებში ჩამირული მცენარეები, როგორც წესი, კვდებიან, მაგრამ გამოსაზამთრებლად ტოვებენ კვირტებს (ტურიონებს). მათგან გაზაფხულზე ჩვეულებრივ ვითარდება ყლორტები, მაგრამ, ნახევრად წყალმცენარეებთან შედარებით, ოდნავ დაგვიანებით. ალბათ, ეს იმასთანაც არის დაკავშირებული, რომ წყალმცირე ადგილები გაზაფხულის პირველ დღეებში უფრო სწრაფად თბება. ტემპერატურის დაკლება 15°C-ზექვემოთ ხელს უწყობს ნალექიდან ფოსფორის გამოყვანის სიჩქარის შემცირებას, რაც შეიძლება აიხსნას დესტრუქციის შესუსტებით. აზოტის გამოყვანაზე ასევე გავლენას ახდენს ტემპერატურული ფაქტორი (*Herman, R, 1996*).

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის შესაძლებლობა უმაღლესი წყალმცენარეებით დაფუძნებულია თვითგაწმენდის ბუნებრივ პროცესებზე, რაც ინტენსიფიცირებულია მცენარეთა მოქმედებით. სამუშაოებს საფუძვლად დაედო კვლევის ლაბორატორიული მეთოდი. კვლევის შედეგებმა ცხადყო, რომ საუკეთესო სამწმენდი თვისებები აქვს ტბის ლელქაშს, ხოლო ყველაზე ეფექტურია სამეტაპიანი გაწმენდა შემდეგი სქემით: ლელქაში - ლერწამი. ასეთი კვლევების შედეგები ფართოდაა ცნობილი. ეს არის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მაგალითი უმაღლესი წყალმცენარეების გამოყენებით. ცხადია, თითოეულ ამ მცენარეს აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. მაგალითად, ლელქაში ხელს უშლის წყლის ბუნებრივ მიმოქცევას წყალსატევში, რაც იწვევს მის დაჭაობებას. ყველასათვის ცნობილი ლემნა წმენდს წყალსატევს ორგანიკისგან, მაგრამ, ამასთან, არღვევს მისი ჟანგბადის ბალანსს. მეცნიერები ცდილობენ მოძებნონ მცენარე მინიმალური „ნაკლოვანი“ მხარეებით, რომელიც მაქსიმალურად ეფექტურად გაწმენდს ჩამდინარ წყლებს. ახლა მკვლევართა მხედველობის არეში აღმოჩნდა ახალი ობიექტი - წყლის სუმბული (*Eichhornia crassipes*). ტროპიკული მცენარის ამ სახეობას აქვს რიგი უპირატესობები ადრე გამოყენებულ მცენარეებთან შედარებით. პირველ რიგში, ეიჰორნია წმენდს წყალს უფრო ღრმად, ვიდრე

სხვა მცენარეები; მეორეც, არათუ არ არღვევს ჟანგბადის ბალანსს, არამედ აუმჯობესებს კიდევ წყალსატევის ისეთ მაჩვენებლებს, როგორებიცაა: ჟანგბადის ბიოლოგიური მოხმარება და ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება; მესამე, წყლის სუმბულის მწვანე მასის გამოყენება შეიძლება მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში (*Shrader Frechette, K. 1994*).

აშენებული ჭარბტენიანი მიწები ფართოდ გამოიყენება ჩამდინარი წყლების დასამუშავებლად ცივ კლიმატურ პირობებში. ჩნდება მცენარეთა შერჩევის საჭიროება ცივი რეგიონებისათვის. სანაპირო ზონებში წყალსატევის მთელი მოსახლეობის შემადგენლობაში წყლის მცენარეები მნიშვნელოვან მონაწილეობას იღებენ წყლის ხარისხის გაუმჯობესებასა და აღდგენაში. მეცნიერები მცენარეებს აფასებენ სეზონის მიხედვით და ირჩევენ ცივი რეგიონებისათვის უფრო მდგრად მცენარეებს. ცივი კლიმატისადმი ყველაზე ადაპტირებულია მცენარეთა სახეობები - ლელქაში და ისლი. ეს მცენარეები ასუფთავებენ ჩამდინარ წყლებს გახსნილი ორგანული ნივთიერებებისაგან 40°C-ის დროსაც კი. შესწავლილ იქნა ლელქაშისა და ისლის ქიმიური მოთხოვნილება ჟანგბადის მიმართ, გახსნილი ორგანული ნახშირბადი და ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალი.

მცენარეები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან გახსნილი ნივთიერების გამოყვანით და ფესვთა ზონაში დაჟანგვის მიხედვით. მცენარეთა სამივე სახეობას გამოჰყავს გახსნილი ორგანული ნივთიერებები ცივ პირობებში. მშვიდ მდგომარეობაში,  $t=40^{\circ}\text{C}$  დროს, ორგანული ნივთიერებების გამოყვანა ჩამდინარი წყლებიდან უფრო ინტენსიურად ხდება, ვიდრე სასოფლო-სამეურნეო სეზონის დაწყებისას, როცა  $t=24^{\circ}\text{C}$ . საზოგადოებათა სტრუქტურა არ ავლენს მნიშვნელოვან ცვლილებებს სეზონიდან სეზონამდე. მცენარეთა ცალკეულ სახეობათა პოპულაცია მნიშვნელოვნად ძლიერდება საარსებო გარემოს მიხედვით. ნალექის ხასიათი ანაერობულიდან აერობულ ზედაპირულ ფენასთან იცვლება, გადადის ანაერობულში, წყლის ქვედა ფენებში ჟანგბადი იჭურება; ხშირი ლელქაში ხელს უშლის წყლის ცირკულაციას, ზაფხულში ზევიდან იქმნება წყლის გამთბარი ფენა, შეინიშნება ჟანგბადის კონცენტრაციის შიგასადღელამისო რხევა სიღრმის მიხედვით. ტემპერატურის ცვლილება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მცენარის მიერ ორგანული ნივთიერების გამოყვანაზე. ტემპერატურის



ცვლილებასთან ერთად იწყება მიკროორგანიზმების ადაპტირება, იცვლება მცენარეთა ნაირსახეობა (Kadlec, 1997). მცენარეთა ფესვები სეზონის განმავლობაში ახორციელებენ ჟანგბადის ტრანსპორტირებას.

ზოგიერთი მკვლევარი ვარაუდობს, რომ ჟანგბადის ტრანსპორტირება ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მნიშვნელოვანი კომპონენტია (მაგალითად, Cambell და Ogden, 1999). სხვა მკვლევრები უარყოფენ ამ ფაქტს და მიიჩნევენ, რომ გაწმენდა არ შეიძლება იყოს ეფექტური სეზონური ცვლილების და ტემპერატურის ვარდნის გამო.

ჰარბტენიანი მიწების მცენარეები, როგორც ცნობილია, ახორციელებენ ჟანგბადის ტრანსპორტირებას, რათა შეინარჩუნონ ანაერობული სუნთქვა და გამოიწვიონ ფიტოტოქსიკური ნაერთების დაჟანგვა ( $Fe_2^+$ ,  $Mn_2^+$ ,  $S_2^-$ ) რიზოსფეროში. ზოგიერთი მცენარე ჟანგბადის ტრანსპორტირებას ახორციელებს ფესვების ზონაში და ხელს უწყობს მიკრობულ აქტივობას (Reddy et al, 1989; Bodelier 1996; Armstrong, 1990) და ეს ზოგჯერ შეადგენს ჟანგბადის 90%-ს, რომელიც შედის სუბსტრატში (Reddy et al, 1989).

განხილულია დასახლებულ ადგილებში საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო ფეკალური ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჰარბტენიანი ეკოსისტემებით ტექნოლოგიური გაწმენდის დადებითი საზღვარგარეთული გამოცდილება. აღნიშნულია ასეთი სისტემების გამოყენების ეფექტურობა, იქ, სადაც სათანადო ტრადიციული საწმენდი საშუალებების მშენებლობის და ექსპლოატაციის ღირებულება ადგილობრივი ბიუჯეტისათვის მიუწვდომელია.

#### **4.2. ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჰარბტენიანი ეკოსისტემებით გაწმენდა**

თანამედროვე მდგომარეობით, მნიშვნელოვნად მომატებულია ქალაქების და დასახლებული ადგილების ურბანული ტერიტორიების მიმდებარე გარემოს დაბინძურების საფრთხე, რადგან ამ ტერიტორიებიდან ფორმირებული ჩამდინარი წყლებით მათი არასათანადო გაწმენდის ან გაუწმენდავად ჩაშვების შემთხვევაში ინტენსიურად შეიძლება დაბინძურდეს წყალსატევები (მდინარეები, ტბები და ა.შ.). ამასთან დაკავშირებით

ადამიანის სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო მოღვაწეობის შედეგად ზედაპირული წყლების გამოყენებით შეიძლება გავრცელდეს სხვადასხვა სახის პათოგენები ნიადაგსა და ატმოსფეროში (აეროზოლების სახით). აღიშნულიდან გამომდინარე, ჩამდინარი წყლები წყალსატევში ჩაშვებამდე შესაბამისად უნდა დამუშავდეს (გაიწმინდოს) ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში და შემდეგდა ჩაიშვას.

ნაშრომში საინფორმაციო-გაცნობის თვალსაზრისით წარმოდგენილია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი საწმენდი ეკოსისტემის შესაძლო მეთოდები.

ცნობილია ჩამდინარი წყლების ზოგადი შედგენილობა დამაბინძურებლების კონცენტრაციის ხარისხობრივი შეფასებების (სუსტი, საშუალო, ძლიერი) მიხედვით (ცხრ.2).

თანამედროვე ეტაპზე ჩამდინარი წყლების გაწმენდის და მართვის მრავალი მეთოდი შემუშავებულია, ზოგიერთი კი შემუშავების პროცესშია. ძველთან შედარებით ეს მეთოდები ეკოლოგიური, ეკონომიური და საზოგადოებრივი კუთხით გაუმჯობესებულია. გასუფთავების ახალი მეთოდები ბუნებრივ პროცესებს ეფუძნება და მდგრადობით გამოირჩევა, რასაც ვერ ვიტყვით იმ მეთოდებზე, რომლებიც დიდ ენერგიას საჭიროებენ ან ქიმიურ კომპონენტებს იყენებენ (ცხრ.3).

ჩამდინარი წყლის საწმენდი წარმოადგენს ტრადიციული სისტემების ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესების ერთობლიობას, რომლებიც ხელოვნურ გარემოში მიმდინარეობს. მისი მიზანი ჩამდინარი წყლიდან მყარი ნაერთების, ორგანული მასალის და თუნდაც საკვები ნარჩენების მოცილებაა. გაწმენდის ბუნებრივი სისტემები ჩამდინარი წყლების დაშლის ბუნებრივი პროცესების იმიტაციას ახდენენ და ხელს უწყობენ მავნე ნივთიერებების მოცილებას. როდესაც ბუნებრივი სისტემები ინტეგრირებულია ლანდშაფტთან ან შენობის დიზაინთან, ჩვეულებრივ გამწმენდ სისტემებთან შედარებით, ზოგადად, საწმენდი ბუნებრივი სისტემები, ჩვეულებრივთან შედარებით, წარმოადგენენ ალტერნატივას, რომელიც გარემოსთან ადაპტირებული, არააგრესიული, ნაკლები დანახარჯის მქონეა. ისინი მცირე დასახლებებსა და ქალაქგარეთ რაიონებში (სადაც მიწის ფასი ხელმისაწვდომი და დაბალია), იდეალურად წმენდენ ჩამდინარ წყლებს.

ჩამდინარი (საკანალიზაციო) წყლის ზოგადი შედგენილობა

ცხრილი 2

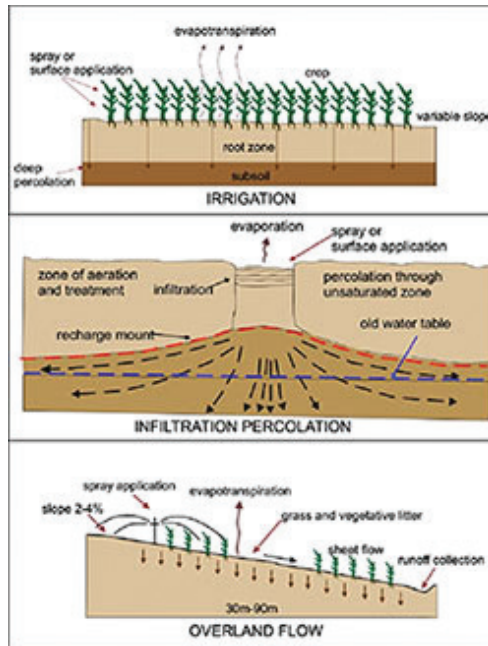
დამაბინძურებლები	ერთეული	კონცენტრაცია		
		სუსტი	საშ.	ძლიერი
მყარი, მთლიანად ( მმ )	მგ/ლ	350	720	1200
გახსნილი, მთლიანად (გმ )	მგ/ლ	250	500	850
ფიქსირებული	მგ/ლ	145	300	525
აქროლადი	მგ/ლ	105	200	325
შეწონილი მყარი ნივთიერებები ( შმნ )	მგ/ლ	100	220	350
ფიქსირებული	მგ/ლ	20	55	75
აქროლადი	მგ/ლ	80	165	275
გამოლექვადი მყარი ნივთიერება	მგ/ლ	5	10	20
BOD5 20° C -ზე	მგ/ლ	110	220	400
საერთო ორგანული ნახშირბადი	მგ/ლ	80	160	290
ჟანგბადი	მგ/ლ	250	500	1000
აზოტი ( საერთო N )	მგ/ლ	20	40	85
ორგანული	მგ/ლ	8	15	35
თავისუფალი ამიაკი	მგ/ლ	12	25	50
ნიტრიტები	მგ/ლ	0	0	0
ნიტრატები	მგ/ლ	0	0	0
ფოსფორი ( საერთო P )	მგ/ლ	4	8	15
ორგანული	მგ/ლ	1	3	5
არაორგანული	მგ/ლ	3	5	10
ქლორიდები	მგ/ლ	30	50	100
სულფატები	მგ/ლ	20	30	50
კარბონატული ტუტთანობა (CaCO3)	მგ/ლ	50	100	200
ცხიმი	მგ/ლ	50	100	150
კოლიბაქტერიები CFU	მლ-1	100-107	107-108	108-109
აქროლადი ორგანული ნაერთები	მგ/ლ	<100	100-400	>400

ქალაქის და დასახლებული ადგილის ჩამდინარი წყლების გაწმენდა

ცხრილი 3

ქალაქის	დასახლებული ადგილის
ხელოვნური ჭაობი	ინდივიდუალური სახლები
მემბრანული ბიორეაქტორი	განვითარებული საწმენდი სისტემა
მცირე დიამეტრის შემკრები სისტემები	ბიოტუალეტები
კანალიზაციის და მიწისქვეშა წყლების სისტემები	საერთო და კლასტერული სისტემები
შლამის და სეკტიკური ნარჩენების გაწმენდის მეთოდები	-

ბუნებრივი საწმენდი სისტემები ოთხ ტიპად იყოფა [4-7]:

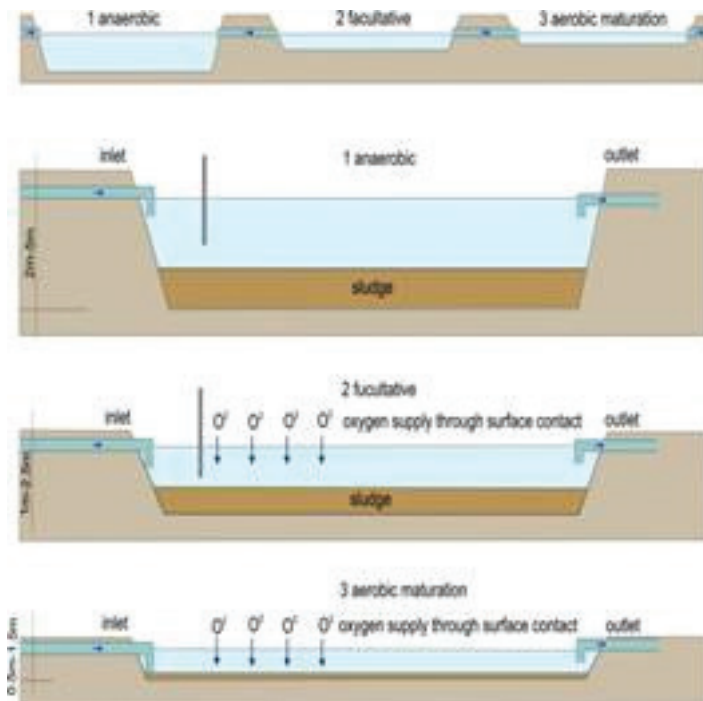


ნახ.8. მიწის დაფენის მეთოდები

1. მიწისზედა საწმენდი მეთოდები. გაწმენდის მეთოდები ეფუძნება ნიადაგის მატრიცის ზედაპირსა და მის შიგნით მიმდინარე ფიზიკურ, ქიმიურ და ბიოლოგიურ რეაქციებს. წინასწარი გასუფთავების შემდეგ ჩამდინარი წყლები გროვდება ნიადაგში (აქ შეიძლება მცენარეული საფარი იყოს ან არ იყოს). ტექნოლოგიები მოიცავს ნელი ტემპის, სწრაფი ინფილტრაციისა

და სახმელეთო ნაკადის სისტემებს, ასევე, ამ ტიპის კომბინაციებს. მცირე სიჩქარის და სახმელეთო ნაკადის მეთოდების დროს მცენარეული საფარი გაწმენდის მნიშვნელოვანი კომპონენტია, მაშინ როცა სწრაფი გაფილტვრისას მცენარეული საფარი აუცილებელი არ არის;

**2. ჩამდინარი წყლების მდგრადი აუზები.** ასეთი სისტემები ღია ტიპის აუზებს წარმოადგენენ. მათი საწმენდი ფუნქცია დამოკიდებულია მზის სინათლეზე, მიკრობთა ცხოველქმედებაზე, ცხოველების და მცენარეების უდაბლეს ფორმებზე. ორგანული ნივთიერებები ბუნებრივად ანუ ბიოლოგიურად იშლება. ბაქტერიების და წყალმცენარეების მოქმედებით ჩამდინარი წყლები სტაბილიზდება და მათი პათოგენურობა მცირდება. ზოგადად, ნარჩენების ორგანული ნაწილი უფრო სტაბილურ ფორმად გარდაიქმნება ხოლმე. მდგრადი აუზი შეიძლება რამდენიმე სახისა იყოს: საკანალიზაციო, ჟანგვა-აღდგენითი, მომწიფებადი, ანაერობული, აერობული, აერირებადი. აუზის სახეობიდან გამომდინარე, ის შეიძლება ფართო მიზნებისთვის გამოიყენებოდეს. მათი გამოყენება ჩამდინარი წყლების გაწმენდის სხვა მეთოდებთან ერთადაც შესაძლებელია;



**ნახ.9.** მდგრადი აუზის ტიპები

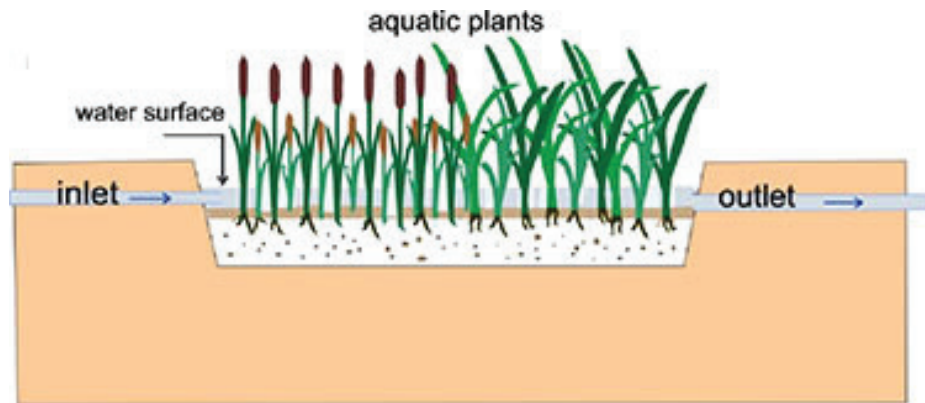
**3. წყალმცენარეული სისტემები.** ისინი თითქმის მდგრადი აუზების მსგავსია. განსხვავება ისაა, რომ ჩამდინარი წყლებს თავიანთი შემცველობა (მცენარეები და ცხოველები) ასუფთავებს. ასეთი სისტემა შეიძლება გაიყოს ორ ნაწილად, წყალსზევით მოტივტივე და წყალქვეშა მცენარეები. მათი ფესვების ფართო სისტემა წარმოქმნის სუბსტრატს მიკროორგანიზმების ზრდისთვის, ეს კი დამაბინძურებელი ნივთიერებების მოცილებას უწყობს ხელს, რითაც წყლის სიწმინდის საუკეთესო ხარისხი მიიღწევა;

**4. ხელოვნური ჭაობი.** ხელოვნური ჭაობი ადამიანის მიერ შექმნილი სისტემაა, რომლის ფუნქციაც ბუნებრივი ჭაობის მსგავსად დამაბინძურებელი აგენტების ჩამოშორებაა. ამ მიზნის მისაღწევად იმიტირებულ ჭაობში მთელი რიგი ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები მიმდინარეობს. ეს პროცესები ეფუძნება წყლის, ნიადაგის, ატმოსფეროს და მიკროორგანიზმების ურთიერთქმედებას. ჭაობის მცენარეები მძიმე მეტალების და სხვა ტოქსიკური ნაერთების გაუვნებლებასა და საკვები ნივთიერებების შენარჩუნებაში სასიცოცხლო ფუნქციას ასრულებენ. ჩვეულებრივი ლერწამი (*Phragmites australis*) და ლაქაში (*Typha latifolia*, *T. angustifolia*) ჭაობის მცენარეთა სახეობის ეფექტური მაგალითებია, რომლებსაც შეუძლიათ კარგად შთანთქან დამაბინძურებლები და ამიტომ წარმატებით გამოიყენებიან ხელოვნურ ჭაობში.

არსებობს ხელოვნური ჭაობის ყველაზე გავრცელებული სამი ტიპი: თავისუფალი წყლის ზედაპირის სისტემები, ჰორიზონტალური მიწისქვეშა ნაკადის სისტემები და ვერტიკალური ნაკადის სისტემები:

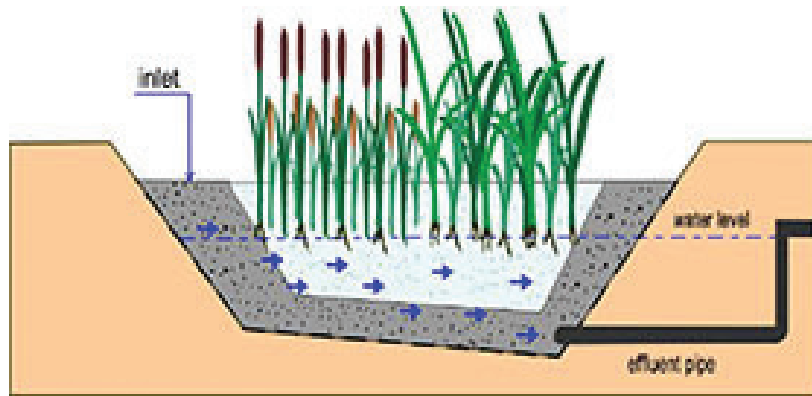
**1. თავისუფალი წყლის ზედაპირის ხელოვნური ჭაობი.** ასეთი ჭაობი შედგება ერთი ან მეტი მცენარეული ზედაპირის მქონე ჰერმეტიკული აუზის ან არხისგან (40 დან 60 სმ სიღრმის). ისინი ამოვსებულია ნიადაგით, სადაც ჩარგულია მცენარეები (მაგ., ლერწამი, ისლი, ჭილი, ლაქაში) და აღჭურვილია შესაბამისი შემშვები და გამშვები სტრუქტურებით. ჩამდინარ წყლებზე ჭაობი აღწევს 10-დან 30 სმ-მდე და 45 სმ სიღრმეშიც კი. მასზე მოქმედებს ატმოსფერული ჰაერი, ქარი და მზის პირდაპირი სხივები. ჭაობის ქვედა ნაწილში ანაერობული ზონები ქარბობს. ზედაპირთან არის აერობული ზონა, რომლის ჟანგბადით გამდიდრება ხდება ატმოსფეროდან, რასაც ხელს უწყობს მცენარეების ქარით გამოწვეული მოძრაობა. ჩამდინარი წყლები ჭაობის

გავლით მიედინება და დამაბინძურებლების მოცილებას ერთდროულად უწყობს ხელს ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები. წყლის ქვეშ არსებული ნიადაგის ფენა ასევე ანაერობულია, მცენარეების ფესვები გამოყოფენ ჟანგბადს, რითაც ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესებისთვის ქმნიან გარემოს (ნახ.10).



**ნახ.10.** თავისუფალი წყლის ზედაპირის ჭაობი

**2. ჰორიზონტალური მიწისქვეშა ნაკადის ჭაობი.** ასეთი ჭაობი ქვიშით და ხრეშით ამოვსებული დიდი ზომის არხია, სადაც წყალმცენარეებია ჩარგული. არხი 0.5-დან 1მ-მდე სიღრმისაა (3–32 მმ დიამეტრი) და ამოფენილია წყალგაუმტარი ფენით (თიხა ან წყალგაუმტარი მემბრანები), რათა თავიდან იქნას აცილებული გამორეცხვა. ჩამდინარი წყალი რჩება ფოროვანი არის ქვეშ, გაედინება ფორებში ფესვებისა და ფესვაკების გავლით. ფართო შესასვლელი ზონა უზრუნველყოფს წყლის მაქსიმალური მოცულობის შედინებას. ქვედა ნაწილზე ეს დაახლოებით 1%-ია. რაც შეეხება მცენარეებს, ნებისმიერი მცენარე ღრმა და ფართო ფესვებით, რომელიც კარგად ეგუება სველ და საკვები ნივთიერებებით მდიდარ გარემოს, ზემოთ აღწერილი ჭაობის ტიპში კარგად ხარობს. ჩამდინარი წყლები გამფილტრავ მასალასთან და მცენარეთა ფესვებთან შეხებისას იწმინდება (ნახ.11).

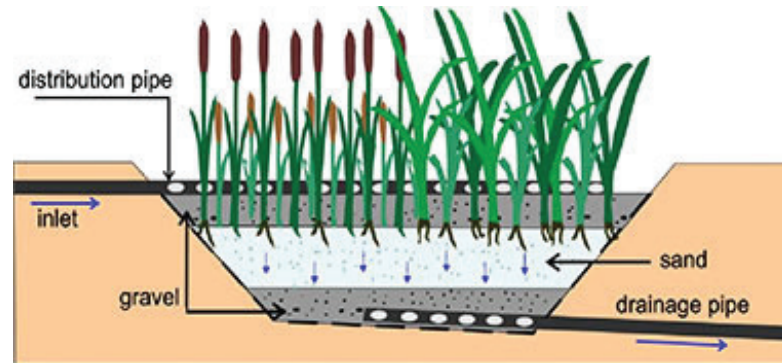


**ნახ.11.** ჰორიზონტალური მიწისქვეშა ჭაობის სქემატური ილუსტრაცია

**3. ვერტიკალური ნაკადის ხელოვნური ჭაობი.** ასეთი ჭაობი წყალმცენარეებიან გამფილტრავ არხებს წარმოადგენს. ჩამდინარი წყლები ჭაობში შედის ნახვრეტებიანი მილების ქსელის მეშვეობით, ეს კი მთელ სივრცეზე წყლის თანაბარ მიწოდებას უზრუნველყოფს. წყალი სიმძიმის ძალის და ფილტრების მატრიცის გავლით ქვემოთ მიედინება, შემდეგ მიაღწევს დრენაჟის ფენას (ილუსტრაციის ქვედა ნაწილი), რომელიც შეიცავს ფორებიან შემკრებ და აირაციისთვის განკუთვნილი მილების ქსელს. არხში სხვადასხვა გრადაციის მრავალი ფენაა. არხის ახლოს მდებარე პირველი ფენა შეიცავს ხრემს, რომელიც დრენაჟისთვის გამოიყენება (სულო მცირე 20 სმ სისქისა). ფენის ზედა ნაწილი გრძელდება ხრემით და ქვიშით (ზედაპირული ფენის სისქე უნდა იყოს 10-30 სმ). ფენის ზედა ნაწილში მცენარეებია დარგული, რომლებიც ფესვების ფართო და ღრმა სისტემით ფილტრში გაივლის. საერთო სიღრმე მერყეობს 0.90 მ-დან 1,20 მ-მდე. დრენაჟისთვის აუცილებელია არხის დახრილობა 1% იყოს. ვერტიკალური ნაკადის ხელოვნური ჭაობი შეიძლება ფუნქციონირებდეს: წყვეტილნაკადთან, ქვედა ნაწილისკენ მიმართულ გაუჯერებელ ნაკადთან, გაჯერებულ ქვემოთ ან ზემოთ მიმართულ ნაკადთან და მოქცევად ნაკადთან ერთად. ამ სისტემაში შეინიშნება ჩარცხვის და შრობის ფაზები. კლიმატიდან გამომდინარე, *Phragmites australis*, *Typha latifolia* ან *Echinochloa Pyramidalis* ხშირი არჩევანია. მნიშვნელოვანი განსხვავება ვერტიკალურ დინებასა და ჰორიზონტალურ ზედაპირქვეშა დინებას შორის არის არაუბრალოდ დინების ტრაექტორია და მიმართულება, არამედ უფრო შევსებისა და გამრობის ციკლები და გაუმჯობესებული ან აერობული



პირობები ვერტიკალური დენის შემთხვევაში. ეს ის ფაქტორებია, რომლებსაც მივყავართ ფართობის მოთხოვნილების შემცირებისაკენ (ნახ.12).



**ნახ.12.** ვერტიკალური ნაკადის ხელოვნური ჭაობის სქემა

**ხელოვნური ჭაობის საწმენდი მექანიზმები.** ხელოვნური ჭაობი ბუნებრივ პროცესებს (ჭაობის მცენარეები, ნიადაგი, მიკრობული ცხოველქმედება) მეტად კონტროლირებულ გარემოში იყენებს, რათა უზრუნველყოს დამაბინძურებლების ეფექტური ჩამოშორება. ძირითადი საწმენდი მექანიზმები შეიძლება დაიყოს აბიოტურ (ფიზიკური და ქიმიური) და ბიოტურ (ბიოლოგიურ) პროცესებად. ხელოვნურ ჭაობში დამაბინძურებლების მოცილებაზე პასუხისმგებელია შემდეგი აბიოტური პროცესები:

- დალექვის პროცესები, რომლებიც მყარი და შეწონილი ნაწილაკების მოცილებას შეუწყობს ხელს.
- ადსორბციის და აბსორბციის პროცესები, რომლებიც მცენარეთა ზედაპირზე მიმდინარეობენ. აღნიშნული პროცესების შედეგად ხდება სუბსტრატების, დანალექი ნივთიერებების, გადაყრილი ნაგვის და სხვა დამაბინძურებლების მოკლევადიანი შეკავება ან გრძელვადიანი იმობილიზაცია;
- ქიმიური ჟანგვა-აღდგენა, დალექვა, სადაც მძიმე მეტალები გადადიან უხსნად მყარ ფორმებში და სუბსტრატთან წყლის შეხებისას არააქტიურ მდგომარეობაში არიან;
- მზის სხივებით გამოწვეული ფიტოდეგრადაცია, დაჟანგვა და ნივთიერებათა დაშლა;
- აქროლადი ნაერთების აირად მდგომარეობაში გადასვლისას ხდება აორთქლება.

შესაბამისი ბიოტური პროცესებია:

- აერობულ/ანაერობული ბიოდეგრადაცია მიკროორგანიზმების მეტაბოლიზმის შედეგად;
- არაორგანული ელემენტების ფიტოაკუმულირება;
- ფიტოსტაბილიზება - მცენარეთა ფესვების მიერ არაორგანულ ელემენტთა შთანთქმა;
- მცენარეებში ფერმენტების მიერ გადატანილი ორგანული და არაორგანული დამაბინძურებლების ფიტოდეგრადაცია.
- ორგანული და არაორგანული დამაბინძურებლების ფიტოდეგრადაცია, რომლებიც აორთქლების პროცესში მცენარეებში შედიან მცენარეების მიერვე წარმოებული ფერმენტების მეშვეობით.
- მცენარეების მიერ გამოწვეული რიზოდეგრადაცია, რომელიც შემდგომ იწვევს ორგანული ნაერთების მიკრობულ დეგრადაციას.
- ფიტოაორთქლება - აორთქლება ხდება მცენარეთა ფოთლების მიერ.

#### ცხრილი 4

#### ზოგიერთი დამაბინძურებლის მოცილების მექანიზმი

დამაბინძურებლების მოცილება	პროცესი
ორგანული	ბიოდეგრადაცია, დალექვა, მიკრობულიცხოველქმედება
შეწონილი ნაწილაკები	დალექვა, გაფილტვრა
აზოტი	დალექვა, ნიტრიფიკაცია/დენიტრიფიკაცია, მიკრობული ცხოველქმედება, მცენარეებით შთანთქმა, გაზიფიკაცია
ფოსფორი	დალექვა, გაფილტვრა, ადსორბცია, მცენარეული და მიკრობული ცხოველქმედება
პათოგენები	ბუნებრივი სიკვდილი, დალექვა, გაფილტვრა, ულტრაიისფ. დეგრადაცია, ადსორბცია
მძიმე მეტალები	დალექვა, ადსორბცია, შთანთქმა მცენარეებით
ორგანული ნაერთები (პესტიციდები და ა.შ.)	ადსორბცია, გაზიფიკაცია, ფიტოლიზიზიზიოტური/ აბიოტური დაშლა

**4.3. ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელების აგება საქართველოს პირობებისთვის ჩამდინარი წყლების ზედაპირულ წყლებში ჩაშვებაზე ევროსაბჭოს 91/271/ EEC დირექტივის შესაბამისად**

მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქებიდან მიღებული ჩამდინარი გასაწმენდი წყლის რაოდენობასა და ხარისხზე უნდა იყოს ორიენტირებული როგორც საწმენდი სადგურის ნაგებობა-ელემენტების შემადგენლობა, ასევე მიმდინარე დროში მათი მუშაობის რეჟიმები. ამ მოტივით უმთავრესია ჩამდინარი წყლების ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა წყალსატევებში (მდინარე, ტბა, წყალსაცავი და ა.შ.) მათ ჩაშვებამდე.

ამავე დროს, მოდინებული ჩამდინარი წყლის ხარისხის შეფასება და პროგნოზირება საშუალებას იძლევა დადგენილ იქნას ეკოლოგიური ბუნებრივი და ტექნოგენური ზემოქმედების შედეგად ჩამოყალიბებული ეკოლოგიური რისკის მეცნიერულად დასაბუთება მის მინიმალურ დონეზე შენარჩუნების მიზნით. აღნიშნული მიღწეული უნდა იყოს მიმდებარე გარემოს რეგულირებითა და დაცვით, მართვის ეფექტური სტრატეგიის გამომუშავებითა და რეალიზაციის გზით.

მიზნის მისაღწევად წყლის გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის ოპერატიულ მართვაში სადისპეტჩერო პერსონალის მიერ აქტიურად უნდა იქნას გამოყენებული ლოგიკური „არამკვეთრი“, არარადიკალური მსჯელობები. ფორმალურად ესაა სპეციალისტ-ექსპერტთა გადაწყვეტილებები, რომლებიც აისახა ხარისხობრივ-კრიტერიალური შეფასებების ვერბალურ კატეგორიებში. ეს კატეგორიები შეიძლება განსაზღვრულ იქნას სპეციალური სკალების თანახმად (0 - შეესაბამება პროცესის აბსოლუტურად მიუღებელ სიტუაციურ მდგომარეობას, ხოლო 1 - პროცესის ძალიან კარგ სიტუაციურ მდგომარეობას).

ხარისხობრივ-კრიტერიალური შეფასების აღნიშნული სკალა ხასიათდება გარკვეული შუალედური მნიშვნელობებითაც, რომელთა მიხედვით შესაძლებელია აგებულ იქნას საკვლევო პროცესის დიაგნოსტიკური შეფასების დესკრიფციული (აღწერითი) ტიპის მოდელები. სკალური

გრადაციები ნაწილდება შემდეგ გრადაციულ მნიშვნელობებში, რომელთა გამოყენება მიზანშეწონილია გადაწყვეტილებათა მიღების პროცესში [93]:

$d=1,00$  - პარამეტრის მაქსიმალური შესაძლო (დასაშვები) დონე, რომელიც ყოველთვის არ შეიძლება იქნას მიღწეული;

$d=1,00 \div 0.80$  - პარამეტრის დასაშვები და მაღალი დონე, რომელიც აგრეთვე ყოველთვის არ შეიძლება იქნას მიღწეული;

$d=0.80 \div 0.60$  - პარამეტრის დასაშვები და კარგი დონე, რომელიც იმაზე მეტია, რის მიღწევასაც ცდილობენ;

$d=0,37$  - პარამეტრის მოცემული დონე (შეესაბამება პარამეტრის იმ მდგომარეობას, რომელიც უნდა იქნას მიღებული);

$d=0,37 \div 0$  - პარამეტრის დაუშვებელი (ცუდი) დონე.

ვინაიდან ჩამდინარი წყალი ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით ფორმირდება რთული ქიმიური შედგენილობით, ამიტომ მისი ხარისხობრივ-სიტუაციური მდგომარეობა შეიძლება გაიზომოს (დახასიათდეს) მხოლოდ მოდინებული უთანაბრო რეჟიმის შესაბამისად (როგორც წინა ქვეთავში იყო აღნიშნული, მოდინების უთანაბრობის კოეფიციენტი  $K=1.4$ ), ამიტომ დიაგნოსტიკური ტიპის დესკრიფციული მოდელები უნდა აიგოს მოდინების საანგარიშო ხარჯზე ჩამდინარი წყლის შემადგენელი კომპონენტების საკონტროლო-საზედამხედველო პარამეტრის ცვლილების მთელი განსაზღვრის არეში. კომპონენტების ცვალებადობის დასაშვები არე კი უნდა შეირჩეს ოპერატორ-დისპეტჩერის (ექსპერტის) მიერ განვითარებული დონისა და სუბიექტურ-ხარისხობრივი ფსიქოფიზიკური სახის უპირატესობათა გაზომვებისა და შეფასებათა საფუძველზე, იმის მიხედვით, თუ დროის მოცემულ მომენტში რამდენად შესაძლებელია საკვლევი პროცესის მისაღები სიტუაციური მდგომარეობის შენარჩუნება მოქმედი ელემენტ-ნაგებობის ეფექტური ფუნქციონირების რეჟიმის ველში. ქვემოთ მოგვყავს დესკრიფციული მოდელის აგების პროცედურა სასურველობის უნიმოდალური ფუნქციის გამოყენებით, რომელიც ემყარება წყლის ხარისხის (საკონტროლო-მახასიათებელი პარამეტრის) შესაძლო ცვლილების ორმხრივი შეზღუდვის არის გამოყენების პირობას -  $H_{\text{მინ.}} < H < H_{\text{მაქს.}}$ . დესკრიფციული ტიპის მოდელის აპროქსიმაციისათვის შერჩეულია სასურველობის შედეგი სახის ფუნქცია [93]:

$$d_i = e^{-e^{-(b_0 + b_1 H_i^{\text{ვაძბ}})}}, i = \overline{1, m}$$

აქ  $b_0$  და  $b_1$  საძიებელიკოეფიციენტებია;  $H_i^{\text{ვაძბ}}$  - საანალიზო კომპონენტ-პარამეტრის მნიშვნელობა;  $e$  - ექსპონენტის ნიშანი. თუ ამ გამოსახულებაში  $e^x$ -ს გადავწერთ  $\exp(x)$ -ის სახით, მაშინ საანალიზო პარამეტრის ხარისხობრივ-კრიტერიალური შეფასების დესკრიფციული მოდელი ჩაიწერება შემდეგი სახით [93]:

$$d_i = \exp\left[-\exp\left(-b_0 - b_1 H_i^{\text{ვაძბ}}\right)\right], i = \overline{1, m},$$

სადაც  $b_0$  და  $b_1$  კოეფიციენტები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$b_0 = \left( H_1^{\text{კარგი}} \ln \ln \frac{1}{d_1^{\text{ცუდი}}} - H_2^{\text{ცუდი}} \ln \ln \frac{1}{d_2^{\text{კარგი}}} \right) / (H_1^{\text{კარგი}} - H_2^{\text{ცუდი}})$$

$$b_1 = \left( \ln \ln \frac{1}{d_2^{\text{კარგი}}} - \ln \ln \frac{1}{d_1^{\text{ცუდი}}} \right) / (H_1^{\text{კარგი}} - H_2^{\text{ცუდი}}),$$

სადაც  $H_2^{\text{ცუდი}}$  შესაბამისად, საკონტროლო პარამეტრის სასაზღვრო არასასურველი ანუ "ცუდი" სიდიდეა (როდესაც  $d_1^{\text{ცუდი}} = 0,2$ ); არის პარამეტრის სასაზღვრო სასურველი ანუ "კარგი" მდგომარეობის ამსახველი სიდიდე (როდესაც  $d_2^{\text{კარგი}} = 0,8$ ).

$H_1$  - წყლის ხარისხის ფაქტიური მნიშვნელობა შესაბამისი დიფერენციული ხარისხობრივ-კრიტერიული შეფასებების მიხედვით ხასიათდება შემდეგ სკალარულ გრადაციებში, როდესაც  $d \in [0,0 - 0,37]$  - აღინიშნება "ცუდი" სიტუაციური მდგომარეობა;

როდესაც  $d \in [0,37 - 0,63]$  - აღინიშნება "დამაკმაყოფილებელი" სიტუაციური მდგომარეობა;

როდესაც  $d \in [0,63 - 1]$  - აღინიშნება "კარგი" და "ძალიან კარგი" სიტუაციური მდგომარეობა.

რეალურ სიტუაციაში საანალიზო წყლის ერთიანი მდგომარეობა (სასურველობის დიფერენციული ხარისხობრივ-კრიტერიალური შეფასებების მიხედვით) განისაზღვრება როგორც ხარისხობრივი შეფასების ინტეგრირებული მაჩვენებელი. ეს სიდიდე განისაზღვრება, როგორც დიფერენციული შეფასების საშუალო გეომეტრიული შეწონილი სიდიდე,

$$D_t = \prod_{t=1}^m d_t^{1/m}, \quad t = \overline{1, m}$$

$D_i$  საანალიზო პარამეტრების ერთობლიობაა  $i = \overline{1, m}$  ინტეგრალური შეფასების მიხედვით, რომელიც ხასიათდება ხარისხობრივ-კრიტერიალური შეფასების იმავე სკალური გრადაციებით და რომელიც დაწნევების მოცემული განაწილების შემთხვევაში მაქსიმუმისაკენ უნდა მიისწრაფოდეს და დროის მოცემულ მომენტში ინარჩუნებდეს შედარებით სტაბილურ დონეს:

$$D(H) \rightarrow \max_{H \in \Omega}$$

სადაც  $H \in \Omega$  წყლის ხარისხის განაწილების არამკაფიო სახის უნივერსალური სიმრავლეა.

შემუშავებულია ზედაპირული წყლის ობიექტებში (მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები და სხვ.) ჩასაშვები სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელები, რომლებიც აგებულია შემცველ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მიხედვით (საკანალიზაციო წყლების შესახებ ევროსაბჭოს 91/271/EEC დირექტივებით განსაზღვრული მოთხოვნების შესაბამისად).

მოდელები რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას საქართველოს (და არამართო საქართველოს) პირობებში ჩამდინარი წყლების საწმენდი სადგურებიდან მიღებული წყლის დაბინძურების ხარისხის შესაფასებლად ზედაპირული წყლის ობიექტებში მათ ჩაშვებამდე.

ზედაპირული წყლის ობიექტების ეკოსისტემის ნორმალური სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების დაცვა უდიდესი ეროვნული მნიშვნელობის ამოცანაა [90,91]. ამ შემთხვევაში თითოეული განსახილველი წყლის ეკოსისტემა მოიაზრება, როგორც რთული სისტემა [92], რადგან წყალი გამოიყენება მრავალი დანიშნულებით: ჰიდროენერგეტიკის, წყალმომარაგების, წყალარინების (კანალიზაციის), ორგანიზაციის, რეკრეაციის, თევზსამეურნეო და სხვა კომპლექსური დანიშნულებით. აქედან გამომდინარე, უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული მოდელების

შედგენას, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება (ევროსაბჭოს 91/271/EEC დირექტივის მოთხოვნათა შესაბამისად) წყლის ხარისხის შეფასება და პროგნოზირება ზედაპირული წყლის ობიექტებში ჩაშვებამდე.

ევროსაბჭოს 91/27/EEC დირექტივის თანახმად, რომელიც შეეხება მუნიციპალური კანალიზაციის ჩამდინარი წყლების გაწმენდას, ნებისმიერი სახის სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ტერიტორიებიდან უნდა შეგროვდეს და საწმენდ სადგურებში გაიწმინდოს ზედაპირული წყლის ობიექტებში მათ ჩაშვებამდე. ცნობილია სტანდარტები ზედაპირულ წყლებში ჩამდინარე წყლების ჩაშვებაზე (ცხრ.5).

ჩვენ მიერ განზოგადდა არსებული სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში, სხვადასხვა ქვეყნებისათვის. მე-5 ცხრილის შესაბამისად მოყვანილი ეს სტანდარტები შეიცავს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად ჩასაშვებ კონცენტრაციებს (ზდკ-მლ/ლ). მე-9 გრაფაში ჩვენ მიერ სისტემატიზებული იქნა ალტერნატიული შემთხვევა, რომელიც რეკომენდებულად მივიჩნიეთ საქართველოს პირობებში გამოყენებისთვის.

შესაბამისად, მე-6 ცხრილში მოყვანილია ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასების შემოთავაზებული დესკრიფციული ტიპის მოდელები, რომლებიც შედგენილია ზედაპირულ წყლებში მათ ჩაშვებაზე შემოთავაზებული ვარიანტის შესაბამისად (ცხრ. 5, მე-9 გრაფა).

დესკრიფციული მოდელების აგებაში გამოყენებულ იქნა სუბიექტურ-კრიტერიალური შეფასების მეთოდიკა [93]. ეს მეთოდიკა საშუალებას იძლევა ცალკეული ნივთიერების მიხედვით სამოდელო დამოკიდებულების შესაბამისად (ცხრ. 6) განისაზღვროს თითოეული  $d_i$  ( $d \rightarrow 1, 2, \dots, m$ ), სადაც დი აღნიშნავს ნივთიერების დაბინძურების ხარისხის დიფერენციულ შეფასებას, ხოლო ( $i=1, 2, \dots, m$ ) არის ნივთიერებათა საერთო რაოდენობა. ამავე დროს,  $d_i \in [0,1]$ .

აქ  $d=0$  შეესაბამება ხარისხობრივ-კრიტიკული შეფასების აბსოლუტურად მიღებულ მნიშვნელობას, ანუ ჩამდინარი წყლის ხარისხი შეფასდება, როგორც ძალიან დაბინძურებული, ხოლო  $d=1$  შეესაბამება ნივთიერების ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას, ანუ ამ შემთხვევაში შეიძლება ჩამდინარი წყლის წყალსატევში ჩაშვება. მოდელების შესადგენად (ცხრ. 6) საჭირო

სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში

ცხრილი 5

პარამეტრები	ძღკ (მგ/ლ)							
	შვეიცარია	პოლანდია	ანია	ავსტრია	ინგლისი	იაპონია	ლატვია	შემოთავაზებული
1	2	3	4	5	6	7	8	9
შეწონილი ნაწილაკები	20	35	30	25	-	-	15	50
უბმ	20	10-20	20	20	-	-	12	20
უბმ	დაბალი	-	-	75	-	-	90	75
საერთო	0,3-0,8	1	1	2	-	-	2,5	1,5
საერთო	-	10	-	-	-	-	2,5	12
ნიტრატები	1	-	-	1	-	-	0,15	0,5
ამონიუმი	0,5	-	2	10	-	-	8	2
ციანიდი	0,1	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
ნაშთი ქლორი	-	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
ქლორიდები	-	-	-	-	-	-	300	300
სულფიდი	0,1	-	-	0,1	1,0	-	0	0,5
სულფატები	დაბალი	-	-	-	-	-	500	200
კადმიუმი	0,1	0,005	-	0,1	-	-	0,02	0,05
ქრომი (საერთო)	2	0,05	0,2	0,5	-	-	0,05	0,3
სპილენძი	0,5	0,05	0,1	0,5	-	2,0	0,05	0,5
ნიკელი	2	0,05	0,2	0,5	1,0	-	0,1	0,5
ტყვია	0,5	0,05	0,1	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5
ალუმინი	10	-	-	2	-	-	-	2,0
რკინა	2	-	-	2	-	-	2	2,0
კალა	2	-	-	2	-	-	-	1,0
თუთია	2	0,05	0,5	2	-	5,0	0,05	0,5
სზან ანიონური, არაანიონური	- -	- -	- -	1,0 -	- -	- -	0,5 2	0,5 1
ნავთობპროდუქტები (საერთო)	-	0,1	-	-	-	-	0,5	5,0
ფენოლები	-	-	0,2	0,1	-	-	0,2	0,2
ცხიმები, ორგანული ზეთები	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0



იყო თითოეული განსახილველი პერამეტრის ცვალებადობის არის დანიშვნა. სტანდარტით განსაზღვრული ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მნიშვნელობათა შესაბამისად (იხ. ცხრ. 6, გრაფა 3) შედგენილი მოდელები (ცხრ. 6, გრაფა 4) ზოგადად ასახავენ საანალიზო ნივთიერების როგორც ცუდ, ისე სხვა ხარისხობრივ დიფერენციულ შეფასებებს შემდეგი სკალური გრადაციების შესაბამისად: თუ  $0 \leq d_i < 0,33$ , მაშინ აღინიშნება დამაბინძურებელი ნივთიერების „ცუდი“ ხარისხობრივი მდგომარეობა,  $0,33 \leq d_i < 0,67$ , მაშინ მდგომარეობა ჩაითვლება „დამაკმაყოფილებლად“, ხოლო როდესაც  $0,67 \leq d_i \leq 1$ , ნივთიერების ხარისხობრივი მდგომარეობა „კარგია“.

ამრიგად, წარმოდგენილი დესკრიფციული მოდელების საშუალებით (ცხრ. 6, გრაფა 4) შესაძლებელია ამა თუ იმ ქიმიური ნივთიერებით (ცხრ. 6, გრაფა 2) დაბინძურების ფაქტიური ხარისხობრივი მდგომარეობის დადგენა. ცალკეული შეფასებები ასახავენ ნივთიერებათა დაბინძურების მხოლოდ დიფერენციულ შეფასებებს, ხოლო ინტეგრირებული კრიტიკული შეფასების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას [93], როგორც შემადგენელ ნივთიერებათა მნიშვნელობების საშუალო გეომეტრიული სიდიდე:

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}, i = 1, 2, \dots, m$$

სადაც P ნამრავლის აღების ნიშანია; როდესაც  $D=0$ , მაშინ ინტეგრირებული შეფასება აღნიშნავს წყლის აბსოლუტურად მიუღებელ ხარისხს, ხოლო როდესაც  $D=1$ , მაშინ ჩამდინარი წყალი შეიძლება ჩაშვებულ იქნას ზედაპირული წყლის ობიექტებში. აქაც, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, შეფასების სუბიექტურ-კრიტერიული სკალა იგივე დარჩება. კერძოდ,  $0 \leq D < 0,33$ , „ცუდი“ მდგომარეობა;  $0,33 \leq D < 0,67$ , - „დამაკმაყოფილებელი“ მდგომარეობა; ხოლო  $0,67 \leq D \leq 1$  - „კარგი“ მდგომარეობა. შედგენილი მოდელების ადეკვატურობაზე შემოწმება დასაბუთდა კომპიუტერულ-პროგრამული გაანგარიშებით Matlab სისტემაში.

აღნიშნულ ქვეთავში შემოთავაზებული იყო სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელები, აგებული დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მიხედვით (ზდკ), საკანალიზაციო წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში ევროსაბჭოს 91/271/EEC დირექტივით განსაზღვრულ მოთხოვნათა შესაბამისად.

შედგენილი დესკრიფციული მოდელები, აგებული საქართველოს პირობებისთვის ჩამდინარი წყლების ზედაპირულ წყლებში ევროსაბჭოს 91/271/ EEC

დირექტივის შესაბამისად ჩაშვებაზე

№	ინგრედიენტ-პარამეტრები	პარამეტრის ცვლილების სასაზღვრო არეები	დესკრიფციული მოდელი
1	შეწონილი ნაწილაკები	შ.ნ.=52→d=0,2; შ.ნ.=50→d=0,8	$d_{შ.ნ.} = \exp[-\exp(-50,9+0,988_{შ.ნ.})]$
2	უბმ	უბმ=22→d=0,2; უბმ=20→d=0,8	$d_{უბმ.} = \exp[-\exp(-21,26+0,988_{უბმ.})]$
3	ქქმ	ქქმ=77→d=0,2; ქქმ=75→d=0,8	$d_{ქქმ.} = \exp[-\exp(-75,6+0,988_{ქქმ.})]$
4	საერთო P(PO <sub>4</sub> )	PO <sub>4</sub> =1,7→d=0,2; PO <sub>4</sub> =1,5→d=0,8	$d_{po_4} = \exp[-\exp(-16,32+0,988_{po_4})]$
5	საერთო N(NO <sub>3</sub> )	NO <sub>3</sub> =14→d=0,2; NO <sub>3</sub> =12→d=0,8	$d_{NO_3} = \exp[-\exp(-13,356+988_{NO_3})]$
6	NO <sub>2</sub> (ნიტრიტები)-N	NO <sub>2</sub> =0,7→d=0,2; NO <sub>2</sub> =0,5→d=0,8	$d_{NO_2} = \exp[-\exp(-6,44+9,88_{NO_2})]$
7	NH <sub>4</sub> (ამონიუმი)	NH <sub>4</sub> =2,2→d=0,2; NH <sub>4</sub> =2→d=0,8	$d_{NH_4} = \exp[-\exp(-21,26+9,88_{NH_4})]$
8	ციანიდი (CN)	CN=0,15→d=0,2; CN=0,1→d=0,8	$d_{CN} = \exp[-\exp(-5,45+39,52_{CN})]$
9	ნაშთი ქლორი	ნ.ქ=0,45→d=0,2; ნ.ქ=0,4→d=0,8;	$d_{ნ.ქ} = \exp[-\exp(-17,308+39,52_{ნ.ქ})]$
10	ქლორიდები (Cl)	Cl=305→d=0,2; Cl=300→d=0,8	$d_{Cl} = \exp[-\exp(-120+0,395_{Cl})]$
11	სულფიდი (H <sub>2</sub> S)	H <sub>2</sub> S=0,55→d=0,2; H <sub>2</sub> S=0,5→d=0,8;	$d_{H_2S} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{H_2S})]$
12	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =205→d=0,2; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =200→d=0,8	$d_{SO_4^{2-}} = \exp[-\exp(80,3+0,394_{SO_4^{2-}})]$
13	Cd (კადმიუმი)	Cd=0,07→d=0,2; Cd=0,05→d=0,8	$d_{Cd} = \exp[-\exp(-6,44+98,8_{Cd})]$
14	Cr (ქრომი საერთო)	Cr =0,4→d=0,2 Cr =0,3→d=0,3	$d_{Cr} = \exp[-\exp(-7,428+19,76_{Cr})]$
15	Cu(სპილენძი)	Cu =0,6→d=0,2 Cu =0,5→d=0,8	$d_{Cu} = \exp[-\exp(-11,38+19,76_{Cu})]$
16	Ni (ნიკელი)	Ni =0,6→d=0,2 Ni =0,5→d=0,8	$d_{Ni} = \exp[-\exp(-11,38+19,76_{Ni})]$
17	Pb (ტყვი)	Pb =0,6→d=0,2 Pb =0,5→d=0,8	$d_{Pb} = \exp[-\exp(-11,38+19,76_{Pb})]$
18	Al (ალუმინი)	Al =0,6→d=0,2 Al =0,5→d=0,8	$d_{Al} = \exp[-\exp(-11,38+19,76_{Al})]$
19	Fe (რკინა)	Fe =2,2→d=0,2 Fe =2→d=0,8	$d_{Fe} = \exp[-\exp(-21,26+9,88_{Fe})]$
20	Zn (თუთია)	Zn =0,55→d=0,2 Zn =0,5→d=0,8	$d_{Zn} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{Zn})]$
21	ს.ზ.ანანიონური არანიონური	ს.ზ.ანან =0,55→d=0,2 ს.ზ.ანან =0,5→d=0,8 ს.ზ.ანარაან =1,5→d=0,2 ს.ზ.ანარაან =1→d=0,8	$d_{ს.ზ.ანან} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{ს.ზ.ანან})]$ $d_{ს.ზ.ანარაან} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{ს.ზ.ანარაან})]$
22	ნავთობ პროდუქტები საერთო	ნავთ =0,55→d=0,2 ნავთ =0,5→d=0,8	$d_{ნავთ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{ნავთ})]$
23	ფენოლები	ფენ =0,55→d=0,2 ფენ =0,5→d=0,8	$d_{ფენ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{ფენ})]$
24	ცხიმები, ორგანული ზეთები	ცხ =0,55→d=0,2 ცხ =0,5→d=0,8	$d_{ცხ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52_{ცხ})]$

## შედეგები და მათი განსჯა

დღევანდელი მდგომარეობით ქვეყნის ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ჩამდინარი წყლების ნორმატიული მოთხოვნების შესაბამისად ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში გაწმენდა (გაუვნებლება) და ისე ჩაშვება წყალსატევებში (მდინარეებში, ტბებში და ა.შ.) უდიდესი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობის ამოცანაა. ამასთან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჩამდინარი წყლები შედგენილობის მიხედვით მკვეთრად ცვალებადობს, საკითხი დგება, საწმენდ სადგურებში მათი გაუვნებლებისთვის გამოყენებულ იქნას თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიურ დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები“. ამ მოტივით მნიშვნელოვანი პრობლემაა ჩამდინარი წყლების საწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი თანამედროვე ტექნიკურ-ტექნოლოგიური მიღწევების შედეგების შესაბამისად, როგორც ფიზიკურ-მექანიკური გაწმენდის ურეაგენტო მეთოდების, ასევე ფიზიკურ-ქიმიური სრული ბიოლოგიური გაწმენდის მეთოდების მიხედვით.

აღნიშნულ კონტექსტში წინამდებარე დისერტაცია: „ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების ენერგოეფექტურობის ამაღლება და კონტროლი“ ქმედით აქტუალობას იძენს და აქვს როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული ღირებულება.

მიზნის მისაღწევად გამოყენებული იქნა ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მეთოდების მიხედვით შემუშავებული თანამედროვე „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები“, გამოყენების ეფექტურობის კლევის სისტემურ-ლოგიკური მიდგომა (ГОСТР54097-2010 „რესურსდაზოგვა. საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიები. იდენტიფიკაციის მეთოდოლოგია“), რომელიც შერჩეული საწმენდი კომპლექსის ქმედების მაღალი ენერგოეფექტურობით ხასიათდება. შესაბამისად, სისტემურ-ლოგიკური მეთოდოლოგიის გამოყენებით გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- √ შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის ალგორითმი (ბლოკ-სქემა) შესაბამისი კრიტერიალური მაჩვე-

ნებლების (ეკოლოგიური, კლიმატური, ეკონომიკური, ენერგო-ეფექტურობის) გამოყენებით, რომლებიც ევროპაში მიღებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შერჩევის დადებითი გამოცდილებით გამოირჩევა;

- ✓ შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ მონაცემების დაზუსტებისა და გამოყენების სფეროს შესაბამისად დანერგვის შესაძლებლობის ამსახველი ბლოკ-სქემები მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ეკონომიკური დანახარჯების, ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით;
- ✓ განხილულია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე. შესაბამისად, მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქებისთვის წარმოდგენილია გაწმენდის შესაძლო ენერგო-ეფექტური ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების რეკომენდებული კომპლექსებით, რომლებიც ნორმატიული მოთხოვნის ფარგლებში უზრუნველყოფენ ჩამდინარი წყლის გაუვნებლების სათანადო ხარისხს.
- ✓ მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის გადაწყვეტილებათა მიღების ოთხეტაპიანი სტრატეგიის საფუძველზე (გეგმა>კეთება>შემოწმება> ქმედება), შემუშავებულია „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად მენეჯმენტის განხორციელების ბლოკ-სქემა მათი ენერგო-ეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელების მიზნით.
- ✓ რეკომენდებულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ჭარბტენიანი ეკოსისტემებით წმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს პირობებში, როგორც ჩამდინარი წყლების გაწმენდის არსებული ტექნოლოგიების შესაძლო ალტერნატივა.

**მეცნიერული სიახლე.** სისტემურ-ლოგიკური კვლევის მეთოდოლოგიის საფუძველზე შემუშავებულია მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისთვის წყლის გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესარჩევად შესატყვის გადაწყვეტილებათა მიღების, მონაცემების დაზუსტებისა და განსახილველ სფეროში დანერგვის ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემები. შესაბამისად, შემუშავებულია სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების კომპლექსებით: რენტაბელობის მახასიათებელი კრიტერიუმების, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ენერგოეფექტურობის, ეკონომიკური დანახარჯების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად ღირსებად უნდა აღინიშნოს დოქტორანტის მიერ „საუკეთესო ხელსაყრელი ტექნოლოგიების“, როგორც ინსტრუმენტული საშუალების გამოყენება მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლების გაწმენდის პროცესებში. ამასთან, დისერტანტმა შეძლო აღნიშნული ტიპის ქალაქებისთვის შეემუშავებინა ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ენერგოეფექტური პრინციპული ტექნოლოგიური სქემები (იხ. ნახ.4,5,6), რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა ნაგებობების ტიპური კომპლექსების შესაბამისად, კერძოდ:

- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, დაწმენდის ბლოკი, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები ნიტრიფიკაცია-დენიტრიფიკაციით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვნებლების ბლოკი.

- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები ნიტრიფიკაცია-დენიტრიფიკაციით, მეორადი რადიალური სალექარები, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მეორადი რადიალური სალექარები, დაწმენდის ბლოკი, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი რადიალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მემბრანული ბიორეაქტორი, გაუვნებლების ბლოკი.
- მექანიკური გაწმენდა, პირველადი ჰორიზონტალური სალექარები, აეროტენკები სრული ჟანგვით, მემბრანული ბიორეაქტორი, გაუვნებლების ბლოკი.

აგრეთვე უმთავრეს დადებითი მომენტია გადაწყვეტილებათა მიღების ოთხეტაპიანი სტრატეგიის (გეგმა>კეთება>შემოწმება>ქმედება) მიხედვით მენეჯმენტის წარმოების ბლოკ-სქემის შემუშავება, მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ განსახორციელებლად ენერგოეფექტურობის მოთხოვნების გათვალისწინებით (იხ. ნახ.7).

კვლევის პერსპექტიული ობიექტები იქნება საქართველოს მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურები.

## დასკვნა

სისტემურ-ლოგიკური კვლევის მეთოდოლოგიის საფუძველზე შემუშავებულია მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისთვის წყლის გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესარჩევად შესატყვის გადაწყვეტილებათა მიღების, მონაცემების დაზუსტებისა და განსახილველ სფეროში დანერგვის ლოგიკური მიდგომის ბლოკ-სქემები. შესაბამისად, შემუშავებულია სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების კომპლექსებით: რენტაბელობის მახასიათებელი კრიტერიუმების, მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ენერგოეფექტურობის, ეკონომიკური დანახარჯების მიზანშეწონილობის შეფასების და მენეჯმენტის პრინციპების გათვალისწინებით, კერძოდ:

1. შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შერჩევის ალგორითმი (ბლოკ-სქემა) შესაბამისი კრიტერიუმული მაჩვენებლების (ეკოლოგიური, კლიმატური, ეკონომიკური, ენერგოეფექტურობის) გამოყენებით, რომლებიც ევროპაში მიღებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ შერჩევის დადებითი გამოცდილებით გამოირჩევა;
2. შემუშავებულია საწმენდი სადგურისთვის ჩამდინარი წყლების გაწმენდის „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ მონაცემების დაზუსტებისა და გამოყენების სფეროს შესაბამისად დანერგვის შესაძლებლობის ამსახველი ბლოკ-სქემები მიმდებარე გარემოსთვის ეკოლოგიური ხელსაყრელობის პირობების, ეკონომიკური დანახარჯების, ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების მიზანშეწონილობის შეფასების პრინციპების გათვალისწინებით;
3. შემუშავებულია ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის დონეზე შემუშავებული „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიების“ ბაზაზე. შესაბამისად, მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქებისთვის წარმოდგენილია გაწმენდის შესაძლო ენერგო-

ფექტური ტექნოლოგიური სქემები შემადგენელი ნაგებობების რეკომენდებული კომპლექსებით, რომლებიც ნორმატიული მოთხოვნის ფარგლებში უზრუნველყოფს ჩამდინარი წყლის გაუვნებლების სათანადო ხარისხს.

4. მცირე, საშუალო და დიდი ქალაქების ჩამდინარი წყლის საწმენდი სადგურებისათვის, ავტორის ხედვით, გადაწყვეტილებათა მიღების ოთხეტაპიანი სტრატეგიის საფუძველზე (გეგმა>კეთება>შემოწმება>ქმედება) შემუშავებულია „საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიის“ შესაბამისად მენეჯმენტის განხორციელების ბლოკ-სქემა მათი ენერგოეფექტურობის კვლევისა და პროგრამის განხორციელების მიზნით.
5. რეკომენდებულია ჩამდინარი წყლების ბუნებრივი ეკოსისტემებით წმენდის საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს პირობებში, როგორც ჩამდინარი წყლების გაწმენდის არსებული ტექნოლოგიების შესაძლო ალტერნატივა.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. **ნ. ნაცვლიშვილი, ლ. კლიმაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი, დ. გურგენიძე.** წყალმომარაგებისა და წყალარინების საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009, 379 გვ.
2. **პ. ნამგალაძე.** კანალიზაცია. მეორე ნაწილი. თბილისი: განათლება, 1986 434 გვ.
3. **Яковлев С.В., Ласков Ю.М.** Канализация. М. Стройздат, 1987, 319 стр.
4. **Angelakis A. N. and Tchobanoglous G.,** 1995, Municipal Wastewaters: Natural Treatment Systems, Reclamation and Reuse and Disposal of Effluents, Crete University Press, pp. vii (in Greek).
5. **Reed S., Middlebrooks E. and Crites R.,** 1995, Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw Hill. <http://meteo.gov.ge/about-agency>
6. Integrated Assesment Study, Turkish part. 2014. Iliia State University Publisher.
7. Integrated Assesment Study, Romanian part. 2014. Iliia State University Publisher.
8. **Ковальчук В.А.** Очистка сточных вод. - Рівне:ВАТ "Рівненськадрукарня", 2002. - 622с.
9. **Родионова А.И., Клушина В.Н., Торочешникова Н.С.** Техника защиты окружающей среды. - М.: Химия, 1989 г.
10. **Жуков А.И. Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д.** Методы очистки производственных сточных вод - М.: Стройиздат.
11. **Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А.** Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник.-- Л.: "Химия", 1985.
12. **Васильев Г.В., Ласков Ю.М.,** «Водное хозяйство и очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности». М.: Легкая индустрия, 1976.-224 с.
13. **Вишаренко В.С.** «Принципы управления качеством окружающей среды городов. Урбоэкопогия.» М.: Наука. 1990. - 250 с.
14. **Китанович Бранко.** Планета и цивилизация в опасности / [Пер. с серб.-хорв., предисл. и коммент. И. В. Вишняковой]. - М.: Мысль, 1995. - 240 ც
15. **Клауснитцер Бернхард.** Экология городской фауны / Пер. с нем.: И. В. Орловой, И. М. Маровой; [Предисл. Д. А. Криволицкого]. - М.: Мир., 1990. - 248 ც.
16. **Корнеева А.И.** Общество и окружающая среда. - М.: Мысль, 1995. - 126 ც.
17. **Стольберг Ф.В.** «Экология города» учебник. К.: Либра. 2000. - 464 с.

18. **Трочешников Н.С., Родионов А.И., Кельцев И.В.**, «Техника защиты окружающей среды» Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Химия, 1981. – 355 с.
19. **Юрьев Б.Т.** «Очистка сточных вод малых объектов». Рига, Авотс, 1983.54 с.
20. Человек и экология : [Сборник / Ред. Н. Филипповский]. - М.: Знание, 1990. - 96 с.
22. Вредные химические вещества. Неорганические соединения I-IV групп: Справ. изд./ Под ред. В.А. Филова и др. -- Л.: «Химия»,1988.
23. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: Справ. изд./ Под ред. В.А. Филова и др. -- Л.: «Химия»,1989.
24. **Мур Дж.В., Рамамурти С.** Тяжелые металлы в природных водах. - М.: «Мир», 1987.
25. **Евилович А.З.** «Утилизация осадков сточных вод» М: Стройиздат, 1989г
26. **Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.** «Контроль качества воды» М: Стройиздат, 1986г
27. **Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.** «Химия воды и микробиология» М: Стройиздат, 1983г
28. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. М: Стройиздат, 1977г
29. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. ПНД Ф СБ 14.1.77-96 Москва,1996г
30. Отчёт о работе ГОКС г.Самара за 1998 год
31. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков Под редакцией В.Н. Соколова М: Стройиздат, 1992г
32. **Туровский И.С.** «Обработка осадков сточных вод» М: Стройиздат, 1984г
33. Унифицированные методы исследования качества вод. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. Ч. IV. Микробиологические методы. Москва, 1985г
34. **Пономарев В.Г., Исакимис Э.Г., Монгайт И.Л.** Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. – Г.: Химия, 1985. – 256с.
35. Унифицированные методы анализа вод./ Под ред. Ю.Ю. Лурье. – Изд. 2-е. –М.: Химия, 1973. – 363с.
36. **Свиридов В.Ю., Лукашенко С.В., Колесник П.Э. Пат.** 19653 Украина, МКИ С 02 F 1/40. Устройство для очищения сточных вод. – 96041492; Заявл. 16.04.96; Опубл. 25.12.97; Бюл. №6. – 7с.

37. **Ласков Ю.М.** и др. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Г.: Стройиздат, 1987. – 255с.
38. **Стахов Э.А.** Очистка нефтьсодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Г.-Л.: Недра, 1983. – 263с.
39. **Кагановский А.М.** Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Научная мысль, 1983. – 115с.
40. **Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. А., Родзиллер И. Д.** Канализация промышленных предприятий. Г.: Стройиздат, 1970.
41. **Шевченко Г.С.** Утилизация отработанных нефтепродуктов. – Киев: Техника, 1983. – 119с.
42. **Лихачев Н.И., Ларин И.И., Хаскин С.А.** и др. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под общ. ред. Самохина В.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – Г.: Стройиздат, 1981. – 639с. – (Справочник проектировщика).
43. Рекомендации по определению эксплуатационных расходов при проектировании внеплощадочных систем водоснабжения и канализации промышленных предприятий. Приказ №188./ Союзводоканалниипроект. – Г., 1984. – 79с.
44. **Ковальчук В.А.** Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня”, 2002. – 622с.
45. **Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А.** Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник.-- Л.: “Химия”, 1985.
46. **Васильев Г.В., Ласков Ю.М.,** «Водное хозяйство и очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности». М.: Легкая индустрия, 1976. – 224 с.
47. **Вишаренко В.С.** «Принципы управления качеством окружающей среды городов. Урбоэкология.» М.: Наука. 1990. – 250 с.
48. **Китанович Бранко.** Планета и цивилизация в опасности / [Пер. с серб.-хорв., предисл. и коммент. И. В. Вишняковой]. - М.: Мысль, 1995. - 240 ѓ
49. **Клауснитцер Бернхард.** Экология городской фауны / Пер. с нем.: И. В. Орловой, И. М. Маровой; [Предисл. Д. А. Криволицкого]. - М.: Мир., 1990. - 248 ѓ.
50. **Корнеева А.И.** Общество и окружающая среда. - М.: Мысль, 1995. - 126 ѓ.
51. **Стольберг Ф.В.** «Экология города» учебник. К.: Либра. 2000. – 464 с.
52. **Трочешников Н.С., Родионов А.И., Кельцев И.В.,** «Техника защиты окружающей среды» Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Химия, 1981. – 355 с.

53. **Юрьев Б.Т.** «Очистка сточных вод малых объектов». Рига, Авотс, 1983. 154 с.
54. Человек и экология : [Сборник / Ред. Н. Филипповский]. - М.: Знание, 1990. - 96 с.
55. ЭХО : Экология, хозяйство, окружающая среда. - М.: Прогресс, 1990. - 360.
56. Вредные химические вещества. Неорганические соединения I-IV групп: Справ. изд./ Под ред. В.А. Филова и др. -- Л.: "Химия",1988.
57. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: Справ. изд./ Под ред. В.А. Филова и др. -- Л.: "Химия",1989.
58. **Мур Дж.В., Рамамурти С.** Тяжелые металлы в природных водах. - М.: "Мир", 1987.
59. **Туровский И.С.** Обработка осадков сточных вод М.: Стройиздат 1984
60. **Жуков А.И. Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д.** Методы очистки производственных сточных вод М.: Стройиздат.
61. **Евилович А.З.** Утилизация осадков сточных вод М.: Стройиздат 1989
62. **Банников А.Г., Рустамов А.К., Вакулин А.А.** Охрана природы М.: Агропромиздат 1987
63. **Капинос П.И., Панесенко Н.А.** Охрана природы Киев: "Выща школа" 1991
64. Охрана окружающей природной Среды Под редакцией Дуганова Г.В. Киев:"Выща школа" 1990
65. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Под редакцией Юшманова О.А. М.: Агропромиздат 1985
66. Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения Под редакцией Гавич И.К.М.: Агропромиздат 1985
67. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков Под редакцией Соколова В.Н.М.: Стройиздат 1992
68. **Евилович А.З.** "Утилизация осадков сточных вод" М: Стройиздат, 1989г
69. **Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.** "Контроль качества воды" М: Стройиздат, 1986г
70. **Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.** "Химия воды и микробиология" М: Стройиздат, 1983г
71. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. М: Стройиздат, 1977г
72. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. ПНД Ф СБ 14.1.77-96 Москва,1996г

73. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков Под редакцией Соколова В.Н. М: Стройиздат, 1992г
74. **Туровский И.С.** “Обработка осадков сточных вод” М: Стройиздат, 1984г
75. Унифицированные методы исследования качества вод. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ.С. IV. Микробиологические методы. Москва, 1985г
76. **Пономарев В.Г., Исакимис Э.Г., Монгайт И.Л.** Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. – Г.: Химия, 1985. – 256с.
77. **Яковлев С.В., Ласков Ю.М.** **Канализация:** Водоотведение и очистка сточных вод. – 7-е изд., перераб. и доп. – Г.: Стройиздат, 1987. – 319с.
78. Унифицированные методы анализа вод./ Под ред. Ю.Ю. Лурье. – Изд. 2-е. –М.: Химия, 1973. – 363с.
79. **Свиридов В.Ю., Лукашенко С.В., Колесник П.Э.** Пат. 19653 Украина, МКИ С 02 F 1/40. Устройство для очищения сточных вод. – 96041492; Заявл. 16.04.96; Опубл. 25.12.97; Бюл. №6. – 7с.
80. **Ласков Ю.М.** и др. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Г.: Стройиздат, 1987. – 255с.
81. **Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В.** Очистка производственных сточных вод. – Г.: Стройиздат, 1985. – 384с.
82. **Стахов Э.А.** Очистка нефтьсодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Г.-Л.: Недра, 1983. – 263с.
83. **Кагановский А.М.** Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Научная мысль, 1983. – 115с.
84. **Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. А., Родзиллер И. Д.** Канализация промышленных предприятий. Г.: Стройиздат, 1970.
85. **Шевченко Г.С.** Утилизация отработанных нефтепродуктов. – Киев: Техника, 1983. – 119с.
86. **Лихачев Н.И., Ларин И.И., Хаскин С.А.** и др. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под общ. ред. Самохина В.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – Г.: Стройиздат, 1981. – 639с. – (Справочник проектировщика).
87. Рекомендации по определению эксплуатационных расходов при проектировании внеплощадочных систем водоснабжения и канализации промышленных предприятий. Приказ №188./ Союзводоканалниипроект. – Г., 1984. – 79с.
88. **Ковальчук В.А.** Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня”, 2002. – 622с.

89. **Черкинский С. Н.** Санитарные условия спуска стъчных вод в водоемы. М. Стройздат 1977, с.185
90. **Беспмятнов Г. Н. Коротов Ю. А.** Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. Ленинград «Химия», Ленинградское отделение 1985, с.528
91. Исследование опраций в 2-х томах, модели и применения. Под редакцией Дж. Моудера, С. Элмаграби. Перевод с англиского М. Издательство «Мир» 1981, с. 677
92. **Колинина Э. В., Лапина А. Г.** и др. Оптимизация качества. Слогинные продукты и процессы. М. «Химия» 1989, с. 256
93. **ო. ციხელაშვილი, ა. ციხელაშვილი, მ. მჭედლიძე.** წყალმომარაგების ზედაპირული წყაროების დაბინძურების ხარისხობრივი შეფასება-პროგნოზირება. ეკოლოგიის პრობლემები, ტ.. IV, თბილისი, 2006. გვ. 173-197.