

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მაკა მჟავანაძე

“ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდა ჰიდროციკლონის გამოყენებით, ღვინის წარმოების მაგალითზე”

სადოქტორო პროგრამა წყლის რესურსების ინჟინერია

შიფრი: 0712

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2026 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჰიდროტექნიკისა და სამოქალაქო ინჟინერიის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ალექსანდრე ბაგრატიონ-დავითაშვილი

რეცენზენტები:

ბზიავა კონსტანტინე - ასოც. პროფ. სტუ სამშენებლო ფაკულტეტი;

კუპრეიშვილი შორენა - ასოც. პროფ. სამთოგეოლოგიური და მთის

მდგრადი განვითარების ფაკულტეტი, სტუ

დაცვა შედგება 2026 წლის 27 თებერვალს 13:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I,

აუდიტორია 508 (ბიბლიოთეკა)

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

მისამართი: 0160, თბილისი, მ. კოსტავას №77

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი: დემურ ტაბატაძე

ნაშრომის საერთო დახასიათება

ნაშრომის აქტუალურობა. გლობალური წყლის დეფიციტი სწრაფად იზრდება მსოფლიოს ბევრ რეგიონში სოფლის მეურნეობის, ადამიანის და სამრეწველო საჭიროებების გაზრდის გამო. სამრეწველო საქმიანობა აწარმოებს ჩამდინარე წყლების ნაკადებს, რომლებიც უნდა იმართებოდეს. აქედან გამომდინარე, ჩამდინარე წყლების დამუშავება გადამწყვეტი იქნება პრობლემის მოსაგვარებლად. ამ მხრივ, მემბრანული ტექნოლოგიები წარმოადგენს ჩამდინარე წყლების მაღალი ხარისხის გაწმენდისა და ხელახალი გამოყენების სისტემების არსებით ნაწილს.

ღვინის წარმოება წარმოქმნის ნარჩენების ნაკადის დიდ რაოდენობას. ეს ნარჩენების ნაკადი მოიცავს მყარ ორგანულ ნარჩენებს, ჩამდინარე წყლებს, სათბურის აირებს და ორგანული ნაერთებს.

ეს ნარჩენები უარყოფითად მოქმედებენ გარემოზე. ღვინის ქარხნების ძირითადი პოტენციური გარემოზე ზემოქმედება იწვევს მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების დაბინძურებას, ნიადაგის დეგრადაციასა და მცენარეული საფარის დაზიანებას, რომელიც წარმოიქმნება თხევადი და მყარი ნარჩენების ზემოქმედებით.

მელვინეობის ქარხნის ჩამდინარე წყლების სხვადასხვა რაოდენობის წარმოქმნა, ღვინის დაყენების პროცესში მათი შემადგენლობის რყევებთან ერთად, რთულ ამოცანას წარმოადგენს მელვინეობისათვის მათი შესაფერისი დამუშავების მეთოდების შერჩევას.

ამიტომ, მელვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდა საკმაოდ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

მეცნიერული სიახლე. მელვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ხორციელდება ტრადიციული კონვექციური მეთოდით, რომელიც მოიცავს: მექანიკურ გაწმენდას, კოაგულაცია-ფლოკულაციას, სედიმენტაციას და დეზინფექციას.

მაგრამ ბოლო ათწლეულებში დადგინდა, რომ კონვექციური მეთოდი არ არის საკმარისი მელვინეობის ჩამდინარე წყლების სრული

გაწმენდისათვის.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ჰიდროციკლონით დამუშავების მეთოდი მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად და ჰიდროციკლონის პარამეტრები.

შემოთავაზებული ამ მეთოდოლოგიის გამოყენების პროექტი მეღვინეობის მცირე საწარმოებისათვის.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ახალი მეთოდოლოგიის შექმნა, რომელიც აქამდე არ გამოიყენებოდა მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად.

ამისათვის, განხილულია ჰიდროციკლონით დამუშავების მეთოდი. მოცემულია მისი პარამეტრები მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მეღვინეობის საწარმო და მის მიერ წარმოებული ჩამდინარე წყლები. შემოთავაზებულია ამ ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ჰიდროციკლონით დამუშავების მეთოდი, რომელიც შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს მეღვინეობის მიერ წარმოებული ჩამდინარე წყლების უფრო სრული გაწმენდისათვის.

შედეგების გამოყენების სფერო. ჩვენს მიერ მეღვინეობის საწარმოს წარმოებული ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მეთოდოლოგია შესაძლებელი გამოყენებული იქნეს ინდუსტრიის ისეთ დარგებში, როგორცაა: კვების მრეწველობა, ქიმიური მრეწველობა, ფარმაცევტული მრეწველობა და კოსმეტიური მრეწველობა.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ორი თავის, საერთო დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის (39 დასახელება).

ნაშრომი გადმოცემულია 105 ნაბეჭდ გვერდზე, მათ შორის 13 ცხრილი და 24 ნახაზია.

ნაშრომის შინაარსი

ყურძენი ერთ-ერთი უძველესი კულტივირებული მცენარეა, რომელმაც ღვინის დაყენების პროცესთან ერთად განაპირობა განვითარების გეოგრაფიული და კულტურული ისტორია. ღვინო არის ახალი ყურძნის წვენი ალკოჰოლური დუდილის პროდუქტი, წარმოების მრავალი მეთოდის შედეგად, სასურველი ღვინის სახეობიდან გამომდინარე. ახლა ღვინო არის მრავალი ქვეყნის კულტურის კომპონენტი.

საქართველო ერთ-ერთი უძველესი ღვინის მწარმოებელი რეგიონია მსოფლიოში. ამიერკავკასიის ნაყოფიერი ხეობები და დამცავი ფერდობები სულ მცირე 8000 წლის განმავლობაში იყო ვაზის მოშენებისა და ნეოლითური ღვინის წარმოების ადგილი. საქართველოს ისტორიაში მრავალი ათასწლეულის ღვინისა და მისი გამორჩეული ეკონომიკური როლიდან გამომდინარე, ღვინის ტრადიციები მიჩნეულია ეროვნულ იდენტობასთან.

ღვინის წარმოება ტრადიციულად განიხილება, როგორც ეკოლოგიურად სუფთა პროცესი. თუმცა, ის მოითხოვს მნიშვნელოვან რესურსებს, როგორცაა წყალი, ენერჯია, სასუქები და ორგანული ნაერთები და, მეორეს მხრივ, წარმოქმნის ნარჩენების ნაკადის დიდ რაოდენობას. ეს ნარჩენების ნაკადი მოიცავს მყარ ორგანულ ნარჩენებს (ყურძნის წიპწი, კანი, წიპწები და ა.შ.), ჩამდინარე წყლები, სათბურის აირები (CO₂, აქროლადი ორგანული ნაერთები და ა.შ.).

ვენახებში მიმდინარე სხვადასხვა აქტივობები მოიცავს სასუქებს (როგორც სინთეზურ, ასევე ბუნებრივ), პესტიციდებს, სარწყავად წყალს და ენერჯეტიკას მინდორში აღჭურვილობის გასაძლიერებლად. არსებობს ბუნებრივი პესტიციდები და მავნებლების კონტროლის ნივთიერებები; თუმცა, ვენახების უმრავლესობა იყენებს სინთეზურ ქიმიურ პესტიციდებს ინსექტიციდების, ჰერბიციდების და ფუნგიციდების სახით. ეს ქიმიკატები, მიუხედავად იმისა, რომ განსხვავდება ტოქსიკურობის დონის მიხედვით, საზიანოა ჰაერის, წყლისა და ნიადაგისათვის.

ღვინის წარმოების დროს მიმდინარე აქტივობები მოიცავს ენერჯიას (გაციება დუდილის პროცესში, შენახვის ტემპერატურის შენარჩუნება, ამოტუმბვა, აღჭურვილობა და ა.შ.), წყალი (კასრები, ავზები და

აღჭურვილობა მუდმივად იწმინდება დაბინძურების დონის შესამცირებლად), ქიმიურ ნივთიერებებს (კაუსტიკური სოდა, გოგირდის გაზი, მაცივრები და ა.შ.) და შესაფუთი მასალები (მინა, საცობები, ხის პალეტები, წებოები, მუყაო, ლითონის და პლასტმასის ფოლგა).

მეღვინეობის წყლის საოპერაციო საკითხები ეხება ორგანული ნივთიერებების, ნიტრატების და ფოსფორის შემცველი ჩამდინარე წყლების გაწმენდას. ქიმიკატების გამოყენებით პოტენციურად გამოწვეული ზემოქმედება განსხვავდება ღვინის ქარხანაში გამოყენებული ქიმიკატების მიხედვით და შეიძლება მოიცავდეს დაღვრას და ჰაერის, ნიადაგისა და წყლის ხარისხზე ზემოქმედებას. შესაფუთი მასალები გავლენას ახდენს ბუნებრივი რესურსების მარაგებზე და ქმნის ნაგავსაყრელის პრობლემებს.

მიუხედავად იმისა, რომ ღვინის ინდუსტრიის გარემოსდაცვითი მაჩვენებლები არ იქცევა მედიის იმდენ ყურადღებას, როგორც მრეწველობა, რომელიც ხშირად ხასიათდება როგორც „ბინძური“, როგორცაა ქიმიური მრეწველობა, ღვინის წარმოება მრავალი სერიოზული გარემოსდაცვითი პრობლემის წინაშე დგას. ღვინის ინდუსტრიის მენეჯერები მუშაობენ ტოქსიკური პესტიციდების და ჰერბიციდების, სასუქების, მწირი წყლისა და ენერჯის გამოყენების შეზღუდვაზე და ცდილობენ შეამცირონ დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების, ორგანული ნარჩენების და არასახიფათო შესაფუთი მასალების რაოდენობა. მეღვინეობის ოპერაციებს სჭირდებათ ჩამდინარე წყლების ადგილზე გაწმენდა ან ჩამდინარე წყლების გაგზავნა მუნიციპალურ გამწმენდ ნაგებობებში. გარდა ამისა, ღვინის ქარხნებმა ყურადღება უნდა მიაქციონ მიწათსარგებლობის საკითხებს, რომლებიც დაკავშირებულია ჰაბიტატის განადგურებასთან და გადაშენების პირას მყოფ სახეობებთან.

წარმოქმნილი ნარჩენების მართვას და განკარგვას, ისევე როგორც მეღვინეობის მთლიან გარემოსდაცვით მენეჯმენტს მეღვინეობის ოპერატორებისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს და ამ დრომდე, ამ მიზნის მისაღწევად, მსოფლიოში გამოყენებულია რამდენიმე მეთოდი და პროცესი.

ღვინის ქარხნების ძირითადი პოტენციური საერთო გარემოზე ზემოქმედება არის:

• მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების დაბინძურება, ნიადაგის დეგრადაცია და მცენარეული საფარის დაზიანება, რომელიც წარმოიქმნება თხევადი და მყარი ნარჩენების ხელახალი გამოყენებისა და განკარგვის პრაქტიკიდან;

• მეღვინეობის პროცესის ნედლეულის, ჩამდინარე წყლების, მყარი და ნახევრად მყარი ქვეპროდუქტების მართვის შედეგად წარმოქმნილი სუნი და ჰაერის გამონაბოლქვი; ხმაური ტუმბოების, ჩილერების, დამსხვრევეებისა და მეღვინეობის სხვა აღჭურვილობისგან, ისევე როგორც მანქანების ხმაური, განსაკუთრებით რთველის დროს.

ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლები წარმოიქმნება მრავალი წყაროდან, რომელიც მოიცავს:

- რეზერვუარების გაწმენდა
- იატაკისა და აღჭურვილობის შლანგით მორეცხვა
- გადაცემის ხაზების გამორეცხვა
- მილების რეცხვა
- დახარჯული ღვინისა და პროდუქტის დანაკარგები
- ჩამოსასხმელი საშუალებები
- ფილტრაციის ბლოკები
- ლაბორატორიული ჩამდინარე წყლები
- სანიაღვრე წყალი გადამისამართებული ან ჩამდინარე წყლების

მართვის სისტემაში დაჭერილი.

ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლები არის ნარჩენების ძირითადი ნაკადი, რომელიც წარმოიქმნება დასუფთავების მრავალი ოპერაციის შედეგად, რომელიც ხდება წარმოების ყოველ ფაზაში, როგორც ზემოთ აღინიშნა, და წარმოებული ჩამდინარე წყლები შეიცავს სხვადასხვა დამაბინძურებლებს. მოცულობა და დაბინძურების დატვირთვა მნიშვნელოვნად განსხვავდება სამუშაო პერიოდის (რთველი, დათაროება, ჩამოსხმა) და გამოყენებული მეღვინეობის ტექნოლოგიების (მაგ. წითელი, თეთრი და სპეციალური ღვინოების წარმოებაში) მიმართ. შეფასებულია, რომ ღვინის ქარხანა აწარმოებს 1,3-დან 1,5 კგ-მდე ნარჩენებს ერთ ლიტრ ღვინოზე, რომლის 75%

ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლებია.

მარნების უმეტესობა მთელ მსოფლიოში შედგება მცირე და საშუალო ზომის საწარმოებისგან, რომლებსაც არ შეუძლიათ წარმოებული ნარჩენების სათანადო მართვა. ზოგიერთი ღვინის ქარხანა ურბანულ რაიონებში ჩამდინარე წყლებს ატარებს ადგილობრივი კანალიზაციის გამწმენდ ნაგებობებში, რაც იწვევს მძიმე ჯარიმებს დაბალი pH-ის და ნარჩენების ნაკადის მაღალი ჟქმ-ის შემცველობის გამო. ამის საპირისპიროდ, სოფლის მეღვინეობებს ხშირად აქვთ ჩამდინარე წყლების გამოიყენების პრაქტიკას მინდვრების სარწყავად, რაც იწვევს გარემოზე არასასურველ ეფექტებს.

შესამჩნევია ღვინის მრეწველობის ჩამდინარე წყლების გარემოზე ზემოქმედება მაღალი ორგანული დატვირთვის, დიდი მოცულობების და ზემოაღნიშნული მკვეთრად გამოხატული სეზონური ცვალებადობის გამო. ყოველი ღვინის ქარხანა უნიკალურია ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლების წარმოქმნაში (მალიან ცვალებადი, 0.5-14 ლ წარმოებული ღვინის ლიტრზე). მეღვინეობის ჩამდინარე წყლებმა შეიძლება გამოიწვიოს წყლის რესურსების (მაგ. ბუნებრივი ნაკადულები, მდინარეები, კაშხლები და ჭაობები) ეუტროფიკაცია. ზედაპირულ წყლებში ეუტროფიკაცია განსაკუთრებით სერიოზულია, რადგან ამან შეიძლება გამოიწვიოს წყალმცენარეების აყვავება და შემდგომში ჟანგბადის მომხმარებელი დეგრადაციის პროცესები, რაც საბოლოოდ შეიძლება გამოიწვიოს წყლის მთლიანი ბიოცენოზის სიკვდილი. გარდა ამისა, ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლებმა შეიძლება გამოიწვიოს მარილიანობა, დაბინძურება ქიმიკატების ფართო სპექტრით, ნიადაგის სტრუქტურის დაკარგვა და ეროზიისადმი მგრძობელობის გაზრდა.

გარდა ამისა, ღვინოში უამრავი ფენოლური ნაერთია, რომელიც წარმოქმნილი ყურძნის კანიდან და ყურძნის მარცვლებიდან მათი ამოღების შედეგად. ფენოლური ნაერთები ქმნიან ჩამდინარე წყლების ორგანული დატვირთვის შედარებით მცირე ნაწილს, მაგრამ დაუმუშავებელი გამოთავისუფლების შემთხვევაში შეიძლება ზიანი მიაყენოს გარემოს. ზოგიერთი ფენოლური ნაერთი არის მავნე დამაბინძურებელი, რომელიც ტოქსიკურია ადამიანებისთვის, ცხოველებისა და მრავალი მიკროორგანიზმებისთვის, თუნდაც შედარებით დაბალი კონცენტრაციით.

ისინი განსაკუთრებით მდგრადია დეგრადაციის მიმართ, მაგრამ ზოგიერთ ბაქტერიას და სოკოს შეუძლიათ ამ ნაერთების მონელება და დეგრადაცია. უფრო მეტიც, თუ ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნილების მაღალი დონე (ჟბმ) გაუწმენდავი ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლებში მიეცემა ნაკადულებში, მდინარეებში, აუზებში, ტბებსა და სხვა ზედაპირულ წყლებში, წყალში გახსნილი ჟანგბადი შეიძლება სწრაფად მოიხმარდეს. წყალში გახსნილი ჟანგბადის ამოწურვის გამო, წყლის მობინადრეების სიცოცხლე თრგუნდება.

მარნები აწარმოებენ მყარი ნარჩენების მთელ რიგს, მათ შორის:

ორგანული მყარი ნარჩენები:

- ყურძნის წიპწა - ყურძნის მასალა (ძირითადად კანი, რბილობი და მარცვლები), რომელიც რჩება ყურძნის დაწურვის შემდეგ.

- ყურძნის ყუნწები - ყურძნისგან გამოყოფილია დაწურვის პროცესში

- ნალექი - მასალა, რომელიც გროვდება ყურძნის წველის ან ღვინის დუღილის ავზების ძირში

- გაფილტრული მყარი ნივთიერებები - ზოგადად დიატომიური მიწა და ბენტონიტური თიხა, ფილტრის მედია.

არაორგანული მყარი ნარჩენები:

- ზოგადი ნაგავი - ცარიელი ქიმიური კონტეინერები, მუყაო, პლასტმასის კონტეინერები, ხის პალეტები

- შეფუთვის ნარჩენები - ძირითადად ჩამოსხმის პროცესით წარმოებული მოიცავს ქაღალდს, პლასტმასის ჯართს და მინას.

ვინაიდან ღვინის წარმოების 20%-ზე მეტი ორგანული მყარი ნარჩენებია, ეს უკანასკნელი წარმოადგენს სერიოზულ ეკოლოგიურ პრობლემას, რომელიც სასწრაფოდ უნდა მოგვარდეს. უპირველესი საზრუნავი არის ორგანული ნივთიერებების მაღალი შემცველობა, რომელიც დაკავშირებულია კანთან და ჩირთან, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს გახსნილი ჟანგბადის დაქვეითება მიმდებარე ნაკადულებში, მდინარეებში და სხვა ზედაპირული წყლის რესურსებში. ამ მიზეზების გამო, ღვინის ქარხნის ორგანული მყარი ნარჩენები უნდა დამუშავდეს შესაბამისი მენეჯმენტის პრაქტიკის შესაბამისად

მეღვინეობის ქარხნების ჩამდინარე წყლები, როგორც წესი, აღწერილია, როგორც მტკნარი წყლის, ადვილად ხსნადი და ბიოდეგრადირებადი ორგანული მასალის ნაზავი, როგორცაა ცილები, პოლიპეპტიდები და პოლისაქარიდები, გახსნილი მარილები, მინერალები და მძიმე მეტალების იონების სუსტი კონცენტრაციები და სხვა ფიტოტოქსიური და მედეგი ნაერთები ნედლი ჩამდინარე წყლებმა უნდა გაიაროს დამუშავება, რათა დააკმაყოფილოს ჩამდინარე წყლების ხარისხის მოთხოვნები.

უმეტეს შემთხვევაში, ღვინის ქარხნები იყენებენ დამუშავების ფაზების კომბინაციას, რომელიც მოიცავს წინასწარ, პირველად, მეორად და მესამეულ დამუშავების ფაზებს. საბოლოო გაწმენდის ეტაპი ასევე ხშირად გამოიყენება დამუშავებული ჩამდინარე წყლების დეზინფექციისთვის, რაც დიდწილად დამოკიდებულია მის საბოლოო დანიშნულებაზე. ეს ნაშრომი ფოკუსირებული იქნება დამუშავების სამ პირითად ვარიაციაზე წარმოებული მეთოდების ფართო სპექტრით, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია ჩამდინარე წყლების დამუშავების მიზნების მისაღწევად, თუ ისინი გამოიყენება შესაბამის კომბინაციაში: ფიზიკურ-ქიმიური დამუშავება, ბიოლოგიური დამუშავება და მოწინავე ჟანგვითი დამუშავება.

ამ გამწმენდი ტექნოლოგიის შემთხვევაში, გამწმენდი ეფექტურობის შესაფასებლად შეფასებული ტიპიური პარამეტრებია მთლიანი შეწონილი მყარი ნაწილაკები, სიმღვრივე და ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილება. კოაგულაციის/ფლოკულაციის მიზანია წვრილი ნაწილაკების აგლომერაცია დიდი ნაწილაკების ფლოკებად, რომელთა მოცილება შესაძლებელია დალექვით. ჩამდინარე წყლებში არსებული ბუნებრივი ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების შესამცირებლად. ეს პროცესი მოიცავს დისპერსიული კოაგულანტის სწრაფ შერევას თხევად მატრიცაში ძლიერი მორევის გზით და მცირე ნაწილაკების აგლომერაციას ფლოკებად ფლოკულაციის გზით ამის შემდეგ, ფლოკები ილექება, ხოლო გაწმენდილი წყალი შეიძლება გამოიდევენოს ან გადაიტანოს შემდგომ (ზედა დინების) გამწმენდ პროცესში. კოაგულაცია ხდება მაშინ, როდესაც კოაგულანტი, მაგალითად, ალუმინის და რკინის მარილები (მაგ., ალუმინის სულფატი,

ალუმინის ქლორიდი, რკინის ქლორიდი, რკინის სულფატი და ა.შ.) ემატება და სწრაფად ერევა ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლებს. კოაგულანტის როლია კოლოიდური ნაწილაკების ზედაპირზე არსებული უარყოფითი მუხტების ნეიტრალიზება და დესტაბილიზაცია. ამ კოაგულანტების გარეშე, კოლოიდებმა შეიძლება წარმოქმნან სტაბილური სუსპენზია ნაწილაკების ზომებით 0.01-დან 1 მკმ-მდე დიაპაზონში. კოლოიდური სუსპენზიების დესტაბილიზაციისა და ფლოკულანტების დამატების შემდეგ, დალექვა ისტორიულად გამოიყენებოდა და მოხსენიებულია, როგორც ეფექტური წინასწარი დამუშავების პროცესი, რომელსაც შეუძლია შეამციროს ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლების მთლიანი შეწონილი მყარი ნაწილაკები, სიმღვრივე და ზოგიერთ შემთხვევაში ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილება. დალექვა გულისხმობს სუსპენზიაში ნაწილაკების გამოყოფას გრავიტაციული ძალის საფუძველზე, რომელიც გამომდინარეობს ნაწილაკებსა და სითხეს შორის სიმკვრივის სხვაობიდან. დალექვა შეიძლება გამოიყენებულ იქნას როგორც კოაგულაციამდე, რათა შემცირდეს საჭირო კოაგულაციური ქიმიკატების რაოდენობა, ასევე კოაგულაციის ან ფლოკულაციის შემდეგ, სადაც მისი მიზანია სუსპენზიაში მყარი ნივთიერებების კონცენტრაციის შემცირება და შესაბამისად, კონცენტრაციის დატვირთვის შემცირება ფილტრაციის მსგავსი ზედა დინების პროცესებამდე.

მელვინეობის ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ტექნოლოგიები, როგორც წესი, ოთხ კატეგორიად იყოფა: ა) ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, ბ) ბიოლოგიური პროცესები, გ) მოწინავე დაჟანგვის პროცესები, დ) მემბრანული პროცესები.

ნახშირბადის და ჟანგბადის მოცილების ტექნოლოგიის ეფექტურობამელვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ყველაზე გავრცელებული როგორც წესი, წყლის გარემოში ჩამდინარე წყლების ჩაშვების შემზღვეველი ფაქტორია. ცხრილი 6 გვიჩვენებს ნახშირბადის ჟანგბადის მოცილების სხვადასხვა ვარიანტების მიმოხილვას

ცხრილი ჩამდინარე წყლების დამუშავების მეთოდები, რომლებიც, მათი კატეგორიის მიხედვით, მაღალი ეფექტურობით გამოირჩევიან.

ა) ფიზიკო-ქიმიური	<ul style="list-style-type: none"> - პრეციპიტაცია - დალექვა - კოაგულაცია - ჰიდროციკლონით დამუშავება - ელექტროკოაგულაცია
ბ) ბიოლოგიური	<p>აერობული</p> <ul style="list-style-type: none"> -მემბრანული ბიორეაქტორი -ჩვეულებრივი გააქტიურებული ლამი -ნალექის პროცესი <p>ანაერობული</p> <ul style="list-style-type: none"> -ანაერობული სეკვენირება
გ) დაჟანგვის მეთოდები	<ul style="list-style-type: none"> -TiO₂-ზე დაფუძნებული -სულფატურ რადიკალზე დაფუძნებული -Fe-ზე დაფუძნებული -ოზონზე დაფუძნებული
დ) მემბრანული მეთოდები	<ul style="list-style-type: none"> -უკუ-ოსმოსი

ფიზიკო-ქიმიური მეთოდები გამოირჩევა სიმარტივით; თუმცა, ნახშირბადის და ჟანგბადის მოცილების შეზღუდული შესაძლებლობა მათ მხოლოდ წინასწარი დამუშავებისთვის ვარგისს ხდის. ქვემოთ ჩამოთვლილი ზოგიერთი მეთოდისგან განსხვავებით, ისინი ეფექტურია მყარი ნივთიერებების, როგორც სუსპენზიური (დალექვა, კოაგულაცია), ასევე არასუსპენზიური (ნალექი) მოსაშორებლად.

წინასწარი ქიმიური დამუშავება შეიძლება მოიცავდეს pH-ის რეგულირებას და კოაგულაცია-ფლოკულაციას. ჩამდინარე წყლების მჟავიანობა და ტუტეობა გავლენას ახდენს ჩამდინარე წყლების გაწმენდაზე და გარემოზე. კოაგულაცია-ფლოკულაცია არის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესი, რომელიც გამოიყენება წყლისა და ჩამდინარე წყლებიდან კოლოიდური მასალისა და ფერის მოსაშორებლად. ჩამდინარე წყლების დამუშავების დროს კოაგულაცია წარმოადგენს საფეხურს, როდესაც

ნაწილაკების დესტაბილიზაცია ხდება კოაგულანტით და ეს შეიძლება მოიცავდეს მცირე აგრეგატების წარმოქმნას. მეორეს მხრივ, შემდგომ პროცესს, რომლის დროსაც უფრო დიდი აგრეგატები (ფლოქები) წარმოიქმნება ცნობილია როგორც ფლოკულაცია. როდესაც მცირე ნაწილაკები წარმოქმნიან დიდ აგრეგატებს, კოლოიდები შეიძლება ადვილად მოიხსნას ფიზიკური განცალკევების დროს, როგორცაა ფლოტაცია, დალექვა და ფილტრაცია.

ჰიდროციკლონებში სითხის ბრუნვითი მოძრაობა მიიღწევა არა აპარატის ნაწილების ბრუნვით, არამედ აპარატის კონუსურ კორპუსში ნაკადის ტანგენციალურად შეყვანით, რაც ზრდის ბრუნვის სიჩქარეს. ამ ეტაპზე, მექანიკური მინარევების და შეწონილი ნივთიერებების ნაწილაკები კედლებს ეჯახება და სპირალური ტრაექტორიით მოძრაობენ კონუსური ზედაპირის გასწვრივ კონუსის მწვერვალამდე, სადაც ისინი შედიან მინარევების შემგროვებელ კამერაში. ამავდროულად, გასუფთავებული ნაკადი მოძრაობს ბრუნვის ცენტრისკენ, სადაც ვაკუუმის ზონა მდებარეობს და გამოიდევენება აპარატიდან.

ელექტროკოაგულაცია ჩვეულებრივ კოაგულაციასთან შედარებით უკეთესი ალტერნატივაა - რადგან მას შეუძლია მცირე კოლოიდური ნაწილაკების ამოღება ან მცირე რაოდენობის ლამის წარმოქმნა.

ბიოლოგიური დამუშავება არის განვითარებული ტექნოლოგია, რომელიც ფართოდ არის გავრცელებული როგორც მუნიციპალურ, ასევე სამრეწველო ჩამდინარე წყლების დამუშავებაში. მიუხედავად იმისა, რომ ბიოლოგიური მეთოდები უზრუნველყოფენ მაღალი ორგანული დატვირთვის მოცილებას, ისინი საჭიროებენ შედარებით ხანგრძლივ ლოდინის დროს, რაც დაკავშირებულია ფართომასშტაბიან აღჭურვილობასთან. აერობული მეთოდები ასევე მოითხოვს ენერგონტენსიურ აერაციას, რაც ნაკლია მათ ანაერობულ ანალოგთან შედარებით, რომელსაც დამატებით შეუძლია ბიოაირის წარმოქმნა, როგორც თანმდევი პროდუქტი.

ბიოლოგიური პროცესი, რომელიც დაფუძნებულია მიკროორგანიზმების ფართო სპექტრის აქტივობაზე, ჩამდინარე წყლებში ბიოდეგრადირებადი დამაბინძურებლების გარდაქმნაზე. ბიოლოგიური

დამუშავება კარგად ერგება ჩამდინარე წყლების დამუშავებას. ნარჩენების ნაკადში ორგანული კომპონენტების უმეტესობა ადვილად ბიოდეგრადირებადია. ერთ-ერთი ყველაზე დიდი სირთულეა ჩამდინარე წყლების რაოდენობისა და შემადგენლობის ცვლადი ბუნება. ეს ნიშნავს, რომ გამწმენდ ნაგებობებს შეიძლება ჰქონდეთ რყევები გადინების შემადგენლობაში ან მოცულობაში. ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური დამუშავება შეიძლება იყოს აერობული (ჟანგბადის მიწოდებით) და ანაერობული (ჟანგბადის გარეშე). ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური დამუშავება ეფუძნება ჰავლური რეაქტორის აქტივირებულ ტალამს, თანმიმდევრულ სერიულ რეაქტორს, ფიქსირებული ბიოფილმის რეაქტორის სისტემას, აერად ლაგუნებს და მემბრანულ ბიორეაქტორს.

აერობული დამუშავება ეყრდნობა ჟანგბადის მოქმედებას, რათა ხელი შეუწყოს ჩამდინარე წყლებში არსებული ორგანული ნივთიერებების დაშლას მიკრობების დახმარებით. ჰეტეროტროფული მიკროორგანიზმები იყენებენ ნახშირბადს, როგორც ენერჯის წყაროს და გარდაქმნიან მას ბიომასად და ნახშირორჟანგად. ეს პროცესი უაღრესად ეფექტურია და იწვევს დიდი მოცულობის ლამის (ბიომასის) წარმოებას.

მემბრანული ბიორეაქტორი ერთ-ერთი ახალი ტექნოლოგია აწყლის გამწმენდ სისტემებში. იგი აერთიანებს ბიოლოგიურ დამუშავებას ინტეგრირებულ მემბრანულ სისტემასთან, რაც უზრუნველყოფს ორგანული და მყარი ნივთიერებების მოცილების [8] გაუმჯობესებას. მემბრანები გამოიყენება დამუშავებული წყლისგან მიკრობიოლოგიურ სისტემებში ბიომასის გამოსაყოფად. მემბრანული ბიორეაქტორი არის აბსოლუტური ბარიერი მყარი ნალექისათვის და მიკროორგანიზმებისთვის, რომელიც უზრუნველყოფს შეტივტივებული მყარი ნარჩენების მაღალი კონცენტრაციის მოცილებას, რომელმაც სამრეწველო ქარხნებში შეიძლება მიაღწიოს 30 გ ლ^{-1} .

ანაერობული დამუშავება გამოიყენება მოლეკულური ჟანგბადის არარსებობის შემთხვევაში. პროცესები, რომლებიც მონაწილეობენ ანაერობულ დამუშავებაში:

- (ა) ჰიდროლიზი, როდესაც ორგანული პოლიმერები (ნახშირწყლები,

ცილები, ლიპიდები) გარდაიქმნება ორგანულ მონომერებად (ცხიმოვანი მჟავები, ამინომჟავები, გლიცერინი, შაქარი);

ბ) აცეტოგენეზი და აციდოგენეზი, როდესაც ორგანული მონომერები გარდაიქმნება ნახშირორჟანგად, აცეტატად და წყალბადის აირად;

გ) მეთანოგენეზი, როდესაც ნახშირორჟანგი, აცეტატი და წყალბადი გარდაიქმნება მეთანად.

დაჟანგვის მეთოდები სიახლეა სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით. ეს მეთოდები ძალიან პერსპექტიულია, როგორც ბიოლოგიური პროცესების დამუშავების შემდგომი ეტაპი, რადგან მათ აქვთ ისეთი მუდმივი მიკროდამაბინძურებლების, როგორცაა ფარმაცევტული საშუალებები, ენდოკრინული დარღვევების გამომწვევი ნაერთები, კოფეინი ან ანტიბიოტიკების მიმართ მდგრადი ბაქტერიები, მოცილების ან ინაქტივაციის შესაძლებლობა. თუმცა, ელექტროენერჯის შედარებით მაღალი მოთხოვნა და ქიმიური რეაგენტების ღირებულება ჯერ არ იძლევა სრულმასშტაბიანი დანერგვის საშუალებას.

აგროსაწარმო-ინდუსტრიული ჩამდინარე წყლების სხვადასხვა სახეობის დამუშავების მიზნით, დაჟანგვის პროცესებს სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა. დოკუმენტირებულია, რომ ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლები მხოლოდ ბიოლოგიური მეთოდებით სრულად დამუშავება რთულია. სეზონური ცვალებადი ჩამდინარე წყლების ნაკადის დასამუშავებლად მოწინავე დაჟანგვის პროცესების დანერგვის შესახებ ახალი კვლევები პერსპექტიულ შედეგებს იძლევა და შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც დამუშავების ეტაპი ჩამდინარე წყლების აერობული ბიოლოგიური დამუშავების ჩატარებამდე. ჩამდინარე წყლების დამუშავებაში მოწინავე დაჟანგვის პროცესების მთავარი მიზანი ორგანული დამაბინძურებლების ნაწილობრივ ან სრულ დაშლას გულისხმობს. ნაწილობრივი დაშლის შემდეგ, შესაძლოა კვლავ არსებობდეს დაჟანგვადი, მაგრამ ნაკლებად მავნე პროდუქტები და იმ შემთხვევაში, თუ სრული დაჟანგვა ხდება, მიიღწევა მინერალიზაცია (ყველა ორგანული ნაერთის ნახშირორჟანგად და მინერალურ მარილებად გარდაქმნა). აქ დაჟანგვის ძირითადი მექანიზმი ხდება მაღალრეაქტიული ჰიდროქსილის

თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნით, რომლებსაც შეუძლიათ არასელექციურად რეაგირება დაჟანგვად ორგანულ სახეობებთან სწრაფი რეაქციის კინეტიკით. ზოგადად, O_3 (ოზონი), H_2O_2 (წყალბადის ზეჟანგი) და ულტრაიისფერი (ულტრაიისფერი) დასხივება გამოიყენება ჰიდროქსილის რადიკალების წარმოქმნისთვის დაჟანგვის პირველ ეტაპზე. ამის შემდეგ, რეაქცია იწყება რადიკალებსა და ორგანულ დამაბინძურებლებს შორის, რაც საბოლოოდ წარმოქმნის ნალექებს.

მელვინეობის ქარხნის ჩამდინარე წყლების სხვადასხვა რაოდენობის წარმოქმნა, ღვინის დაყენების პროცესში მათი შემადგენლობის რყევებთან ერთად, რთულ ამოცანას წარმოადგენს მელვინეობებისთვის შესაფერისი დამუშავების მეთოდების შერჩევასა. ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლების გაწმენდაში დაფიქსირდა საერთო ტენდენცია, სადაც მრავალი ტექნიკის ნაკლოვანება დაკავშირებულია ჩამდინარე წყლების ორგანული შემცველობისა და მოცულობის რყევებთან.

უკუ ოსმოსი, როგორც ყველაზე გამოხატული მემბრანული პროცესი, რომელიც გამოიყენება წყლის ნარჩენების დამუშავებისთვის, მსგავს უპირატესობებს იძლევა დაჟანგვის მეთოდის მიმართ, ტოქსიკურობის შემცირების, ნაერთების მოცილების და შესანიშნავი ხარისხის ჩამდინარე წყლების მიღების უნარით. თუმცა, აუცილებელია მნიშვნელოვანი წინასწარი დამუშავება შეწონილი მყარი ნაწილაკების და სხვა დამაბინძურებლების მოსაშორებლად, რაც გამოიწვევს მემბრანის სწრაფ დაბინძურებას.

ერთეული ოპერაცია ზოგადად არ არის საკმარისი წყლის ნარჩენების ხარისხის გასაუმჯობესებლად მისი გარემოში ჩაშვებისთვის ან ობიექტში ხელახლა გამოსაყენებლად. ამ მიზეზით, კომბინირებული პროცესები პერსპექტიულად ითვლება. თუმცა, ასეთი პროცესი შეიძლება შედგებოდეს ზემოაღნიშნული ერთეულოვანი ოპერაციების/მეთოდების ცალკეული რაოდენობისა და თანმიმდევრობისგან.

კვლევის მეთოდика

ოზონზე დაფუძნებული ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლების დამუშავება

მუნიციპალური წყლისა და ჩამდინარე წყლების გამოყენების მსგავსად, ოზონი მეღვინეობის სექტორებში ორმაგ როლს ასრულებს: როგორც ძლიერი ქიმიური ოქსიდანტი დამაბინძურებლების დაშლისთვის და როგორც ეფექტური ბიოციდი/დეზინფექტანტი მიკრობული კონტროლისთვის. ეს განყოფილება ასახავს ამ ორ ძირითად ფუნქციას და განიხილავს მეღვინეობის გამოყენებასთან დაკავშირებულ ძირითად მოსაზრებებს, მათ შორის დაჟანგვის ქვეპროდუქტების წარმოქმნას და კონტროლს, დამუშავების შესრულების შეზღუდვებს და უსაფრთხოებისა და მასალების დამუშავების გამოწვევებს.

დამაბინძურებლების დაჟანგვა და შემცირება

ოზონის, როგორც ოქსიდანტის, ყველაზე აღსანიშნავი თვისებაა მისი უნარი, დაშალოს და გაანეიტრალოს მრავალი სინთეზური და ბუნებრივი ორგანული და არაორგანული ნაერთი, რომლებიც გვხვდება როგორც მუნიციპალურ, ასევე ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლებში. არაორგანული ნივთიერებები, რომელთა დაჟანგვა/დაშლა შესაძლებელია, მოიცავს ციანიდს (CN^-), წყალბადის სულფიდს/ბისულფიდს (H_2S/HS^-), არსენიტს $As(III)$, ალდგენილ რკინას $Fe(II)$ და მანგანუმს $Mn(II)$ ჟანგვა-ალდგენის რეაქციების მეშვეობით. ოზონის დაჟანგვა იწვევს ან კეთილთვისებიანი პროდუქტების წარმოქმნას [მაგ., ბიკარბონატი (HCO_3^-), აზოტის აირი (N_2) და ჟანგბადის (O_2) ციანიდის ოზონაციისა და სულფატის (SO_4^{2-}) სულფატის ოზონაციისგან, ან დაჟანგულ პროდუქტებს, რომელთა ადვილად მოცილება შესაძლებელია ადსორბციით მაგ., $As(V)$ $As(III)$ ოზონაციისგან და/ან ნალექით $Fe(III)$, $Mn(IV)$, $Fe(II)$ და $Mn(II)$ ოზონაციისგან. როგორც ადრე აღვნიშნეთ, მრავალი მედეგი ორგანული ნაერთი, მათ შორის ქლორირებული პესტიციდები, გამხსნელები, ფარმაცევტული საშუალებები და პირადი მოვლის საშუალებები, შეიძლება ჟანგვით დაშლილი იყოს ოზონაციის გზით. კარგად არის ცნობილი, რომ ოზონი რეაგირებს წყალხსნარებთან ორი განსხვავებული გზით, კერძოდ, პირდაპირი ოზონის (მოლეკულური ოზონი) და არაპირდაპირი (ჰიდროქსილის რადიკალი, HO^\cdot) გზით. პირდაპირი გზით, მოლეკულური ოზონი რეაგირებს შერჩეულ ფუნქციურ ჯგუფებთან, მათ შორის უჯერ ნახშირბად-ნახშირბადის ბმებთან ციკლოადიციის გზით,

ალიფატურ ამინებთან ელექტროფილური დამატების გზით და არომატულ რგოლებთან ელექტროფილური ჩანაცვლების გზით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზ 18-ში. როგორც წესი, პირველადი პროდუქტები შემდგომ რეაგირებენ დამატებით ოზონის მოლეკულებთან და/ან ჰიდროქსილის რადიკალებთან, რათა წარმოქმნან უფრო მცირე, უფრო სტაბილური საბოლოო პროდუქტები, რომლებიც, როგორც წესი, ნაკლებად ტოქსიკურია, ვიდრე საწყისი ნაერთები.

ნაცვლად, ოზონაციისა და ოზონზე დაფუძნებული ჟანგვითი პროცესების ბიოლოგიურ დამუშავებასთან შერწყმა უფრო ეკონომიური იქნება, რადგან ოზონაციისა და ჟანგვითი პროცესების პროდუქტები, როგორც წესი, უფრო ბიოლოგიურად დაშლადია, რაც შეიძლება შეფასდეს ბჟმ/ქჟმ თანაფარდობით. უნდა აღინიშნოს, რომ ოზონაცია და ოზონზე დაფუძნებული ჟანგვითი პროცესები არ არის ეფექტური ამიაკის ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), ასევე სრულად დაჟანგული ნაერთების, როგორცაა პერქლორატი (ClO_4^-) და სელენატი (SeO_4^{2-}), და პერქლორირებული/ბრომირებული/ფტორირებული ნაერთების [მაგ., ნახშირბადის ტეტრაქლორიდი, პერფტოროქტანსულფონის მჟავა (PFOS)] დაშლისთვის. ეს ნაერთები ჩამდინარე წყლებიდან სხვა საშუალებებით უნდა მოიხსნას, როგორცაა ფხვნილისებრი ან გრანულირებული გააქტიურებული ნახშირბადის ადსორბცია, იონური გაცვლა, ნანოფილტრაცია და უკუ ოსმოსი, ასევე ანაერობული ბიოლოგიური დამუშავება.

მემბრანული ბიორეაქტორი (მბრ), როგორც ჩამდინარე წყლების

გამწმენდი მოწინავე ტექნოლოგია

მემბრანული ბიორეაქტორის (მბრ) შემუშავება და გამოყენება მუნიციპალური ჩამდინარე წყლების სრულმასშტაბიანი გაწმენდისთვის არის ყველაზე მნიშვნელოვანი ბოლოდროინდელი ტექნოლოგიური წინსვლა ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის თვალსაზრისით. მბრ არის შეჩერებული ზრდის შედეგად გააქტიურებული ლამის სისტემა, რომელიც იყენებს მიკროფოროვან მემბრანებს მყარი/თხევადი გამოყოფისთვის

მეორადი გამწმენდის ნაცვლად. ეს წარმოადგენს გადამწყვეტ წინგადადგმულ ნაბიჯს გამონადენის ხარისხთან დაკავშირებით ჰიგიენურად სუფთა გამონადენის მიწოდებით და ძალიან მაღალი ოპერაციული საიმედოობის გამოვლენით. მზრ ჩამდინარე წყლების მოწინავე დამუშავების ტექნოლოგია წარმატებით გამოიყენება მთელ მსოფლიოში.

ქვემოთ განხილულია მზრ-ის რამდენიმე ასპექტი, მისი ოპერაციული და ბიოლოგიური მუშაობის ამომწურავი მიმოხილვით. წარმოადგენილია მზრ-ის სხვადასხვა კონფიგურაცია და ჰიდრავლიკა, ყურადღება ექცევა დაბინძურების ფენომენს და მის შემცირების სტრატეგიებს. ასევე, განიხილება მზრ გამონადენის მაღალი ხარისხი, ხოლო გააქტიურებულ ლამთან შედარებით ორგანული ნივთიერებების მოცილება. მნიშვნელოვნად გაუმჯობესებულია ამიაკის, ფოსფორის, ბაქტერიებისა და ვირუსების მოცილება. აქცენტი კეთდება გაუმჯობესებულ მზრ-ის უნარზე ამოიღოს ორგანული დამაბინძურებლები, რომლებიც გვხვდება კვალის კონცენტრაციის დონეზე (ნგ L⁻¹, მკგ L⁻¹ და მგ L⁻¹), წარმოადგენს ამ თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურის შეჯამებას. და ბოლოს, აღნიშნულია მზრ-ის უპირატესობები და უარყოფითი მხარეები გააქტიურებულ ლამთანთან შედარებით.

მემბრანული ბიორეაქტორის ტექნოლოგია, რომელიც აერთიანებს ბიოლოგიურად გააქტიურებული ლამის პროცესს და მემბრანულ ფილტრაციას, გახდა უფრო პოპულარული და მიღებული ბოლო წლებში მრავალი სახის ჩამდინარე წყლების დასამუშავებლად, მაშინ როდესაც ჩვეულებრივი გააქტიურებული ლამის პროცესის გამოყენება არ შეიძლება. გაუმკლავდეს ჩამდინარე წყლების შემადგენლობას ან ჩამდინარე წყლების ნაკადის რყევებს. მზრ ტექნოლოგია ასევე გამოიყენება იმ შემთხვევებში, როდესაც მოთხოვნა ხარისხზე აჭარბებს გააქტიურებული ლამის შესაძლებლობებს. მიუხედავად იმისა, რომ მზრ-ის და საოპერაციო ხარჯები აღემატება ჩვეულებრივი პროცესის ხარჯებს, როგორც

ჩანს, ჩვეულებრივი პროცესის განახლება ხდება მაშინაც კი, როდესაც ჩვეულებრივი გაწმენდა კარგად მუშაობს. ეს შეიძლება დაკავშირებული იყოს წყლის ფასის მატებასთან და წყლის ხელახალი გამოყენების აუცილებლობასთან, ასევე უფრო მკაცრ რეგულაციებთან გადინების ხარისხის შესახებ. ჩამდინარე წყლებში წარმოქმნილი დამაბინძურებლების უკეთ გააზრებასთან ერთად, მათი ბიოდეგრადირებადობა და მათი ჩართვა ახალ რეგულაციებში, მზრ შეიძლება გახდეს არსებული ტექნოლოგიის აუცილებელი განახლება ჩამდინარე წყლების გამწმენდ ნაგებობებში სამართლებრივი მოთხოვნების შესასრულებლად.

მზრ-ის კონფიგურაციები დაფუძნებულია ბრტყელ ან ცილინდრულ გეომეტრიაზე. ამჟამად პრაქტიკაში გამოიყენება მემბრანის ხუთი ძირითადი კონფიგურაცია:

- ღრუბოჭკოვანი
- სპირალურად დახვეული
- ფირფიტა-ჩარჩოვანი (ანუ ბრტყელი ფურცელი)
- გოფირებული ფილტრის კარტრიჯი
- მილისებრი.

მელვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ჰიდროციკლონის საშუალებით

ჰიდროციკლონების მთავარი უპირატესობებია მაღალი ეფექტურობა და კომპაქტური ზომები [38]. მათი მარტივი მოწყობილობა მათ მართვას მარტივს ხდის.

ჰიდროციკლონის უპირატესობებია:

შემცირებული დამუშავების დრო: დამუშავების დრო ძალიან დაბალია (დაახლოებით 2-3 წამი) სხვა ტრადიციულ გრავიტაციულ სისტემებთან შედარებით.

მოძრავი ნაწილები არ აქვს: გამოყოფა მთლიანად გრავიტაციული სისტემით ხორციელდება, ამიტომ სისტემაში მოძრავი ნაწილები არ არის, რაც ნაკლებ მოვლა-პატრონობას და ოპერაციულ ხარჯებს იწვევს.

ქიმიური ნივთიერებები არ არის საჭირო: სისტემა თვითწმენდადია გრავიტაციის ეფექტის გამო, შესაბამისად, ექსპლუატაციის დროს ქიმიკატები არ არის საჭირო.

უწყვეტი პროცესი: რადგან სისტემის უკურეცხვა არ არის საჭირო, მომსახურების დრო ძალიან მაღალია.

მოდულარობა: ფართო სამუშაო ნაკადის სიჩქარით მუშაობის შესაძლებლობა, დაბალი სამუშაო ნაკადის სიჩქარის შემთხვევაში, მომუშავე ქვეშაგებების შეცვლის გზით.

ენერგომოხმარება: მუშაობისათვის მათ არ სჭირდებათ ენერგია და შედარებით იაფია.

ჰიდროციკლონის მოვლას არ სჭირდება რთული აღჭურვილობა ან კვალიფიციური პერსონალი. ტექნიკური შესაძლებლობების თვალსაზრისით, ჰიდროციკლონებს შეუძლიათ კონკურენცია გაუწიონ წყლის დამუშავების სხვა მეთოდებს, რაც ზოგიერთ მათგანთან შედარებით უდავო უპირატესობებს გვთავაზობს. მაგალითად, დალექვის ავზებთან შედარებით, ჰიდროციკლონებს მინიმალური სამონტაჟო სივრცე სჭირდებათ.

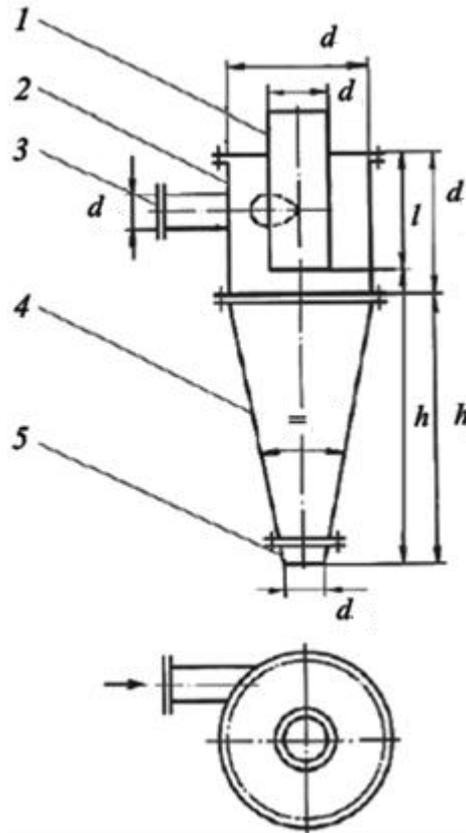
ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლების ორგანული ნაერთების სუსპენზიის გამოყოფა ჰიდროციკლონის გამოყენებით.

კვლევის ობიექტად გამოყენებული იყო ღვინის წარმოების ჩამდინარე წყლების ლაბორატორული ანალოგი, რომელიც შეიცავს ორგანული ნაერთების სუსპენზიურ ნაწილაკებს 1–10 გ/ლ კონცენტრაციით, რომელიც შეესაბამება მეღვინეობის ჩამდინარე წყლებში არსებული ნაწილაკების ზომას.

ჩვენ განვიხილავთ ჰიდროციკლონის გამოყენებას საპილოტე ქარხანაში, რომელიც ჩატარებული იყო ზ. კასიმბეკოვის მიერ, რათა გავაძლიეროთ წყლის გაწმენდის სიჩქარე ორგანული ნაერთების სუსპენზიისგან და შევამციროთ აღჭურვილობის საერთო ზომები.

სხვადასხვა სიმძლავრის ჰიდროციკლონების სავარაუდო ზომების საფუძველზე, უმცირესი ნაწილაკებისგან გაწმენდის უზრუნველსაყოფად და

ერთი ჰიდროციკლონის სამუშაო სიმძლავრის შესანარჩუნებლად, რომელიც ტოლია ერთი სითხის რგოლის ტუმბოს წყლის ნაკადის სიჩქარისა, ჩვენ ვირჩევთ შემდეგ სქემას. ჰიდროციკლონის სქემა ნაჩვენებია ნახაზში.



ნახაზი. ჰიდროციკლონის სქემა: 1 – ცენტრალური (შლამის) მილი; 2 – ორგანული ნაერთების შესაფუთი; 3 – სადრენაჟე კამერა; 4 – კორპუსი; 5 – რეზინის ქვეშაგები

შერჩეული ჰიდროციკლონის ზომა აკმაყოფილებს საჭირო თეორიულ გამოთვლებს ან ახლოსაა მათთან ჰიდროციკლონის მუშაობის მათემატიკური მოდელირებისას.

ჰიდროციკლონის ლაბორატორიული ტესტირება ჩატარდა ლაბორატორიაში ორგანული ნაერთების ნარევის ნიმუშით კონცენტრაციით 1-დან 10 გ/ლ-მდე. სითხის მოცულობა იყო 20 ლიტრი [39].

აღებული ნიმუშები გაფილტრული იქნა ფილტრის ქაღალდით და გამოშრობილი იქნა საშრობ ღუმელში 110°C ტემპერატურაზე 40 წუთის განმავლობაში თავისუფალი წყლის მოსაშორებლად. ფილტრის ქაღალდის წონაში სხვაობა ფილტრაციამდე და ფილტრაციის შემდეგ გამოყენებული იქნა ნარჩენ ნაკადში გამოყოფილი მშრალი ნარჩენებისა და ჰიდროციკლონში

ნაწილაკების წონის გამოსათვლელად. გაწმენდის ხარისხი გამოითვალა შემდეგი თანაფარდობების გამოყენებით:

$$X = \frac{m_{\text{გაწმ.}}}{m_{\text{გაწმ.}}} \times 100\%$$

X – სუსპენზიის გაწმენდის ხარისხი საწყის კონცენტრაციამდე, %;

$m_{\text{ონ}}$ – ორგანული ნაერთების ნიმუშის მასა, გ;

$m_{\text{მრ}}$ – ჰიდროციკლონის გამონადენის შედეგად მიღებული მშრალი ნარჩენების მასა, გ;

$$X_1 = \frac{m_{\text{გაწმ.}}}{m_{\text{გაწმ.}}} \times 100\%$$

სადაც X_1 – არის ჩაშვებული ორგანული ნივთიერებების ხსნარის გაწმენდის სიჩქარე, %;

$m_{\text{მრ}}$ – არის ჩაშვებული ორგანული ნივთიერებების მშრალი ნარჩენების წონა, გ;

$m_{\text{მრ.გა}}$ არის ჰიდროციკლონიდან გამოშვებული მშრალი ნარჩენების წონა, გ.

ჰიდროციკლონში ხსნარის გაწმენდის შედეგები ორგანული ნივთიერებების სხვადასხვა კონცენტრაციისა და შეფუთვის დიამეტრის დროს წარმოდგენილია ცხრილში 13.

ცხრილი 13. ჰიდროციკლონში სუსპენზიის გაწმენდის შედეგები ორგანული ნივთიერებების სხვადასხვა კონცენტრაციით და საქმენის დიამეტრით.

ნივთიერებების კონცენტრაცია საწყის სუსპენზიაში, გ/ლ	საქმენის დიამეტრი, მმ	გაწმენდილი ჩამდინარე წყლების კონცენტრაცია გამოსასვლელში, გ/ლ	ჰიდროციკლონის გამონადენის კონცენტრაცია, გ/ლ	X, %	X_1 , %

ლაბორატორიული მონაცემების დამუშავების შედეგები ნათლად აჩვენებს ორგანული ნივთიერებების სითხიდან სხვადასხვა კონცენტრაციით მოცილების მაღალ ხარისხს მცირე დიამეტრის ჰიდროციკლონის გამოყენებით. კონცენტრაციის 1-დან 10 გ/ლ-მდე გაზრდისას, მოცილების

ხარისხი მცირდება 98.95%-დან 93.50%-მდე, გასუფთავებული ჩამდინარე წყლისა და ღვინის ქარხნის ჩამდინარე წყლის მშრალი ნარჩენების საფუძველზე.

7 მმ საქშენის დიამეტრის შემთხვევაში, მიღებულ იქნა უკეთესი მოცილების სიჩქარე, ვიდრე 6 მმ დიამეტრის შემთხვევაში, რაც აჩვენებს ამ მეთოდით მოცილების ხარისხის კონტროლის შესაძლებლობას.

ლაბორატორიული ტესტების შედეგებმა აჩვენა ორგანული ნივთიერებების ნაწილაკების მაღალი მოცილების სიჩქარე თხევადი რგოლური ტუმბოს ციკლიდან რეცირკულირებული წყლის მოდელის ნიმუშებიდან. ჰიდროციკლონური დამუშავება ნაწილაკების დაბალი კონცენტრაციით (1 გ/ლ) ეფექტურია დამუშავების შემდგომი ფილტრების გამოყენების გარეშეც. თუმცა, ორგანული ნაერთების ყველა შესაძლო კონცენტრაციით (5-დან 40 გ/ლ-მდე) თანმიმდევრული დამუშავების შედეგების მისაღწევად, აუცილებელია დამუშავება შემდგომი ორი მოცულობითი ფილტრის გამოყენებით. ეს საშუალებას იძლევა რეცირკულირებული წყლის სწრაფი დამუშავებისა და რეგენერაციის მონაცვლეობითი მუშაობის დროს.

მელვინეოვის მცირე საწარმოს ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ჰიდროციკლონის რეკომენდირებული პარამეტრები

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე, რეკომენდებულია D₅₀ ჰიდროციკლონის შემდეგი ოპტიმალური ზომები რეცირკულირებული წყლიდან ორგანული ნივთიერებების მოსაშორებლად P = 2.0 კგ/სმ² წნევით:

ჰიდროციკლონის დიამეტრი dc	50 მმ
კონუსის კუთხე θ°	8–10°
სიმძლავრე	4.3 მ ³ /სთ
მიწოდების ხვრელის დიამეტრი d _{ხვ}	13.6 მმ
სადრენაჟე მილის დიამეტრი d _{მდ}	17.0 მმ
ხსნარის შემავსებლის დიამეტრი d _ა	9.3 მმ
ჰიდროციკლონის სიმაღლე h	250 მმ
სადრენაჟე მილის სიგრძე ჰიდროციკლონის შიგნით l	57 მმ
ცილინდრული ნაწილის სიმაღლე h _ც	50 მმ

ჰიდროციკლონის მუშაობისთვის მიღებული ლაბორატორიული და

გამოთვლილი მნიშვნელობები აჩვენებს, რომ ამ ტიპის აპარატის გამოყენება შესაძლებელია, როგორც პირველადი ერთეული თხევად-რგოლური ტუმბოებიდან რეცირკულაციური წყლის გასაწმენდად. თხელფენოვანი მოდულის მეორე სალექარი ავზის გამოყენება მოითხოვს აპარატში ორგანული ნივთიერებების სუსპენზიის უფრო ხანგრძლივ დაყოვნებას, აღჭურვილობისა და ინსტრუმენტების უფრო მაღალ ხარჯებს და აღჭურვილობის უფრო დიდ დატვირთვას.

დასკვნები

1. მეღვინეობა არის საქართველოს აგროინდუსტრიის წამყვანი სექტორი, რომელიც მოიცავს საქართველოს თითქმის ყველა რეგიონს;
2. ღვინის ქარხნების საწარმოო ნარჩენები უარყოფითად მოქმედებენ გარემოზე. ისინი მოიცავენ როგორც თხევად, ასევე მყარ ნარჩენებს;
3. ღვინის ქარხნების ძირითადი პოტენციური გარემოზე ზემოქმედება იწვევს მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების დაბინძურებას, ნიადაგის დეგრადაციასა და მცენარეული საფარის დაზიანებას, რომელიც წარმოიქმნება თხევადი და მყარი ნარჩენების ზემოქმედებით;
4. ღვინის ქარხნების ჩამდინარე წყლების სხვადასხვა რაოდენობის წარმოქმნა, ღვინის დაყენების პროცესში მათი შემადგენლობის რყევებთან ერთად, რთულ ამოცანას წარმოადგენს მეღვინეობისათვის მათი შესაფერისი დამუშავების მეთოდების შერჩევას;
5. გამოკვლეულია მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიები. შედარებულია მათი გამოყენების ეფექტურობა;
6. დადგინდა, რომ მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ტრადიციული კონვექციური მეთოდით, რომელიც მოიცავს: მექანიკურ გაწმენდას, კოაგულაცია-ფლოკულაციას, სედიმენტაციას და დეზინფექციას არ არის საკმარისი მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების საკმარისი გაწმენდისათვის;
7. სხვადასხვა მკვლევარების მიერ მიღებული ლაბორატორული შედეგების ანალიზის საფუძველზე გამოყენებული იყო ღვინის წარმოების ჩამდინარე წყლების ლაბორატორული ანალოგი, რომელიც შეიცავს ორგანული

ნაერთების სუსპენზიურ ნაწილაკებს 1–10 გ/ლ კონცენტრაციით, რომელიც შეესაბამება მეღვინეობის ჩამდინარე წყლებში არსებული ნაწილაკების ზომას.

8. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ჰიდროციკლონის პარამეტრები მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად.

9. შემოთავაზებული ამ მეთოდოლოგიის გამოყენების პროექტი მეღვინეობის მცირე საწარმოებისათვის.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. ა. ბაგრატიონ დავითაშვილი, ზ. ცინაძე, ქ. გორდეზიანი, მ. მჟავანაძე. მეღვინეობის წარმოების ჩამდინარე წყლების დახასიათება. GEN LTD, Georgian engineering news. 2025 (ბეჭდვაში)
2. ა. ბაგრატიონ დავითაშვილი, ზ. ცინაძე, ქ. გორდეზიანი, მ. მჟავანაძე. მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ტექნოლოგიების მიმოხილვა. GEN LTD, Georgian engineering news. 2025 (ბეჭდვაში)
3. მ. მჟავანაძე. მეღვინეობის ჩამდინარე წყლების ზემოქმედება გარემოზე. GEN LTD, Georgian engineering news. 2025 (ბეჭდვაში)
4. A. Bagration-Davitashvili, Z. Tsinadze, K. Gordeziani, M. Mzhavanadze. Application of HydroCyclone for Wastewater Treatment in Wine Industry. Scientific-Technical Journal, “Building”. 2025
5. A. Bagration-Davitashvili, Z. Tsinadze, M. Mzhavanadze. Review of Winery Wastewater Treatment Technologies. Recent Trends in Science: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Internet Conference, May 16-17, Dnipro, Ukraine. 2024.

Summary

Global water scarcity is rapidly increasing in many regions of the world due to increasing agricultural, human and industrial needs. Industrial activities produce solid waste and wastewater streams that need to be managed. These streams have a negative impact on the environment. Therefore, wastewater treatment will be crucial to solve the problem.

The varying amounts of winery wastewater generated, together with the variations in their composition during the winemaking process, pose a challenge for wineries when selecting suitable treatment methods. A general trend has been observed in winery wastewater treatment, where the shortcomings of many techniques are related to the variations in the organic content and volume of the wastewater.

A single operation is generally not sufficient to improve the quality of wastewater treatment for discharge into the environment. However, hydrocyclone treatment is a promising technology. Hydrocyclone treatment technology has become more popular and accepted in recent years for the treatment of many types of wastewaters, while conventionally activated sludge processes cannot handle the composition of wastewater or fluctuations in the wastewater flow. According to our research, hydrocyclone treatment makes it easier to treat winery wastewater at lower costs.