

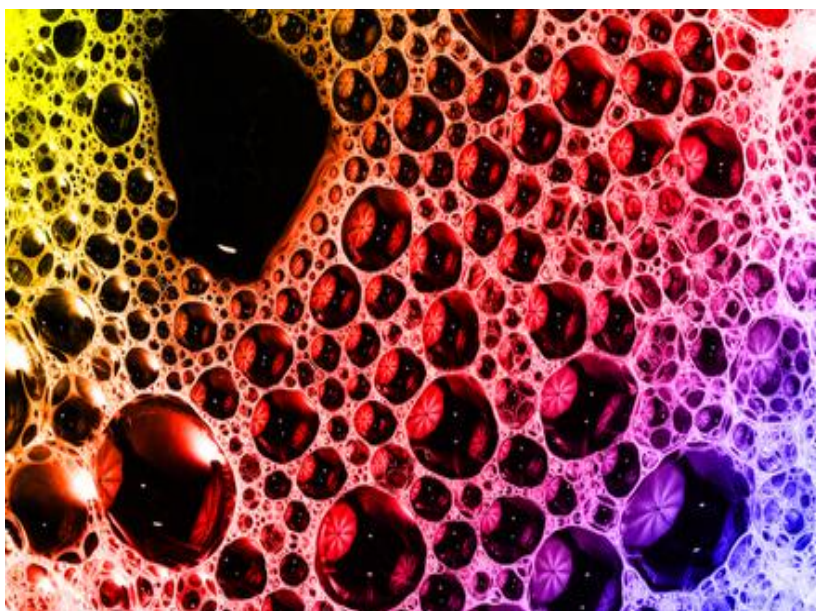
ი.ბუჯანიძე, თ.ხარებავა, ნ.დავითაძე



დისპერსიული სისტემების
დაყოფის მემბრანული მეთოდები

ი.ბეჟანიძე, თ.ხარებავა, ნ.დავითაძე

*დისპერსიული სისტემების
დაყოფის მემბრანული მეთოდები*



სერია : მემბრანული ტექნოლოგია
გამომცემლობა
„ შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“
ბათუმი – 2014

წიგნში მოყვანილი და განხილულია თანამედროვე ულტრაფილტრაციული და ელექტროდიალიზური აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიური სქემები და პროცესები, მემბრანები და მათი თვისებები, მრეწველობაში გამოყენების სფეროები.

როგორც დამხმარე სახელმძღვანელო, განკუთვნილია საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა, სამედიცინო, საინჟინრო – ტექნოლოგიური და სხვა მონათესავე ფაქულტეტების ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის.

საინტერესოა ამ დარგში მომუშავე მეცნიერებისა და ტექნოლოგებისათვის.

153 გვ., 1 ცხ., 47 ნახ., 148 ლიტ. წყარო.

რედაქტორი :

ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი – ზ. კონცელიძე

რეცენზენტები:

ქიმიურ მეცნიერებათა დოქტორები : რ.გოცირიძე
ნ.მხეიძე

ISSN 1987-7587

© „ შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“ – 2014

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ქვეყნის ეკონომიურ განვითარებას განსაზღვრავს ნაციონალური შემოსავლების ზრდა, რომელიც შეუძლებელია განხორციელდეს გადამამუშავებელი მრეწველობის დარგების დაჩქარებული განვითარებისა და ტექნიკური გადაიარაღების, ეკოლოგიურად სუფთა და უნარჩუნო ტექნოლოგიების შექმნისა და დანერგვის გარეშე. ეჭვს არ იწვევს ის ფაქტი, რომ XXI საუკუნეში მნიშვნელოვანი ადგილი დაეთმობა ეკოლოგიურად უსაფრთხო, და რაც მთავარია, მასალებისა და ნარჩენების გადამამუშავების ეკონომიურად მცირეხარჯიან და ტექნოლოგიურად დასაბუთებული პროცესების შექმნას და მათ ბაზაზე საზოგადოებისათვის სასარგებლო და აუცილებელი პროდუქტების მიღებას.

ასეთ ტექნოლოგიურ პროცესებს შორის ერთ-ერთ პირველს განეკუთვნება მემბრანული პროცესები (ულტრაფილტრაცია, ელექტროდიალიზი და სხვა). მსოფლიო ეკონომიკის განვითარების პროგნოზებში მემბრანული ტექნოლოგია განიხილება როგორც მომავლის ტექნოლოგია. აღსანიშნავია, რომ ეკონომიურად განვითარებულ ქვეყნებში მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენების ყოველწლიური მოცულობა იზრდება 20–25%–ით. მის განვითარებას გარკვეული ბიძგი მისცა მარილიანი წყლების დემინერა-ლიზაციის პროცესის შესწავლამ. თავდაპირველად მემბრანული ტექნოლოგია გამოყენებული იყო წყლის გაუმარი-ლებისათვის და დღემდე იგი რჩება მისი გამოყენების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სფეროდ. ჯერ კიდევ 1980 წელს

დედამიწაზე მიღებული გაუმარილებული წყლის ნახევარზე მეტი მოდიოდა მემბრანულ მეთოდებზე.

მარილიანი წყლების გაუმარილებისათვის მემბრანული პროცესების წარმატებით გამოყენების შემდეგ, დაიწყო ამ პროცესების გამოყენება სამრეწველო მაშტაბებით ნივთიერებათა დაყოფის ამოცანების გადაწყვეტისათვის. მემბრანულმა ტექნოლოგიებმა მთელ მსოფლიოში დაამტკიცეს თავისი უპირატესობა გაზებისა და სითხეების ნარევების დაყოფის, გაუმა-რილებისა და დაკონცენტრირებისათვის ტრადიციულ ტექნოლოგიებთან შედარებით.

დღეისათვის ეჭვს არ იწვევს მათი ფართო გამოყენების შესაძლებლობა ქიმიურ და კვების მრეწველობაში, ასევე ნარჩენების გადამუშავებისათვის. ამჟამად, მემბრანული პროცესები გამოიყენებიან ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში. მათი გამოყენება უზრუნველყოფს ისეთი მსხვილი პრობლემების გადაწყვეტის მაღალეფექტურობას, როგორცაა: მასალების, ნედლეულისა და ენერგობა-ჯების შემცირება, სათბობისა და ენერგე-ტიკული პოტენციალის გაზრდა, სურსათითა და მტკნარი წყლით უზრუნველყოფა, გარემოს დაცვა და სხვა.

ისტორიულად ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში შედარებით ფართო განვითარება ჰპოვა ელექტრომემბრანულმა ტექნოლოგიებმა, და პირველ რიგში, - ელექტროდიალიზმა, რომელიც პირველი განვითარდა სხვა მემბრანულ მეთოდებს შორის .

ელექტროდიალიზი - ეს არის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრული ველის გავლენით იონების მიმართულ მოძრაობაზე სისტემაში იონმიმოვლითი

მემბრანებით დადებითად და უარყოფითად დამუხ-
ტული ელექტროდებისაკენ . ამ მეთოდის უპირატე-
სობას იონმიმოცვლით ტექნოლოგიასთან შედარებით,
რომელიც ზოგ შემთხვევაში იგივე ამოცანებს წყვეტს
რასაც ელექტროდიალიზი, წარმოადგენს ის რომ, იგი
არ საჭიროებს ქიმიური რეაგენტების ჭარბი რაო-
დენობით მოხმარებას მემბრანებისა და ელექტრო-
დიალიზური დანადგარის რეგენერაციისათვის; ადვი-
ლია პროცესის ავტომატიზირება და უწყვეტად
ჩატარება; მცირეა მოხმარებული ელექტროენერგიის
ხარჯი.

ულტრაფილტრაცია მიეკუთვნება მემბრანულ
ფილტრაციას და იკავებს შუალედურ მდგომარეობას
ნანო- და მიკროფილტრაციებს შორის. როგორც ყველა
ბარომემბრანული ტექნოლოგია, ულტრაფილტრაციის
პროცესიც მიმდინარეობს წნევის ქვეშ. ულტრაფილ-
ტრაციისათვის საჭირო წნევა მნიშვნელოვნად ნაკლებია
ნანოფილტრაციისა და უკუოსმოსური პროცესების
დროს გამოყენებულ წნევებზე და შეადგენს 2–10 ბარს .

ულტრაფილტრაციული მემბრანის ფორების ზომები
შეადგენს 20–1000 Å (ან 0,002–0,1 მკმ.), რის შედეგად
მემბრანის ფორებში გადიან მარილებისა და შაქრების
მოლეკულების ზომის ტოლი მოლეკულები და
კავდებიან წვრილდისპერსიული და კოლოიდური
მინარევები, ცილის მოლეკულის ზომის მაკრომო-
ლეკულები (მოლეკულური მასის ქვედა ზღვარი შეად-
გენს რამოდენიმე ათას), წყალმცენარეები, ერთუჯ-
რედიანი მიკროორგანიზმები, ცისტები, ბაქტერიები,
ვირუსები და ა.შ.

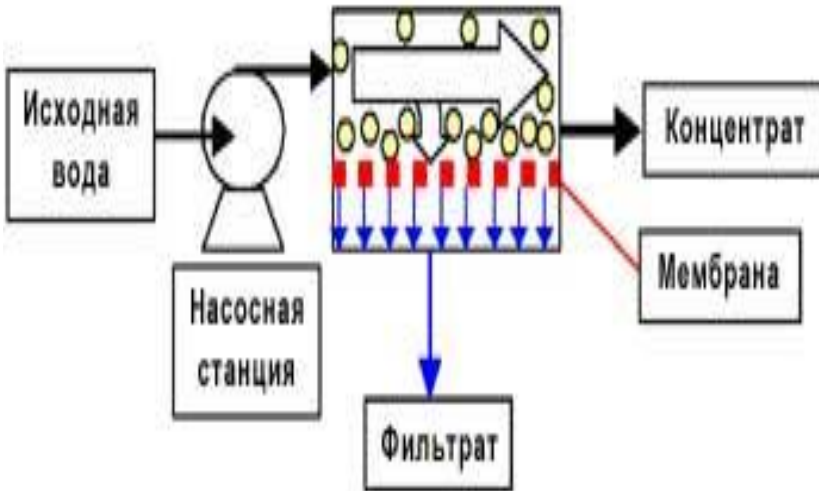
მოცემულ მონოგრაფიაში განხილულია ორ მემბრანულ პროცესში, ულტრაფილტრაციისა და ელექტროდიალიზის დროს გამოყენებული თანამედროვე აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიური სქემები და პროცესები, მემბრანები და მათი თვისებები, აღნიშნული მემბრანული პროცესების გამოყენების სფეროები.

თავი 1. ულტრაფილტრაციული აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიური სქემები და პროცესები, მემბრანები და მათი თვისებები.

1.1 მემბრანული პროცესების პრინციპი, მემბრანები და ტექნოლოგიური სქემები

წყლისა და სხვა პროდუქტების გაწმენდისათვის ფართოდ გამოყენებული მემბრანული პროცესების პრინციპი მდგომარეობს საწყისი წყლის გატარებაში ნახევრადშეღწევად მემბრანაში. მოდებული წნევის გავლენით წყლის მოლეკულები და ზოგიერთი გახსნილი ნივთიერებები (რომლის ზომები ნაკლებია მემბრანების ფორების ზომებზე) გადიან მემბრანაში, დანარჩენი მინარევები კი – კავდება. ამ პროცესის შედეგად საწყისი პროდუქტი იყოფა ორ ნაკადათ : ფილტრატი (გაწმენდილი წყალი ან პროდუქტი) და კონცენტრატი (მინარევებით დაკონცენტრირებული ხსნარი). ფილტრატი მიეწოდება მომხმარებელს, კონცენტრატი გადაიღვრება დრენაჟში. მემბრანული პროცესის სქემა მოყვანალია ნახ.1–ზე.[1,3] ყველა მინარევი, რომელიც ზომით აღემატება მემბრანების ფორების ზომას, მექანიკურად ვერ აღწევს მემბრანაში. ამ ტექნოლოგიით მიიღება სტაბილურად მარალი ხარისხის გაწმენდილი წყალი [2,4]. წყლის გაწმენდის „დამაგროვებელი“ სისტემებისაგან (აქტივირებული ნახშირი, იონმიმოცვლითი ფისები და სხვა) განსხ-

ვაგებით მემბრანაში არ გროვდება მინარევი, რაც გამორიცხავს მათ მოხვედრას გაწმენდილ წყალში.



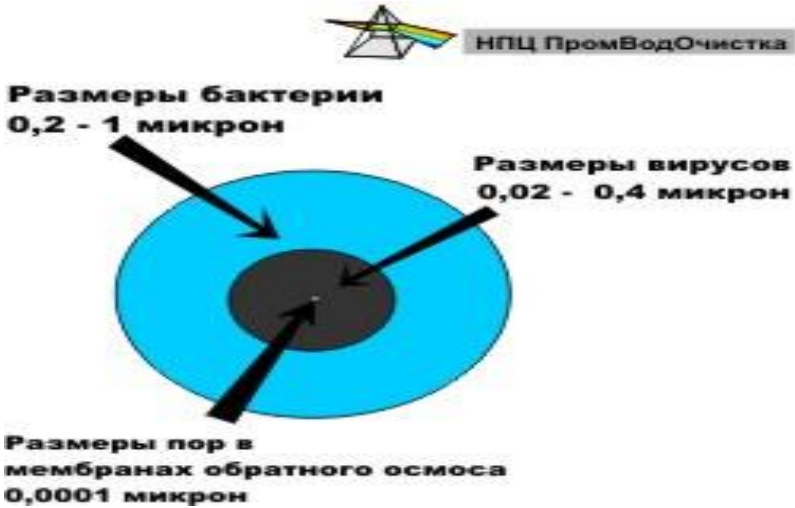
ნახ.1 მემბრანული ტექნოლოგიის პრინციპიალური სქემა.

შეკავებული ნაწილაკების ზომა განისაზღვრება მემბრანის სტრუქტურით ანუ მისი ფორების ზომებით. მემბრანები შეკავებული [5] ნაწილაკების ზომების მიხედვით იყოფა შემდეგ ტიპებად:

- მიკროფილტრაციული მემბრანები;
- ნანოფილტრაციული მემბრანები;
- უკუოსმოსური მემბრანები;

- ულტრაფილტრაციული მემბრანები.

ნახ.2–ზე მოყვანილია მემბრანების კლასიფიკაცია ფორების ზომების მიხედვით მიკროფილტრაციის გადასვლით უკუოსმოსზე, მემბრანების ფორების



ზომები მცირდება და ამის

შედეგად მცირდება შეკავებული ნაწილაკების მინი--
-მალური ზომებიც. რაც უფრო ნაკლებია მემბრანის
ფორების ზომები, მით უფრო დიდ წინაღობას უწევს
ის ნაკადს და მით უფრო დიდი წნევა საჭიროა
ფილტრაციის პროცესის უზრუნველყოფისათვის

Классификация мембран по размеру пор



ნახ.2. მემბრანების კლასიფიკაცია ფორების ზომების მიხედვით

1.2. მემბრანული სისტემების უპირატესობა :

- დაბინძურებები არ გროვდება მემბრანაში, ისინი მუდმივად ისხმება დრენაჟში, რითაც გამოირიცხება მათი მოხვედრა გაწმენდილ წყალში. ამ ტექნოლოგიით წველების გაწმენდის დროს, მიუხედავად საწყისი წვენის ცუდი პარამეტრებისა, სტაბილუ-

რად მიიღება მაღალი ხარისხის წვენი. შეიძლება მხოლოდ შემცირდეს პროცესის მწარმოებლურობა. მაშინ, მემბრანა უნდა გაირეცხოს სპეციალური რეაგენტებით.

- პროცესი არ საჭიროებს ქიმიური რეაგენტების მოხმარებას, არ ხდება მათი გადაღვრა პროცესის მიმდინარეობის დროს, რაც უზრუნველყოფს ეკოლოგიურ უვნებლობას;
- საიმედოა, კომპაქტური და ხელსაყრელი ექსპლუატაციაში;
- აქტიურად ვითარდება, მუდმივად მუშაობენ დანადგარების სრულყოფაზე. თანამედროვე სის-ტემები პრაქტიკულად მთლიანად ავტომატი-ზირებულია, მათ აქვთ დაბლოკვის სისტემა, ელექტროენერჯის მიწოდების შეწყვეტის შემთ-ხვევაში და ისინი დაცულია „მშრალი სვლიდან“;
- გაწმენდილი პროდუქტის მაღალი ხარისხი;
- დაბალი ექსპლუატაციური ხარჯები;
- მოითხოვს მომხმარებლის მინიმალურ ყურადღებას [6,7].

1.3 ულტრაფილტრაცია: პროცესის პარამეტრები, მემბრანული მოდულები.

ულტრაფილტრაცია მიეკუთვნება მემბრანულ ფილტრაციას და იკავებს შუალედურ მდგომარეობას ნაწი-

და მიკროფილტრაციებს შორის. როგორც ყველა ბარომემბრანული ტექნოლოგია, ულტრაფილტრაციის პროცესიც მიმდინარეობს წნევის მოქმედებით. ულტრაფილტრაციისათვის საჭირო წნევა მნიშვნელოვნად ნაკლებია [8] ნანოფილტრაციის და უკუოსმოსის წნევაზე და შეადგენს 2–10 ბარს.

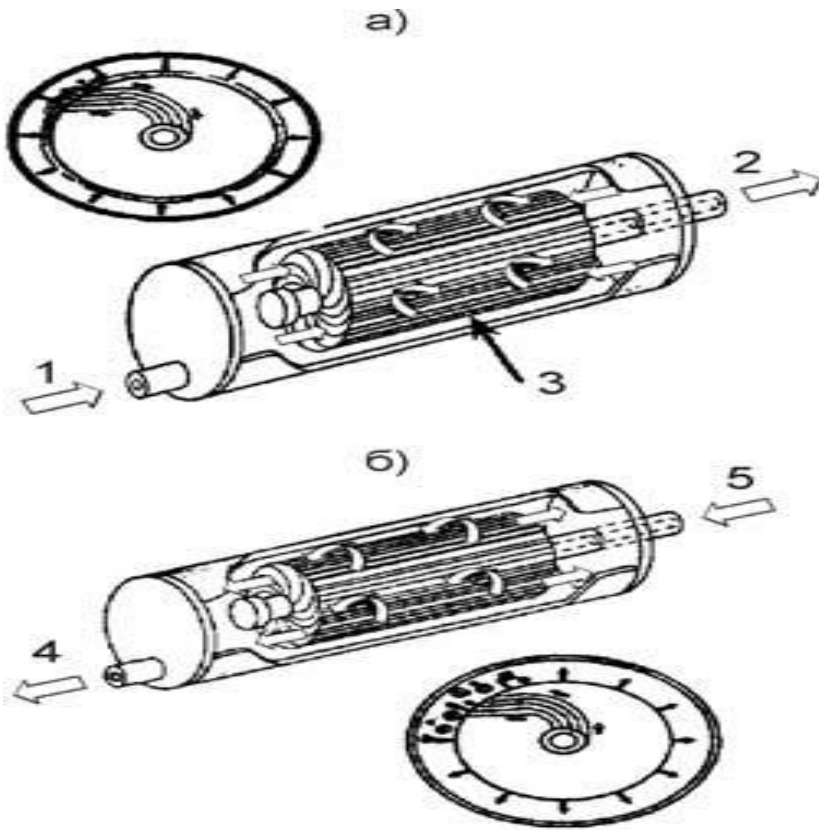
ულტრაფილტრაციული მემბრანის ფორების ზომები შეადგენს 20–1000 Å (ან 0,002–0,1 მკმ.), რის შედეგად მემბრანის ფორებში გადიან მარილების და შაქრების მოლეკულათა ზომების ტოლი მოლეკულები და კავდებიან წვრილდისპერსიული და კოლოიდური მინარევები, ცილის მოლეკულის ზომის მაკრომოლეკულები (მოლეკულური მასის ქვედა ზღვარი შეადგენს რამოდენიმე ათას), წყალმცენარეები, ერთუჯრედიანი მიკროორგანიზმები, ცისტები, ბაქტერიები ვირუსები და ა.შ. ყველაზე გავრცელებულია ულტრაფილტრაციული მემბრანები, დამზადებული პოლისულფონიდან და პოლიეთერსულფონიდან. პოლიეთერსულფონის მემბრანები – ბოლო ტექნოლოგიური შემუშავებაა. მისი ჰიდროდინამიური წინაღობა 1 ატმოსფეროზე ნაკლებია და მუშა წნევაც იქნება 1 ატმოსფეროზე ნაკლები. წყლის დამუშავება ულტრა-ფილტრაციული მემბრანებით მდგომარეობს მემბრანაში წყლის ე.წ. “ჩიხისებურ” ფილტრაციაში, კონცენტრატის გადაღვრის გარეშე. მუშაობის ასეთი რეჟი-მით მცირდება წყლის ხარჯი სადგურის საკუთარ მოხმარებაზე და მისი საერთო ენერგო-მოხმარება. ფილტრაციის პროცესი გრძელდება 20-60 წთ., რის შემდეგ ტარდება მემბრანის გარეცხვა უკუნაკადით. კერძოდ, გაწმენდილი წყლის ნაწილი წნევით მიეწო-

დება გასაფილტრ ტრაქტში 20-60 წამის განმავლობაში. უკუგამორეცხვის პროცესში წყლით ჩამოი-რეცხება დაგროვებული დაბინძურებების შრე [10] .

მემბრანული ულტრაფილტრაციული მოდული შედგება წვრილი კაპილარებისაგან და ამ კაპილარების კედლები - ულტრაფილტრაციული მემბრანებია. საწყისი ხსნარი შედის კაპილარის არხში. ხსნარის ნაწილაკები და წყლის მოლეკულები, რომლებსაც შეუძლიათ მემბრანაში შეღწევა, გადიან კაპილარის კედლებში, უფრო მსხვილი ნაწილაკები რჩება კაპილარში. ნახ.3-ზე ნაჩვენებია ულტრაფილტრაციული რულონისებური ელემენტის აღნაგობა და მუშაობის სქემა [11].

ფილტრაციის

პროცესში მემბრანების ფორები ბინძურდება დაკონცენტრირებული მინარევებით, ამიტომ, რეგულარულად ისინი უნდა გამოირეცხოს გაწმენდილი წყლით უკუდინებით. გამორეცხვის დროს წნევა აღემატება მუშა წნევას რაც ქმნის მოდულის კაპილარული სტრუქტურის დაჭიმვის და დაშლის საშიშროებას. მრავალი კაპილარული სეგმენტებით აგებული მემბრანული მოდულის გამოყენებით გადაწყდება კაპილარების დაშლის პრობლემა უკუგამორეცხვის პროცესში. რამოდენიმე კაპილარი დამაგრებულია მტკიცე მატრიცაში, რომელიც აფიქსირებს კაპილარებს და აბრკოლებს მათ დაჭიმვას. კომპანია “ოსმოსი” აწარმოებს მრავალ კაპილარიან ულტრაფილტრაციულ დანადგარს, რომლებიც მუშაობენ დაბალ წნევაზე [9,12].



ნახ.3 ულტრაფილტრაციული მოდული:

a - მუშა რეჟიმი; ბ - გამორეცხვის რეჟიმი;
 1-საწყისი ხსნარი; 2-ფილტრატი; 3-რულონისებური
 ელემენტი; 4-კონცენტრატის ჩამოსხმა; 5-ფილტრატით
 უკუგამორეცხვა.

ხანგრძლივი მუშაობის პროცესში მემბრანული აპარატების მწარმოებლურობა თანდათან მცირდება, რადგან ტურბულიზატორის ბადეზე და მემბრანის ფორების კედლებზე სორბირებენ სხვადასხვა ნივთი-ერებები და ილექება დაბინძურების ნაწილა-კები, რომლებიც ზრდიან მემბრანული აპარატების წინა-ღობას.საწყისი მწარმოებლურობის აღსადგენად რამოდენიმე ჯერ წელიწადში აწარმოებენ მემბრანული აპარატების ქიმიურ გამორეცხვას სპეციალური მჟავა და ტუტე რეაგენტებით დაგროვებული დაბინ-ძურებების მოსაშორებლად.

ულტრაფილტრაციის მეთოდის საფუძველზე, წყლის გაწმენდის სისტემების კონსტრუირების მთავარი ამოცანაა - პირდაპირი გაფილტვრის ხანგრძლიობის და უკუგამორეცხვის ინტენსიობის და სიხშირის სწორი განსაზღვრა. ეს პარამეტრები დამოკიდებულია საწყისი წყლის ხარისხზე და განისაზღვრება ულტრაფილტრაციული დანადგარის მწარმოებლურობის და მისი საერთო წყლის გამოყენების ოპტიმალური შეფარდებით. გამორეცხვის რეჟიმის სწორი ამორჩევა უზრუნველყოფს დანადგარის ეფექტურ მუშაობას, რომელიც მდგომარეობს მწარმოებლურობის და ფილტრატის ხარისხის ხანგრძლივ შენარჩუნებაში [11,12].

წარმოება უშვებს შემდეგი სახის ულტრაფილტრაციულ მოდულებს [41]:

ულტრაფილტრაციული საყოფაცხოვრებო მოდული NFY-4021S



კომპაქტური
ულტრაფილტრაციული
მოდული პლასტიკურ
კორპუსში:

- მუშა წნევა: 1–6 ბარი;
- მწარმოებლურობა : 500ლ/სთ–მდე;
- ფილტრაციის ხარისხი: 0,01მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 2,5მ².



ულტრაფილტრაციული
საყოფაცხოვრებო
მოდული NFY-4040C
კომპაქტური
ულტრაფილტრაციული
მოდული უჟანგავი
ფოლადის კორპუსში:

- მუშა წნევა:
1–6 ბარი;
- მწარმოებლურობა : 1000ლ/სთ–მდე;

- ფილტრაციის ხარისხი: 0,01მკმ; ფილტრაციის ფართობი: 5,0 მ² ულტრაფილტრაციული საყოფაცხოვრებო მოდული NFY-4040B



კომპაქტური
ულტრაფილტრაციული
მოდული უქანგავი
ფოლადის კორპუსში:

- მუშა წნევა: 1–6 ბარი;
- მწარმოებლურობა :1000ლ/ს
- ფილტრაციის ხარისხი: 0,01მკმ;

- ფილტრაციის ფართობი: 5,0 მ² ;

ულტრაფილტრაციული საყოფაცხოვრებო მოდული NFY-5024B



კომპაქტური
ულტრაფილტრაციული
მოდული უქანგავი
ფოლადის კორპუსში:
მუშა წნევა : 1–6 ბარი;

- მწარმოებლურობა : 750ლ/სთ–მდე;
- ფილტრაციის ხარისხი: 0,01მკმ;

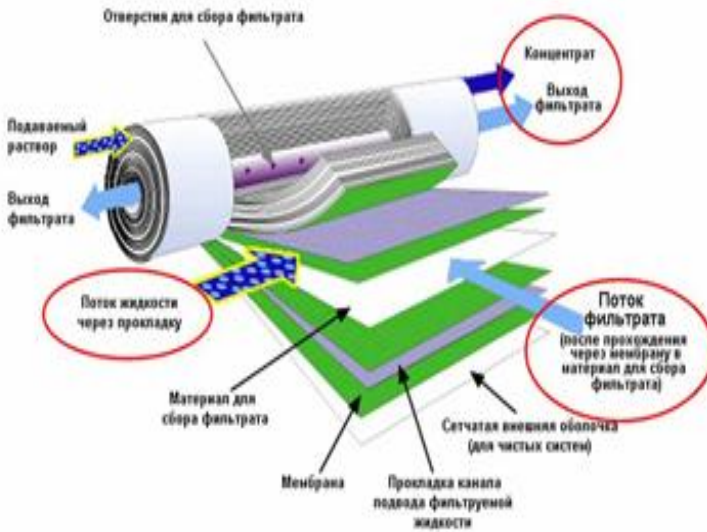
- ფილტრაციის ფართობი: 3.2 მ



ISO-9001:2000



Схема спирального элемента



ნახ.4. სპირალური ელემენტის სქემა

1.3.1 მემბრანული ფილტრების დამჭერები

ფილტრის დამჭერები განკუთვნილია ხსნარების კონცენტრირების და გაკამკამებისათვის ბიოტექნოლოგიურ, სამედიცინო და კვების მრეწველობაში, აგრეთვე წყლის მომზადებაში საინჟექციო ხსნარების

დასამზადებლად. გამოიყენება მცირე პილოტური პარტიების მისაღებად [14–16].

ACΦ-009 (100ლ/სთ..) ტიპის ფილტრის დამჭერთი შეიძლება 1 - 5 მემბრანული ფილტრების დაჭერა, 0.1 - 0.5 მ² ფილტრაციის ფართობით.

ფილტრის ACΦ-007 (1000ლ/სთ..) დამჭერთი შეიძლება 1 - 10 მემბრანული ფილტრების დაჭერა, 0.7 - 7.0 მ² ფილტრაციის ფართობით.

განკუთვნილია : დიდი მოცულობის თხევადი და აირადი არეების (100–20000 ლ/სთ.) ფილტრაციის-თვის ჩიხის ტიპის ფილტრებში.

გამოიყენება: ბიოტექნოლოგიურ, ფარმაცევტულ კვების მრეწველობაში, აგრეთვე სხვადასხვა ტექნიკური მიზნებისათვის.



ნახ.5 ACΦ-006 ტიპის ფილტრის დამჭერი.



ნახ.6 ACΦ-009 და ACΦ-007 კასეტური ფილტრების დამჭერი.



ნახ.7. ACΦ-011 ტიპის ფილტრის დამჭერი.

განკუთვნილია : მცირე მოცულობის (25 ლ/სთ.-მდე) თხევადი არეების წინასწარი, გასაკამკამებელი და გასასტერილებელი გაფილტვრისათვის ფარმაცევტულ წარმოებაში, აგრეთვე ტექნიკურ, ბიოტექნოლოგიურ, კვების, ნავთობგადამამუშავებელ და სხვა დარგებში.

1.4 მემბრანული დანადგარების კონსტრუქცია

მემბრანული დანადგარების კონსტრუქცია შედგება შემდეგი ნაწილებიდან [19,21]:

- მემბრანული ელემენტების რეგენერაციის (გარეცხვის) კვანძი;
- მიღებული პროდუქტის ხარისხის პარამეტრების გაზომვის სისტემები და კონტროლი;
- მიღებული პროდუქტის ხარისხის პარამეტრების რეგულირების სისტემები;
- დამკვეთთან შეთანხმებული პროცესების ავტომატიზაციის ბლოკები;
- ტელემექანიზაციის, მოშორებული კონტროლის და პროცესების მართვის ბლოკები;
- დასამუშავებელი პროდუქტის წინასწარ მომზადების სისტემები;
- ტექნოლოგიურ ხაზში დასამუშავებელი პროდუქტის მიწოდების დანადგარი.

1.5 RO, NF, SW, UF, MF ტიპის მემბრანული დანადგარების გამოყენება

- მედიცინა და ფარმაციაში: გაწმენდილი წყალი ჰემო- და პერიტონიალური დიალიზისათვის, ულტრა სუფთა და აპოგენული წყალი, ფარმაცევტული წარმოებისათვის;
- სასმელი წყალმომარაგება: სასმელი წყლის გაუმარილება, დარბილება, გაკამკამება, გაწმენდა რკინის და მიკრობებისაგან, ორგანოლექტიკური მაჩვენებლების ხარისხის ამაღლება;
- ქიმიური წარმოება და ლაბორატორიული გამოყენება: ნებისმიერი ხარისხით გაწმენდილი წყალი გამოხდელიდან საჭირო დონემდე;
- წარმოება: გამოიყენება თბო- და ელექტროენერჯის, ცელულოზის, ქაღალდის, წარმოებაში, სხვადასხვა ნივთიერებების ფილტრაციაში;
- კვების წარმოება:

სასმელი წყალი : გაწმენდა, მომზადება, მიკრობების მოცილება, წყლის ქიმიური შემადგენლობის კორექცია;

ლუდი : ცივი სტერილიზაცია, გაკამკამება,
საფუარის დუღილი;
ალკოჰოლური სასმელები: ფილტრაცია.

საკვები დანამატები : ბიოლოგიურად აქტიური
ნივთიერებების გაყოფა და
დაკონცენტრირება.

რძის წარმოება : კონცენტრირება, გამოყოფა,
დემინერალიზაცია,
ფრაქციონირება.

წვენები, სიროფები,
ექსტრაქტები: გაწმენდა, გაკამკამება,
დაკონცენტრირება.

საკვები მღებავები,
ესენციები,
კონსერვები : გაწმენდა, გაკამკამება,
კონცენტრირება

შაქრის სიროფი : გაწმენდა, გაკამკამება,
ფრუქტოზის შემცველობის
გაზრდა და კალორიულობის
შემცირება.

რასოლები და
ბულიონები : ბულიონების კონცენტრირება,
ტუზლუქის რეგენერაცია.

ჩამდინარე წყლების ჩაკეტილი ციკლების შექმნა,

გაწმენდა: ჩამდინარე წყლების
გაწმენდა დასაშვებ
ნორმამდე.

ენერგეტიკული
კომპლექსი: ნადების, სიხისტის,
ლითონების კოროზიის,
აქაფების წარმოქმნის
შემცირება.

1.6. მემბრანული ტექნოლოგია კვების მრეწველობაში

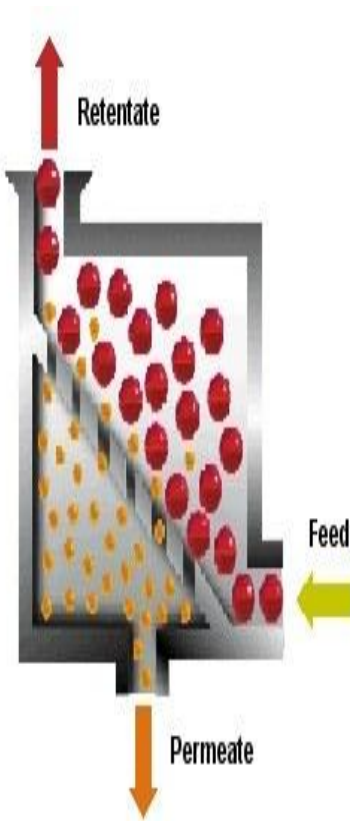
1.6.1 კვების მრეწველობის ფილტრები.

კონსერვირებული პროდუქტების და სასმელების წარმოებისათვის, მშრალი რძის პროდუქტების აღსადგენად და სხვა ამოცანების ეფექტურ გადაწყვეტას [40] აწარმოებენ წყლის მომზადებით და გაწმენდით. წყლის გაწმენდისათვის ხსნადი და უხსნადი მინარევებისაგან იყენებენ მემბრანულ მეთოდებს : ოსმოსი [9], უკუოსმოსი, ნანოფიტრაცია, ულტრაფილტრაცია და მიკროფილტრაცია. F ფირმა APV – წამყვანი ფირმაა მემბრანული ფილტრაციის დანადგარების წარმოებაში. ის აწარმოებს მემბრანული ფილტრაციის სის-ტემებს, რომლებშიც იყენებს Spiral Wound (სპირა-ლისებური), Plate and Frame (ფირფიტოვან-ჩარჩოვანი), Tubular

Organic (მილისებური ორგანული), და Tubular Ceramic (მილისებური კერამიკული) მემბრანებს.

ფორმა APV აწარმოებს მემბრანული ფილტრაციის სისტემებს;

- რძის ნებისმიერი წარმოებისათვის ყველა სახის სისტემებს;



- საკვები პროდუქტების და სასმელების წარმოებისათვის სისტემების დიდ რაოდენობას;
- ქიმიური და ფარმაცევტული წარმოებისათვის ზოგიერთ სისტემებს;
- კვების მრეწველობისათვის ს გარემოს დაცვის სისტემებს.

ნახ.8 მემბრანული ფილტრაციის სქემა.

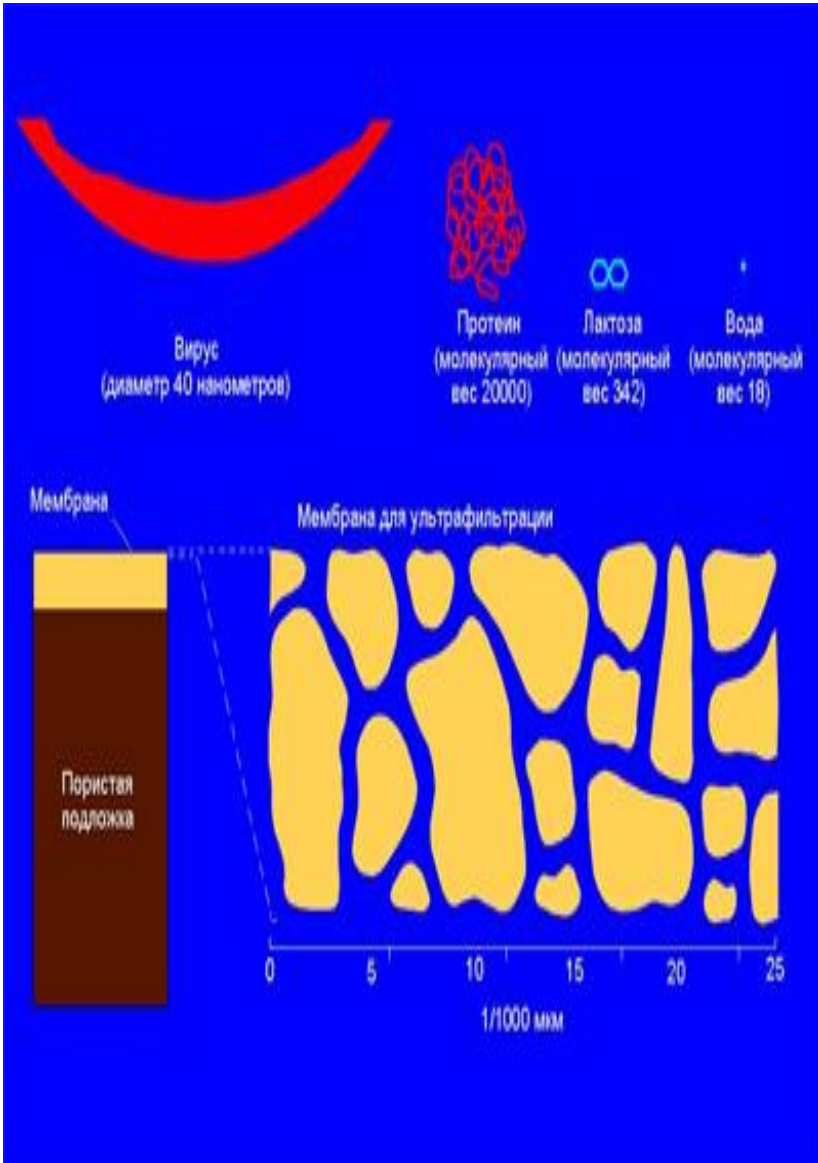
1.6.2 წყლის გაწმენდის ფილტრები კვების მრეწველობისათვის.

წყლის გაწმენდის პრობლემა ყოველთვის წყდება ინდივიდუალურად. პრაქტიკულად არ არსებობს წყლის მომარაგების ერთნაირი შედგენილობის წყაროები და შესაბამისად წყლის გაწმენდის სისტემებიც მრავალფეროვანია კომპლექტაციითა და კონფიგურაციით.

1.6.3 წყალი სასმელების წარმოებაში

1.6.3.1 წყლის გაწმენდის მემბრანული მეთოდების კლასიფიკაცია

სასმელების (უალკოჰოლო, ალდგენილი წვენები, ბუთილირებული წყალი და ლუდი) წარმოების მთავარი ტექნოლოგიური რგოლია– წყლის მომზადება [22–24]. ცხრილ 1–ში მოყვანილია წყლის გაწმენდის მემბრანული მეთოდების კლასიფიკაცია. მოთხოვნები უალკოჰოლო სასმელების მიმართ: მიკროორგანიზმების არ არსებობა, შესლუდვები ნატრიუმის, ქლორიდების და ტუტის შემცველობაზე. თუ უალკოჰოლო სასმელი შეიცავენ ნატრიუმის მცირე რაოდენობას ან სულ არ შეიცავენ მას, მაშინ წყლის



ნახ. 9 ულტრავილტრაციული მემბრანის გამოყენების არეები.

წყლის გაწმენდის მემბრანული მეთოდების
კლასიფიკაცია.

ცხრილი 1

წყლის გაწმენდის მემბრანული მეთოდები.			
ფორების ზომები, ფილტრაციის რეიტინგი მკმ.	დაბინძურების სახეები	დაბინძურების მოლეკულური მასა	წყლის გაწმენდის მეთოდი
1	2	3	4
1-100	მექანიკური ტივტივრები, დაჟანგული დაბინძურებები	-	წყლის მექანიკური გაწმენდა, მაკროფილტრაცია
1-100	მექანიკური ტივტივრები, დაჟანგული დაბინძურებები	-	წყლის მექანიკური გაწმენდა, მაკროფილტრაცია
1-100	მექანიკური ტივტივრები, დაჟანგული დაბინძურებები	-	წყლის მექანიკური გაწმენდა, მაკროფილტრაცია

0,002-0,1	ბაქტერიები, კოლოიდები, ვირუსები, დიდი ნაერთების მოლეკულები	10 000 - 500 000	ულტრაფილტრაცია
0,002-0,001	მრავალმუხტია ნი იონები, მოლეკულები, ვირუსები.	300 - 10 000	ნანოფილტრაცია
< 0,0001	იონები.	<300	ოსმოსი, უკუოსმოსი

მომზადებას ატარებენ დემინერალიზაციის, კერძოდ ელექტროდიალიზის მეთოდით.

მოთხოვნები წველების მიმართ: ბაქტერიული სისუფთავე რომელიც მიიღწევა უკუოსმოსისა და ულტრაფილტრაციის გამოყენებით. ამ მეთოდებით ისპობა მიკროორგანიზმების 99% და ერთდროულად ხდება წყლის სიხისტის, ტუტეობის და დამჟანგ-ველობის მაჩვენებლების დაქვეითება. ულტრაფილ-ტრაცია და უკუოსმოსი წველების წარმოებაში, წყლის მომზადების ოპტიმალური მეთოდებია [41].

1.6.3.2 წყლის გაწმენდის მემბრანული დანადგარები

სკვების მრეწველობაში წყლის მომზადების სისტემების დანერგვის პრაქტიკა აჩვენებს, რომ გამოყენებული ტრადიციული მეთოდები ელექტროდიალიზი, ექსტ-რაქცია და სხვა, არ გამოდგამს ამ ამოცანის გადასა-წყვეტად. ამის მიზეზია მაღალი ღირებულება, ელექტ-როენერჯის დიდი ხარჯი, აპარატურული გაფორმების სირთულე [36]. მრავალი დამკვეთის მოთხოვნის სა-ფუძველზე კომპანია „ოსმოსმა“ გერმანული მოდულების საფუძველზე აღადგინა წყლის გაწმენდის მაღალი წარმადობის ულტრაფილტრაციული სისტემების წარმოება (ნახ.10). ასეთი სისტემა დაინერგა ალკოჰოლიანი სასმელების ქ. სანტ-პეტერბურგის ქარხანაში (ნახ.11)



ნახ.10. ულტრაფილტრაციული სისტემა გერმანული მოდულების საფუძველზე კომპანია „ოსმოსი“



ნახ.11 წყლის გაწმენდის ულტრაფილტრაციული სისტემა ალკოჰოლიანი სასმელების ქარხანაში (ქ. სანტ-პეტერბურგი).

ულტრაფილტრაციული დანადგარი (წარმადობა – 2 მ³/სთ) წარმატებით გამოიყენება ქ.კინგისეპის რძის (ნახ.12) და „ტოიოტა“-ს ფირმის ქარხანაში.

ფარმაცევტულ მრეწველობაში, სამკურნალო საშუალებების წარმოებაში წყალი გამოიყენება სხვადასხვა მიზნით: მზა კომპონენტის ,ნედლეულის, მრეცხავი აგენტის სახით და როგორც საინიექციო წყალი. რადგან წყალი გამოიყენება სამკურნალო საშუალებების წარმოების სხვადასხვა სტადიებზე და სხვადასხვა მიზნით,ანსხვავენ წყლის რამოდენიმე სახეს, რომლებიც განსხვავდება ერთმანეთისაგან სისუფთავით (ნახ.14).



ნახ.12 ულტრაფილტრაციული დანადგარი
(ქ.კინგისეპის რძის ქარხანა)



ნახ.13 ულტრაფილტრაციული დანადგარი „ტოიოტა“-
ფირმის ქარხანაში.



ნახ.14 გაწმენდილი წყლის მიღების ორსაფეხურიანი სისტემა ფარმაცევტულ ქარხანაში "РОСБИО" (რუსეთი).

1.6.3.3 ულტრაფილტრაციული დანადგარები წყლის გაწმენდისათვის



- მუშა წნევა : 1–6 ბარი;
- მწარმოებლური ბა: 1500ლ/სთ;

ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ; ფართობი: 6,4 მ²
მილები :PIBX, DN25



NFYD-5024 B / P

- მუშა წნევა : 1–6 ბარი;
- მწარმოებლურობა: 1500ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 6,4 მ² ;



NFYD-4040B/P

- უჟანგავი მილები : AISI 304
- მუშა წნევა : 1–6 ბარი;
- მწარმოებლურობა: 2000ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
ფილტრაციის ფართობი: 10 მ² ;
- მილები : ΠΒΧ DN25



NFYD-4040B/P

- მწარმოებლურობა: 2000ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 10 მ² ;
- უჟანგავი მილები : AISI 304;
- მუშა წნევა : 1-6 ბარი;



NFYD - 1260

- მუშა წნევა : 1-4 ბარი;
- მწარმოებლურობა: 2000ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 10 მ² ;
- მილები : PIBX DN25



NFYD-1260/BOX

- მუშა წნევა : 1–4 ბარი;
- მწარმოებლურობა: 2000ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 10 მ²;
- მილები : PIBX DN25



NFYD-1260 UV/BOX

- მუშა წნევა : 1–4 ბარი;
- მწარმოებლურობა: 2000ლ/სთ;
- ფილტრაციის ხარისხი : 0,01 მკმ;
- ფილტრაციის ფართობი: 10 მ²;
- მილები : PIBX DN2

1.6.3.4 წყლის მომზადების კომპლექსური სისტემები

ულტრაფილტრაციას ხშირად იყენებენ კომბინაციაში სხვა მეთოდებთან (აქტივირებული ნახშირი, ფლოკულაცია, ნანოფილტრაცია, უკუოსმოსი) [24–26,28]:

- ფლოკულაცია + ულტრაფილტრაცია: ულტრაფილტრაცია მდე ფლოკულანტის დამატებით ხდება ძნელადმოსაშორებელი, მცირე ზომის ორგანული მოლეკულების(ტანინები გუმინის და ვულფო-მჯავები), მოცილება, რომლებიც აძლევენ წყალს [27] მოყვითალო

შეფარილობას. ეს ნაერთები წარმოქმნიან ფლოკულანტებთან კომპლექსს, რომელსაც კარგად იკავებს მემბრანა



- აქტივირებული ნახშირი + ულტრაფილტრაცია : ულტრაფილტრაციის კომბინაცია აქტივირებულ ნახშირთან იძლევა მაღალ- და დაბალმოლეკულური ორგანული ნაერთების, აირების და პესტიციდების მოშორების საშუალებას. მაგრამ, თუ დაბალმოლეკულური ნაერთების კონცენტრაცია მაღალია, ნახშირის ფორები ძალიან ჩქარა იჭედება და იქმნება გამფილტრავი მასალის ხშირი შეცვლის საჭიროება;
- ულტრაფილტრაცია + ნანოფილტრაცია / უკუოსმოსი : ასეთი თანმიმდევრობით ულტრაფილტრაციას იყენებენ როგორც წინასწარი გაწმენდის მეთოდს, რითაც გაუმჯობესდება ნანოფილტრაციული და უკუოსმოსური მემბრანების ექსპლუატაციური მახასიათებლები.

ულტრაფილტრაციას კომპლექსში

ნანოფილტრაციასთან და უკუოსმოსთან ერთად, კვების მრეწველობაში იყენებენ შემდეგ საწარმოო სფეროებში [28,29]:

- ალკოჰოლიანი და უალკოჰოლო სასმელების წარმოება ;
- წვენების წარმოება;
- ლუდის წარმოება ;
- რძის და ნაყინის წარმოება;
- სოუსების, კეტჩუპების და მაიონეზის წარმოება;

- საკონდიტრო ნაწარმების წარმოება.

კომპლექსურ მეთოდებს აგრეთვე იყენებენ მაღალ-ხარისხოვანი სასმელი,გამოხდილი, ღრმად გაუ-მარი-ლებული, ძალიან სუფთა ტექნოლოგიური წყლის მისა-ღებად. ასეთი წყლის მიღება შეიძლება მემბრანულ და-ნადგარებზე „АЛЬМУС". ამ დანადგარების მწარმო-ებლურობა გაწმენდილი წყლის მიხედვით შეადგენს 0,1–100 მ³/სთ. ტიპური დანადგარის შედგენილობაში შედის:

- ბარიერული ფილტრი;
- ცენტრიდანული ტუმბო უჟანგავი ფოლადიდან;
- მემბრანული რულონისებური ელემენტები;

- მინის პლასტიკური წნევის კორპუსები მემბრანული ელემენტებისათვის ან წნევის კორპუსები უჟანგავი ფოლადიდან;
- მემბრანული ელემენტების ქიმიური რეცხვის კონტური;
- ჩარჩო უჟანგავი ფოლადიდან;
- მართვის კარადა ელექტრომძლავრი



აპარატურით და კონტროლიორით;

- პარამეტრების: საწყისი და გაწმენდილი წყლის ხარჯის, ელექტროგამტარობის და ტემპერატურის მაჩვენებელი დისპლეი;
- მილსადენები უჟანგავი ფოლადიდან და საკვები პლასტიკიდან;
- კონტროლის და მართვის ხელსაწყოები და აპარატურა.

"Альмус"-ის სერიის დანადგარები შეიცავენ წინასწარი გაწმენდის ფილტრს, მემბრანულ მოდულს და მაღალი წნევის ტუმბოს. მემბრანული მოდული დამზადებულია უჟანგავი ფოლადიდან და შეიცავს წნევის კორპუსს, რომელშიც განლაგებულია მემბრანული ელემენტები, მემბრანული ელემენტების ქიმიური რეცხვის კონტური და მრეცხავი ხსნარის ტევადობა. ზოგიერთ შემთხვევაში კონტური შეიცავს ავტონომურ ტუმბოს, რომელიც გამოიყენება მხოლოდ რეცხვის პროცესისათვის. ქიმიური რეცხვის პერიოდულობა ყოველთვის განისაზღვრება დამკვეთის კონკრეტული პირობებით მინიმალური ექსპლუატაციური ხარჯებისა და მემბრანული ელემენტების მუშაობის მილსადენების სისტემა შეიცავს ტემპერატურის, ელექტროგამტარობის, საწყისი და გაწმენდილი წყლის ხარჯის საჭირო გადამწოდებს, კონტროლის და დაცვის ხელსაწყოებს. მილსადენები და მოდულის დეტალები დამზადებულია უჟანგავი ფოლადიდან. ფილტრატის გამოყვანის ხაზი დამზადებულია კვების მრეწველობაში დამკვეთი მაღალხარისხიანი პოლიმერული მასალებიდან. დანადგარები მუშაობენ როგორც ავტომატურ,

ასევე ხელის რეჟიმში. მართვის პულტი იძლევა დროის მიმდინარე რეჟიმში დანად-გარის მუშაობის მთავარი პარამეტრების კონტროლის საშუალებას. ფილტრატის მიღების ხარისხი შეადგენს 50 –85% და დამოკიდებულია საწყისი წყლის შედგენილობაზე. საწყისი წყლის მინიმალური წნევა–0,15მპა.

1.6.4. პილოტური და საწარმოო ფილტრაცია

ფირმა “ვლადისარტი” აწარმოებს მემბრანულ ფილტრებს, რომლებიც გამოიყენებიან საწარმოო პირობებში გაწმენდის და ფილტრაციისათვის, აგრეთვე მიკრო-ბიოლოგიური, სანიტარულ-ეპიდემიური, პარაზიტოლოგიური და ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზების ჩასატარებლად. “ვლადისარტის” მიერ წარმოებული მემბრანული ფილტრები სერტი-ფიცირებულია რუსეთის სახელმწიფოს მიერ. Sartorius AG –ის ხარისხის მართვის სისტემა სერტიფიცირებულია ISO 9001 მიხედვით [30–32].

1.6.4.1 ულტრაფილტრაციული საწარმოო სპირალური სისტემა UF-211(ნიუჯერსი, აშშ)

- წნევა შესასვლელზე / გამოსასვლელზე : 4.83 /1.38 ბარი = 1.15 ბარი /ელემენტზე;
- დინების სიჩქარე : 265-284 ლ/წთ;
- ცირკულაცია : 964 ლ/წთ;
- ფილტრატის დინების სიჩქარე : 38 ლ/სთ.;
- მზა პროდუქტის: pH=4.9;
- მზა პროდუქტის ტემპერატურა : 40°C;
- მიკროფილტრაციის ხანგრძლიობა: 9.5 სთ.;
- მიკროფილტრაციის ტემპერატურა : 37.8°C;
- რეტენტატის წონა : 9.525 კგ.;
- კონცენტრირების კოეფიციენტი : 4;
- დინება : 812 ლ/მ² დღე-ღამეში.

1.6.4.2 ულტრაფილტრაციული საწარმოო სისტემა UF-809 ელემენტებით ST3B-8240

- ტუმბოს სიმძლავრე: 100 მ² /სთ.;
- სისტემა მიეწოდება სამ კორპუსზე, სამი ელემენტით (PES10-46-CB8240);
- წნევა შესასვლელზე / გამოსასვლელზე : 4.61 /1.38 ბარი = 1.1 ბარი /ელემენტზე;
- ფილტრატის დინების სიჩქარე : 4.54 მ² /სთ.;

- ფილტრატის დინების სიჩქარე ერთ ელემენტზე :
 $1.51 \text{ მ}^2 / \text{სთ}^*$ ელემენტზე.;

1.6.4.3 მაგილის ტესტერი ბრტყელი მემბრანით (ფირმა Synder Filtration, ა.შ.შ. კალიფორნია)

Synder
/ Filtration

ТРИС
კონსტრუქციული ცენტრი

ISO-9001:2000



Настольный тестер с мембраной в виде плоского листа



ნახ.15 მაგილის ტესტერი ბრტყელი მემბრანით

დანადგარის პარამეტრები:

- მემბრანის ფირფიტა PVDF 0.1M;
 - მემბრანის ფართობი: 10,16 სმ * 15,24 სმ.
 - წნევა : 0,1მპა;
 - ნაკადის სიჩქარე : 1160 მლ/წთ.:
 - ფილტრატი : 300 მლ/წთ.
- დანადგარი განკუთვნილია მიკრობების მოსაშორებლად. მემბრანაში გავლის შედეგ ფილტრატში არ აღმოჩნდა მიკრობიოლოგიური აქტიურობა [34].

1.6.4.4 სპირალური პილოტური სისტემა UF –201

ამ ულტრაფილტრაციულ დანადგარზე ატარებენ პილოტურ გამოკვლევას მცირე მოცულობის სისტემებზე;

- მემბრანა : სპირალისებრი ელემენტი PVDF 0.1M-24-CB2319;
- მემბრანის ფართობი : 0.95 მ². ;
- წნევა შესასვლელზე : 2.62 ბარი;
- გამოსასვლელზე : 1.72 ბარი;
- გასაწმენდი სისტემის საწყისი ტემპერატურა : 38 °C ;
- მოცულობა : 12ლ. ;
- პროცესი პორციულია;

- დინების სიჩქარე : 42.94 ლ/ მ²* სთ.;
- ფილტრაციის ხანგრძლიობა : 12.5 წთ:
- მიიღება ფილტრატი : 8.5 ლ.
- რეტენტატი (კონცენტრატი) : 3.5 ლ.;
- კონცენტრირების კოეფიციენტი : 3.429.

Synder
/ Filtration

ТРИС
агро-проектировочная организация

ISO-9001:2000



Спиральная пилотная система UF-201



ნახ.16 ულტრაფილტრაციული სპირალური პილოტური სისტემა UUF – 201

1.6.4.5 ულტრაფილტრაციული სპირალური
საწარმოო სისტემა UF-809 ელემენტებით
ST3B-8240



ISO-9001:2000



Спиральная система для промышленного
производства



ნახ.17 ულტრაფილტრაციული სპირალური საწარმოო
სისტემა UF-809 ელემენტებით ST3B-8240

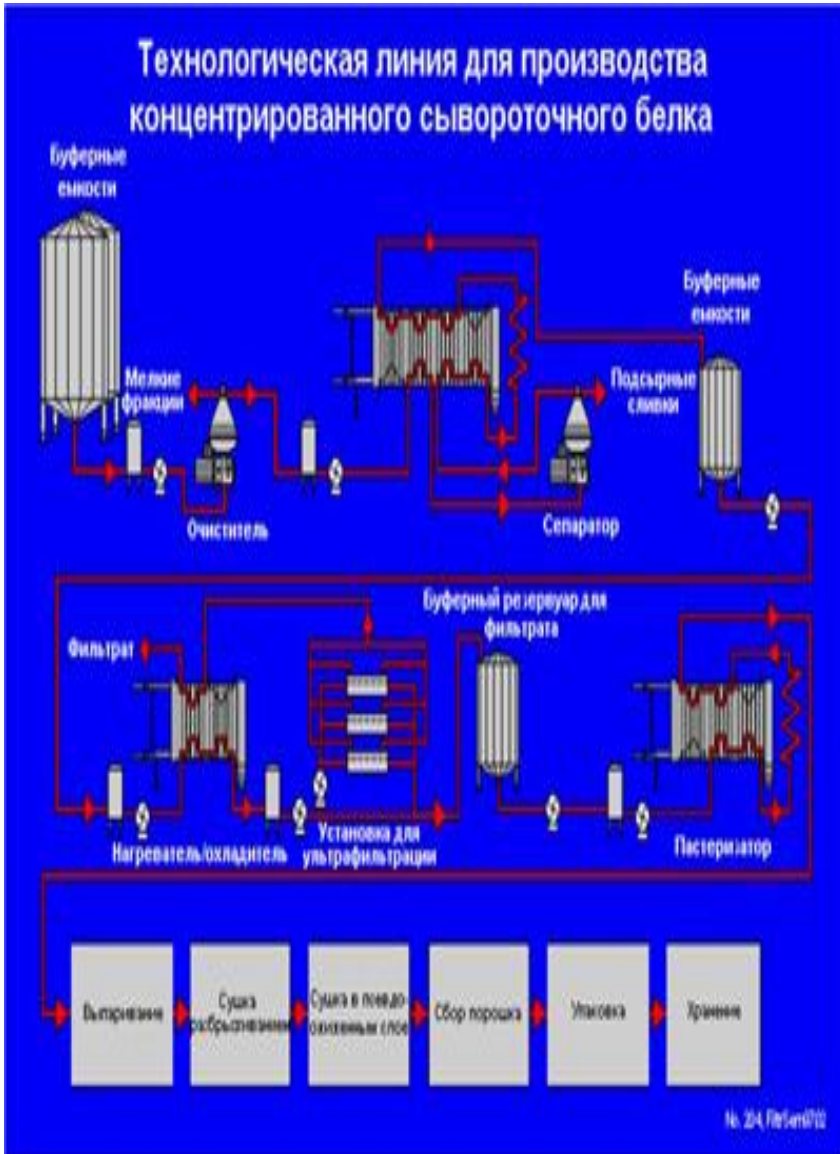
ამ ულტრაფილტრაციულ დანადგარებში გამოიყენება სპირალური ელემენტი (მემბრანა). ფილტრაცია სპირალური მემბრანების გამოყენებით წარმოადგენს გაყოფის პროცესს ფილტრატის განივი კვეთით. მიწოდებულ ფილტრზე სითხის ნაკადი მიედინება ტანგენციალურად ანუ მემბრანის ზედაპირის გასწვრივ. მემბრანაში გასული სითხის ნაკადი – ფილ-ტრატია, დაბრუნებული სითხის ნაკადი კი - რეტენტატი (კონცენტრატი). რეტენტატი მემბრანული ფილ-ტრების სერიის გავლისას ხდება უფრო კონცენ-ტრირებული.

1.6.4.6 ულტრა- და მიკროფილტრაციის გამოყენება რძის წარმოებაში

- ნატურალური რძის დაკონცენტრირება: ლა-ქტოზის და წყლის მოშორება სტანდარტული რძის მომზადებამდე, და აგრეთვე ხარჯების შემცირება ტრანსპორტირებაზე. კონცენტრირების კოეფიციენტი შეადგენს 2,8,14-23% -მდე.
- უცხიმო რძის დაკონცენტრირება: პროტეინის პროცენტული შეფარდების გაზრდა მშრალი ნივთიერებების ზოგად შემცველობასთან [40, 36]. კონცენტრირების ტიპური კოეფიციენტი შეადგენს 1.5, 3.3, 5.2 და 8, რითაც მიიღწევა 45%-დან 85%-დე პროტეინის პროცენტული შეფარდება მშრალი ნივთიერებების ზოგად შემცველობასთან. ასეთი მშრალი რძე პროტეინის

მაღალი შემცველობით გამოიყენება ალდ-გენილი რძის და ყველის წარმოებაში.

- შრატის პროტეინის დაკონცენტრირება: პროტეინის მშრალი ნივთიერებების ზოგად შემცველობასთან შეფარდების კონცენტრაცია შეადგენს 70 – 80%. კონცენტრირების ტიპური კოეფიციენტი შეადგენს 25-45 და დამოკიდებულია პროტეინის პროცენტულ შეფარდებაზე მშრალი ნივთიერებების ზოგად შემცველობასთან.
- მინერალური ნივთიერებების, მაგ., კაზეინთან მიმაგრებული კალციუმის დაკონცენტრირება.
- ცხიმის მოშორება : ცხიმის მაღალი შემცველობის ნაკადების დაკონცენტრირება, რომლებიც რჩება ულტრაფილტრაციით ან იონმიმოცვლითი ფისებით გაყოფის შემდეგ.
- დანადგარების მწარმოებლურობა საწყისი შრატით შეადგენს 0.5-10.0 მ³/სთ.



ნახ.18 კონცენტრირებული შრატის ცილის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

1.6.4.7 მეორადი რბის ნედლეულის
გადამუშავების კომპლექსური დანადგარი.



ISO-9001:2000



Система UF-812 с элементами ST3B-8040



ნახ.19 ულტრაფილტრაციული სპირალური
საწარმოო სისტემა UF-812 ელემენტებით ST3B

1.6.4.8 გაფილტვრის ლაბორატორიული დანადგარი SARTOFLOW® Alpha

განკუთვნილია : ლაბორატორიული სამუშაოებისა და მცირე პილოტური წარმოებისათვის. ეს სისტემა იდეალურია მამტაბირების მიზნისათვის. სანდო მუშა-ობა უზრუნველყოფილია ტუმბოს კლაპანებით,



ნახ.21 ლაბორატორიული დანადგარი SARTOFLOW®
Alpha

“ მკვდარი ” მოცულობის გარეშე და წნევის მაჩვენებლით.

- ზომები (60x50x60 სმ)
- “მკვდარი” მოცულობა(< 300 მლ.)
- მუშა მოცულობა 1-50 ლ.
- მონაცემების შენახვა (21 CFR Part 11)
- მასალა სერტიფიცირებულია (3.1b, FDA)

1.6.4.9 გაფილტვრის დანადგარი ARTOFLOSW® Beta

იდეალური სისტემა დიდი პილოტური პარტიებისათვის (1000 ლ. მოცულობით) და საწარმოო გამოყენებისათვის. სისტემა BETA იყენებს საწარმოო სისტემების კომპონენტებს. გარემოსთან კონტაქტში მყოფი ნაწილები დამზადებულია [38] უჟანგავი ფსაგან 316L და EPDM. დანადგარი დაცულია მშრალი ჩართვის და ზედმეტი წნევისაგან, უზრუნველყოფს სისტემის შენარჩუნებას და ახანგრძლივებს გამოყენების ვადას. ფილტრაცია ტარდება უწყვეტ დიაფილტრაციის რეჟიმში.

დანადგარის პარამეტრები :

- ზომები (1250x700x1000)
- “მკვდარი” მოცულობა(< 200 მლ.)
- გამოიყენება მოცულობები: 10-1000 ლ.
- მონაცემების შენახვა (21 CFR Part 11)
- მასალა სერტიფიცირებულია (3.1b, FDA)

- IQ/OQ დოკუმენტაცია.



ნახ.22 გაფილტვრის დანადგარი SARTOFLOW® Beta

1.6.4.10 ინტეგრირებული ფილტრაციული სისტემა SARTOFLOW®10 PH/A-DCU

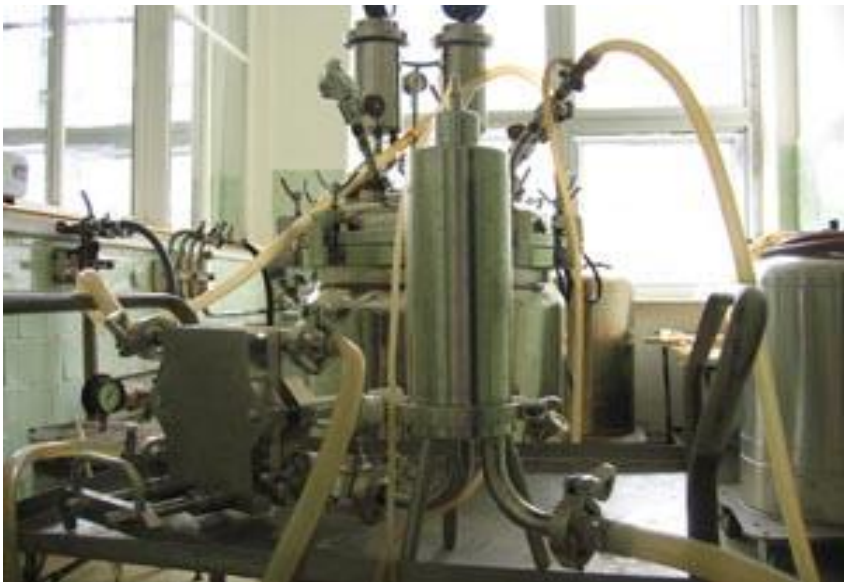
სისტემა დაფუძნებულია ტანგენციალური ფილტრაციის პრინციპზე Sartorius AG და დამუშავებულია BBI მართვის სისტემის DCU (digital controller units) გამოყენებით. ასეთი სისტემების მესამე თაობა აღჭურვილია სენსორული მონიტორით, ადაფტირებულია ფილტრაციის დანადგარებთან. ამ სისტემებზე ატარებენ კონცენტრირებას, დიაფილტრაციას, გაწმენდას და სტერილიზაციას ადგილზე. C MFCS/win SCADA იძლევა მთავარი საფეხურების კომბინირების საშუალებას და ტექნოლოგიის ადაფტირებას პროცესის მოთხოვნილებების შესაბამისად [39].



ნახ.23 ინტეგრირებული ფილტრაციული სისტემა
SARTOFLOW®10 PH/A-DCU

1.6.4.11 ულტრაფილტრაცია ბიოტექნოლოგიურ წარმოებაში (ნახ.24–27)







ნახ.24-27 ულტრაფილტრაციული დანადგარები
ბიოტექნოლოგიურ წარმოებაში: ნახ24, 25 დანადგარის
ზოგადი სახე;
ნახ.26,27 დანადგარის გაფილტვრის მოდულის კვანძი.

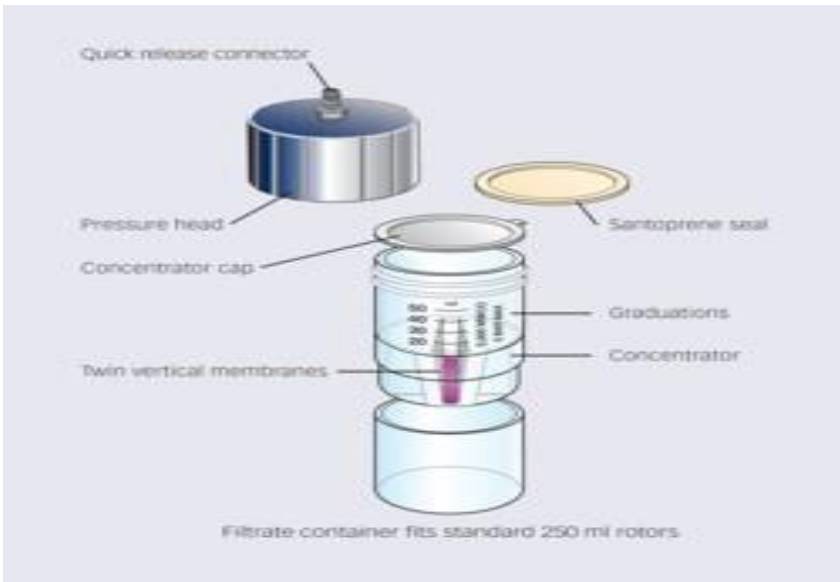
ულტრაფილტრაციის დროს ერთდროულად
მიმდინარეობს ორი პროცესი : ხსნარის გაწმენდა და
დაკონცენტრირება [39,40].

1.6.5 ხსნარების კონცენტრირება ულტრაფილტრაციით Vivacell 100

Vivacell 100 – უნიკალური თანამედროვე კონცენ-
ტრატორია, რომელიც ჩქარი დაკონცენტრირების
მიზნით იყენებს წნევას, ცენტრიფუგირებას, მორევას ან
ერთდროულად წნევას და მორევას.



ნახ.28 კონცენტრატორი Vivacell 100



ნახ.29 ვერტიკალური მემბრანა.

ეს მემბრანა დაპატენტებულია,ის ძალიან მოქნილია და უზრუნველყოფს კონცენტრირების უმაღლეს

ხარისხს.Vivacell 100 გამოიყენება ზედმეტად მგრძობიარე სინჯებისათვის გაყოფის რეჟიმში წნევის ქვეშ ან წნევის და მორევის გამოყენებით. დაკონცენტრირება შეიძლება აგრეთვე დაბალი ტემპერატურის პირობებში წნევის ქვეშ.რომელ რეჟიმშიც არ გამოიყენება Vivacell 100 , ვერტიკალური მემბრანა აფერხებს დაბინძურებას, სინჯის დამჭერი კი – აბრკოლებს სინჯის გამოშრობას და დაკარგვას [41].

1.6.6 ერთჯერადი ულტრაფილტრაციული კონცენტრატორები Vivaspin 6, 20

ერთჯერად ულტრაფილტრაციული კონცენტრატორებს, იყენებენ ბიოლოგიური ხსნარების კონცენტრირების და/ან გაწმენდის მიზნით.



Centrifuge

- Process convenience
- Low shear, no foaming
- Less visual control



Pressure

- Simplicity and highest process control
- Ideal for refrigerated use
- Slower concentrations



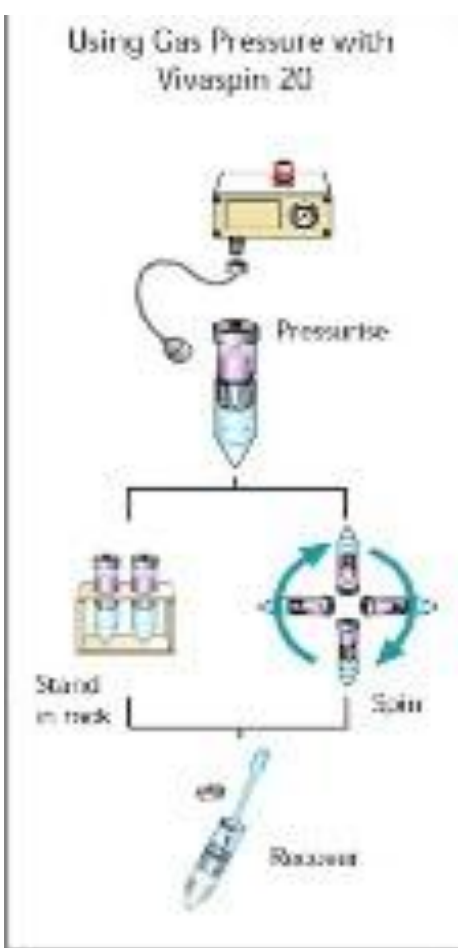
Pressure-shake

- Speed and process control
- Ideal for single samples
- If left unattended can concentrate to dryness

ნახ.30 დანადგარის ცალკეული კვანძები.

Vivaspin 6 განკუთვნილია 2 –6 მლ., Vivaspin 20 კი – 20მლ. მოცულობებისათვის. ორივე დანადგარში გამოიყენება ვერტიკალური მემბრანები. Vivaspin 20 გამოყენების დროს შეიძლება დამატებითი მოდულის გამოყენება დიაფილტრაციისათვის, რაც გვადლევს საშუალებას ერთ საფეხურზე მოვამოროდ მიკრომოლეკულების დამაბინძურებელი მარილები. წნევის ქვეშ რეჟიმის ფილტრაციის გამოყენებით იზრდება პროცესის სიჩქარე.

Vivaspin–თან მუშაობის დროს იყენებენ მუდმივი და ცვალებადი კუთვის როტორებს. ერთ სვლაზე ხსნარი კონცენტრირდება 100 ჯერ, 10–30 წუთის განმავლობაში და მაკრომოლეკულები კავდება 95%–ით. მემბრანის სიგრძივი ორიენტაცია და წვრილი დამაკონცენტრირებელი არხები უზრუნველყოფენ ტანგენციალური ნაკადის პირობებს, ფილტრატი გროვდება ჭურჭლის ფსკერზე. კონცენტრატი გროვდება მემბრანის დონის ქვემოთ მყოფ მოცულობაში, რის შედეგად ფილტრატი არ შრება და არ იკარგება. თუ Vivaspin 20 –ში ვერ იყენებენ ცენტრიფუგირებას, მაშინ გამოიყენება ჭარბი წნევის ძალა. აგრეთვე უფრო ჩქარი ფილტრაციისათვის შეიძლება ორივე ხერხის გამოყენება: წნევა ცენტრიფუგირება. ამ რეჟიმს იყენებენ ისეთი სქელი სითხეების, როგორც არის მაგ., შრატის, დაბალ ტემპერატურებზე გასაფილტრად, ან ფილტრაციის მაღალი სიჩქარეების მისაღწევად.



Vivaspin 20 Diafiltration



Diafiltration cup is filled with buffer solution (Product No: VSAC05)

During concentration, solvent in sample is continuously replaced by fresh buffer solution.

Salts and contaminants are progressively cleared through membrane and into filtrate vessel

ულტრაფილტრაციული კონცენტრატორი Vivaspin 20 :

ნახ.31 წნევით

ნახ.32 დიაფილტრაციით.

1.6.7 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow50 (Vivascience)

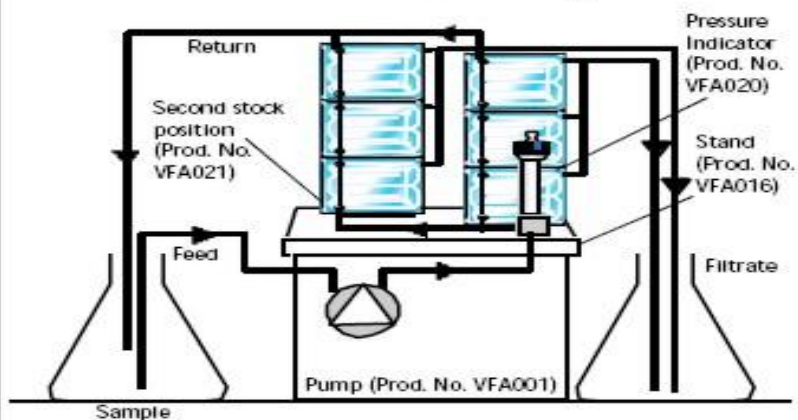
VivaFlow50 – უახლესი ტანგენციალური ფილტრაციის მოდულური სისტემაა, რომელიც უზრუნველყოფს სხვა სისტემებთან შედარებით, კონცენტრირების დიდ სიჩქარეს. ეს მიიღწევა უნიკალური წვრილი არხების გამოყენების ხარჯზე, რითაც ტანგენციალური ნაკადის გაზრდილი ტურბულენტობა უერთთება ტუმბოს მიმართ წაყენებულ მინიმალურ მოთხოვნებს. რამოდენიმე წუთში საწყისი მოცულობა–100მლ. დაკონცენტრირდება 10ჯერ. ერთი მოდულის გამოყენებით 45 წუთში 500მლ. მოცულობა შემცირდება 20 მლ–მდე; ექვსი შეერთებული მოდულით შეიძლება 6ლ. დაკონცენტრირება 50 ჯერ. Vivascience გამოიყენებს მაღალხარისხივან მემბრანებს პოლიეთერსულფონიდან და რეგენერირებული ცელულოზისაგან. ამ ორივე ტიპის მემბრანების გამოყენებით იქმნება მაღალი ნაკადის და ცილის დაბალი შეკავშირების კომბინაცია, არასპეციფიკური აბსორბციის ძალიან დაბალი დონით. პოლიეთერსულფონის მემბრანებს არა აქვთ ჰიდროფობური ან ჰიდროფილური ურთიერთქმედებები და მათ მცირე გაჭედვის, მაღალი ნაკადის, pH–ს ფართო ინტერვალის და მექანიკური მდგრადობის გამო ანიჭებენ უპირატესობას მემბრანები რეგენერირებული ცელულოზისაგან უფრო ჰიდროფილურია, მაღალი ამორჩევითი უნარის და მარტივი გაწმენდის გამო. გამოიყენება მემბრანები, რომლებიც აკავებენ 10000, 30000 და 100000 მოლეკულური მასის ნივთიერებებს.



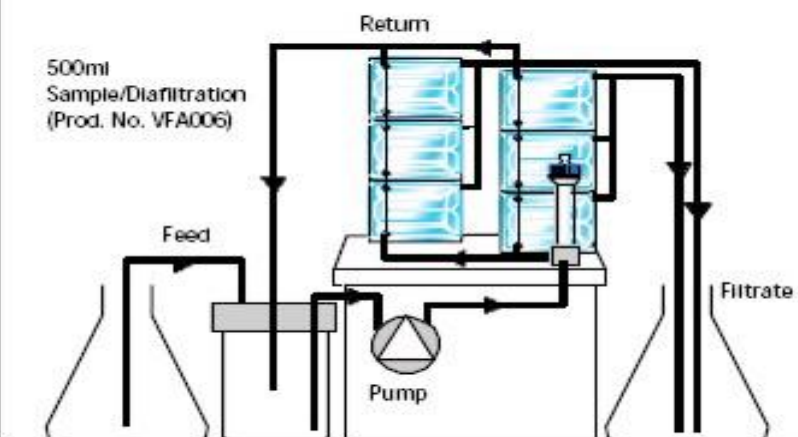
ნახ.33 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow50 (Vivascience)

VivaFlow50 (Vivascience) სამუშაო სქემები მოცემულია ნახ. 34–38.

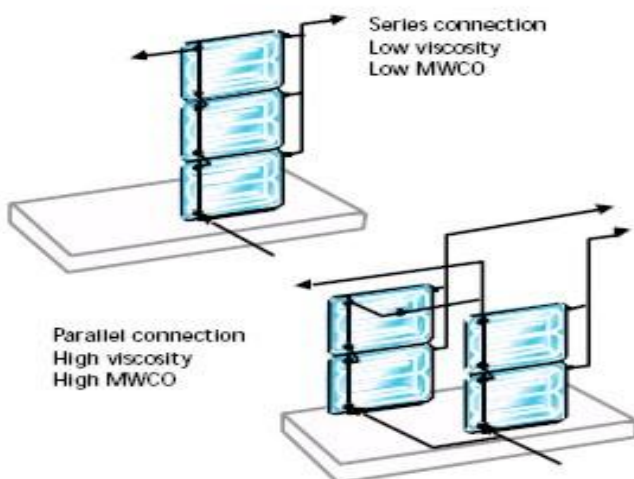
Linked Modules - Batch Processing



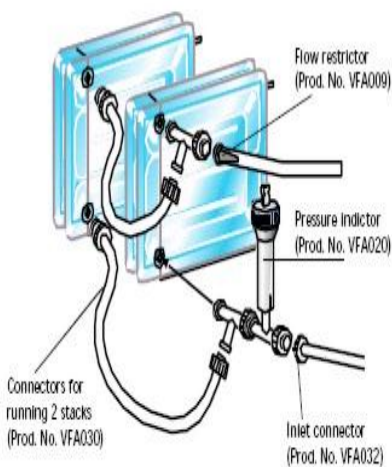
Using Recirculation Reservoir



Optimising Flowpath

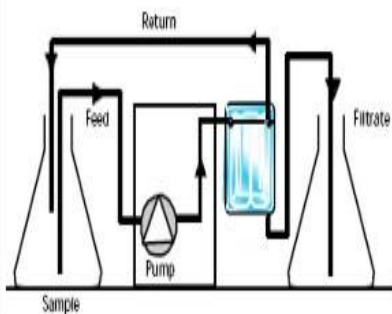


Linking Modules in Parallel



Single Module - Batch Processing

See ordering information for pump head options

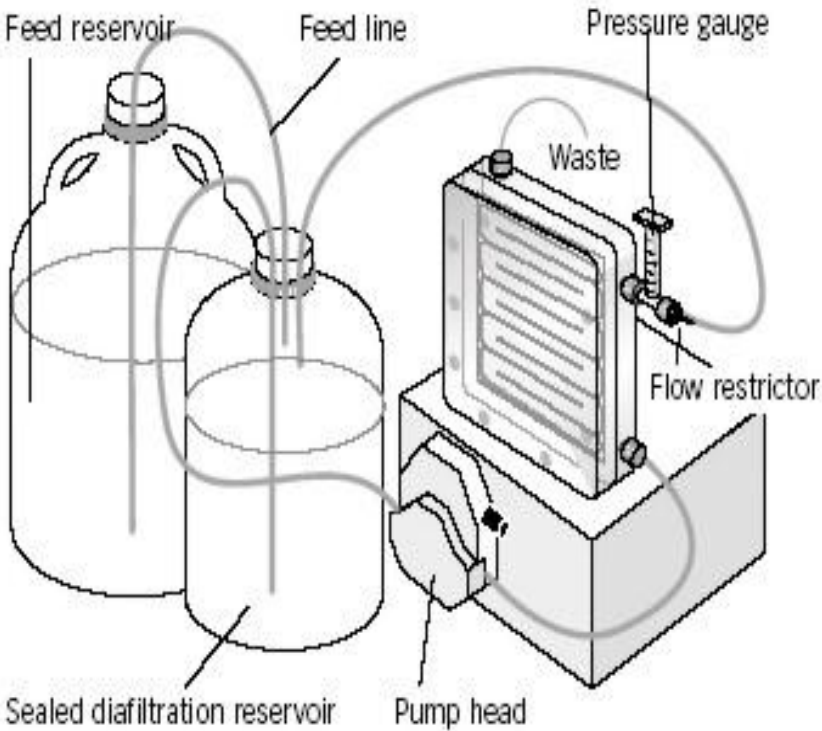


1.6.8 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow200(Vivascience)

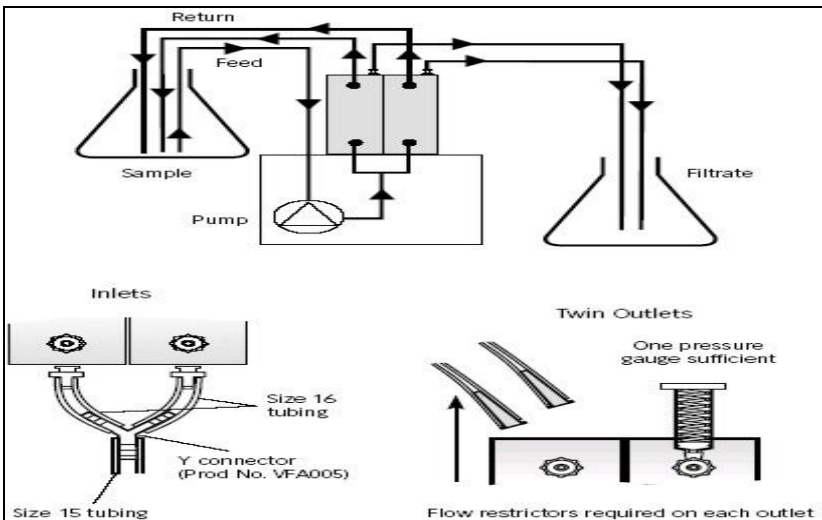
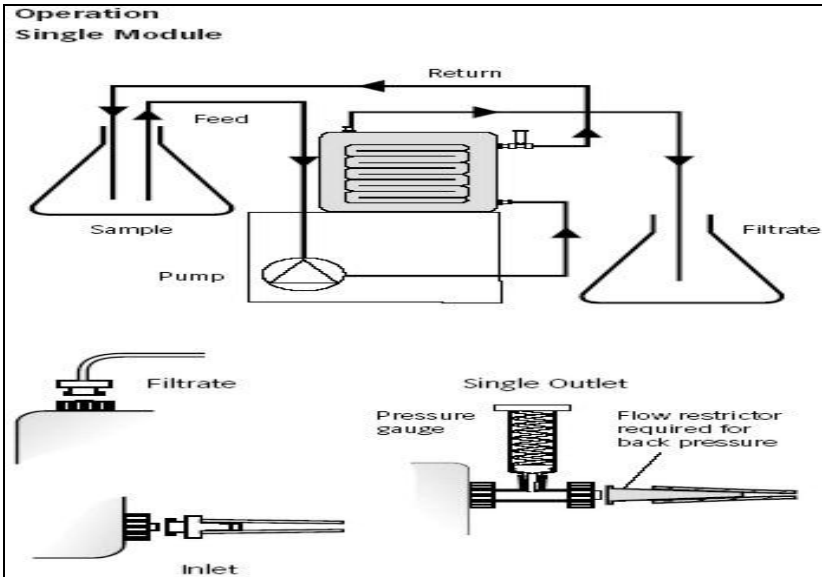
VivaFlow100, როგორც VivaFlow 50 – უახლესი ტანგენციალური ფილტრაციის მოდულური სისტემაა, რომელიც უზრუნველყოფს სხვა სისტემებთან შედარებით, კონცენტრირების დიდ სიჩქარეს. ეს მიიღწევა უნიკალური წვრილი არხების გამოყენების ხარჯზე, რითაც ტანგენციალური ნაკადის გაზრდილი ტურბულენტობა უერთთება ტუმბოს მიმართ მინი-მაღურ მოთხოვნილებებს. ერთი ლიტრის დაკონცენტრირება 50 ჯერ ხდება 30 წუთში. დიდი მოცულობების ჩქარი ფილტრა-ციისათვის (5 და მეტი ლიტრი) ორი მოდულს აერთებენ პარალელურად და 50ლ. დაკონცენტრირება მოხდება 90 წუთში. Vivascience იყენებს მაღალხარისხიან მემბრანებს დამზადებულს პოლიეთერსულფონიდან და რეგენერირებული ცელულოზისაგან, Hydrosart. ყველა ტიპის მემბრანების გამოყენებით იქმნება მაღალი ნაკადის და ცილის დაბალი შეკავშირების კომბინაცია, არასპეციფიკური აბსორბციის ძალიან დაბალი დონით. პოლიეთერსულფონის მემბრანებს არ აქვთ ჰიდროფობური ან ჰიდროფილური ურთიერთ-ქმედებები და მათ ანიჭებენ უპირატესობას გაჭედვის, მაღალი ნაკადის, pH-ს ფართო ინტერვალის და მექანიკური მდგრადობისადმი გამო.

მემბრანები რეგენერირებული ცელულოზისაგან უფრო ჰიდროფილურია და მისაღებია მაღალი ამორჩევითი უნარის და მარტივი გაწმენდის გამო. გამოიენება მემბრანები, რომლებიც აკავებენ 10000, 30000 და 100000 მოლექსულურ მასას.

მემბრანები Hydrosart , დაფუძნებულია დასტაბილიზირებულ ცელულოზაზე. წარმოადგენენ სტაბილურ პოლიმერს ფართო სამუშაო დიაპაზონით და ჰიდროფილურ მასალას, რომელიც უზრუნველყოფს ცილებთან დაბალ დაკავშირებას, ნაკადის მაღალ სიჩქარეს და მდგრადობას დაბინძურებისადმი. დანადგარის სამუშაო ცქემები მოყვანილია ნახ.40,41-ზე.



ნახ.39 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow200(Vivascience



ნახ.40,41 ულტრაფილტრაციული დანადგარის VivaFlow200 (Vivascience) სამუშაო სქემები

1.6.9 ულტრაფილტრაციული დანადგარი წვენის და ღვინის გაფილტვრისათვის

განკუთვნილია სიმღვრივის მოცილებისათვის და [42] წვენების და ღვინის შენახვის ვადის გაზრდისათვის. დანადგარი შედგება სამი მთავარი კვანძისაგან (ნახ.42) :

- წინასწარი გაფილტვრის კვანძი;
- მემბრანული მოდული;
- მემბრანების გარეცხვის კვანძი.
- დანადგარების მწარმოებლურობა შეადგენს 0,5–10,0 მ³ / სთ.



ნახ.42 ულტრაფილტრაციული დანადგარი წვენის და ღვინის გაფილტვრისათვის

კომპანია «Фруктонад Групп» აწოდებს , სხვადასხვა ხილიდან მიღებული წვენების და ნექტარების წარმოების, ასეფტიკური ჩამოსხმის, წვენების პირდაპირი გაწურვის და კონცენტრირებული წვენების წარმოების დანადგარებს.გადამამუშავებელი ხაზების კონცეფცია შეიცავს ყველა საწარმოო პროცესს: ხილის მიღებიდან დაფასობამდე.



Линия переработки яблочного сока с ультрафильтрацией, ароматоулавливателем и вакуумно-выпарной установкой, станцией безразборной мойки (CIP)

ნახ.43 ვაშლის წვენის გადამამუშავების ხაზი ულტრაფილტრაციით, არომატული ნივთიერე-ბების დაკავებით, ვაკუუმ-აორთქლადი დანადგარით და დანადგარის დაშლის გარეშე გარეცხვის სადგურ-რით [42].

ლიტერატურა

1. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. М.: Химия. 1986.
2. Loeb S., Sourirajan S. Sea-water demineralization by means of a semipermeable membrane:
3. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка. 1989.
4. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир. 1999.
5. Zsigmondy R., Bachman W. Ueber neue Filter // Z. anorg. Chem. 1918. Bd. 103, S. 119.
6. Брок Т. Мембранная фильтрация. М.: Мир. 1987.
7. Brun J.-P. Procédes de separation par membranes. Paris: Masson. 1989.
8. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия. 1978.
9. Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат. 1988.
10. Лейси Р., Лоэб С. Технологические процессы с применением мембран. М, Мир. 1976.
11. Карлин Ю.В., Чуйков В.Ю. Деминерализация водных растворов на заряженных наночастицах и ультрафильтрационных мембранах // Коллоид. ж. 1995. Т. 57, № 4, с. 489.
12. Дытнерский Ю.И., Карлин Ю.В. Ионный транспорт через обратноосмотические мембраны в процессе электроосмофильтрации. Граничные слои, встречные ионные
13. Дубяга В.П., Перепечкин Л.П., Каталевский Е.Е.

Полимерные мембраны. М.: Химия. 1981.

14. Lonsdale H.K. The growth of membrane technology // J. Membr. Sci. 1982. V. 10, p. 81.

15. Мартынов Г.А., Старов В.М., Чураев Н.В. К теории мембранного разделения растворов. 1. Постановка задачи и решение уравнений переноса // Коллоид. ж. 1980. Т. 42, № 3, с. 489.

16. Мартынов Г.А., Старов В.М., Чураев Н.В. К теории мембранного разделения растворов. 2. Анализ полученных решений // Коллоид. ж. 1980. Т. 42, № 4, с. 657.

17. Старов В.М., Чураев Н.В. Влияние капиллярного осмоса на фильтрацию и задержку раствора при его течении через тонкие поры // Коллоид. ж. 1987. Т. 49, № 4, с. 707.

18. Первов А. Г., Мотовилова Н. Б., Андрианов А. П. Ультрафильтрация – технология будущего // Водоснабжение и сан. техника. 2001. № 9.

19. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. Status after 10 years of operation – overview of UF technology today // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3-6 October). - 2000. V. 1.

20. Mores W. D., Bowman C. N., Davis R. H. Theoretical and experimental flux maximization by optimization of backpulsing // J. Membr. Sci. 2000. № 165.

21. Miwa T., Yamaki M., Yoshimusa H., Ebina S., Nagayama K. Fibrous textured surface of an ultrafiltration membrane delineated by atomic force microscope // Jap. J. Appl. Phys. 1992. V. 31, p. L1495–L1497.

22. Dietz P., Hansma P.K., Inacker O., Lehmann H.D., Herrmann K.H. Surface and pore structures of micrand ultrafiltration membranes imaged with the atomic force microscope // J. Membr. Sci. 1992. V. 65, p. 101–111.

23. Fritzsche A.K., Arevalo A.R., Connolly A.F., Moore M.D., Elings V.B., Kjoller K., Wu C.M. The structure and morphology of the skin of polyethersulfone ultrafiltration membranes. A comparative atomic force microscope and a scanning electron microscope study // *J. Appl. Polym. Sci.* 1992. V. 45, p. 1945–1956.
24. Fritzsche A.K., Arevalo A.R., Moore M.D., Weber C.J., Elings V.B., Kjoller K., Wu C.M. Image enhancement of polyethersulfone ultrafiltration membranes surface structure for atomic force microscopy // *J. Appl. Polym. Sci.* 1992. V. 46, p. 167–178.
25. Fritzsche A.K., Arevalo A.R., Moore M.D. Examination of membrane surface pore structure by atomic force microscopy, in P. Aimar and P. Aptel (Eds.), *Recent Progresses in Membrane Preparation and Fouling - Emerging Processes*. CPIC, Nancy. 1992. V.6, p. 59–64.
26. Bottino A., Capannelli G., Grosso A., Monticelli O., Cavalleri O., Rolandi R., Soria R. Surface characterization of ceramic membranes by atomic force microscopy // *J. Membr. Sci.* 1994. V. 95, p. 289–296.
27. Bowen W.R., Hall N.J. Properties of microfiltration membranes: mechanisms of flux loss in the recovery of an enzyme // *Biotechnol. and Bioeng.* 1995. V. 46, p. 28–35.
28. Bowen W.R., Hilal N., Lovitt R.W., Williams P.M. Atomic force microscope studies of membranes: Surface pore structures of Cyclopore and Anopore membranes // *J. Membr. Sci.* 1996. V. 110, p. 233–238.
29. Bowen W.R., Filippov A.N., Sharif A.O., Starov V.M. A model of the interaction between a charged particle and a pore in a charged membrane surface // *Adv. Colloid and*

Interface Sci. 1999. V. 81, No. 1, p. 35–72.

30. Филиппов А.Н. Роль поверхностных сил в процессах ультра- и микрофльтрации: М., 1999, 300 с.

31. Fritzsche A.K., Arevalo A.R., Moore M.D., O'Hara C. The surface structure and morphology of polyacrylonitrile membranes by atomic force microscopy // J.Membr. Sci. 1993. V. 81, p. 109–120.

32. Chahboun A., Coratger R., Ajustron F., Beauvillian J. Comparative study of micro- and ultrafiltration membranes using STM, AFM and SEM techniques // Ultramicroscopy. 1992. V. 41, p. 235–244.

33. Bessieres A., Meireles M., Airnar P., Sanchez V., Coratger R., Beauvillian J. Surface analysis of ultrafiltration ultrafiltration membranes by atomic force microscopy, in P. Aimarand P. Aptel (Eds.), Recent Progres en Genie des Precedes // Membrane preparation Fouling – Emerging processes. CPIC, Nancy. 1992. V. 6, p. 111–116.

34. B.W. Lykins, R.M. Clark, J.A. Goodrich. Point-of-use/point-of-use for Drinking Water Treatment. Lewis Publishers, JNC, 1992.

35. Peterson Patrick A. Competing in water treatment market // Water tech-nology. 1998. 36.Рябчиков Б.Е.

Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004.- 301

37. Turan M., Koyuncu I., Topacik D., Ates A. J. Comparative evaluation of nanofiltration and reverse osmosis treatment of an effluent from dairy industry. Environ. Sci. and Health. A. 2000. 35, № 5, p. 741-754.

38. Sergei P. Agashichev & Dmitry V. Falalejev. Modeling

driving force in processes of ultrafiltration of non-Newtonian fluids. Journal of Membrane Science, 2000, 171, 173– 182.

39. Nakajima Mitsutoshi. Kagaku kogaku. Применение мембранной технологии в пищевой промышленности. Chem. Eng., Jap. 2000. 64, № 8, p. 393-396.

40. ულტრაფილტრაცია კვების მრეწველოდაში : <http://www.fermenter.ru>

41. ულტრაფილტრაციული მოდულები და დანადგარები : [http://www.სუპერფილტერ. ru](http://www.სუპერფილტერ.ru)

42. . ულტრაფილტრაციული მოდულები და დანადგარები ვაშლის წვენის წარმოებაში: <http://www.fructonad.ru>

თავი 2. ელექტროდიალიზური აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიური სქემები და პროცესები.მემბრანები და მათი თვისებები.

საზოგადოებისა და ქვეყნის მდგრადი განვითარების პროცესები პირდაპირ არის დაკავშირებული კაცობრიობის ძირითადი გლობალური პრობლემების გადაწყვეტასთან. კერძოდ, არსებობის უსაფრთხოებასთან, მოსახლეობის უზრუნველყოფასთან ეკოლოგიურად სუფთა კვების პროდუქტებით და სასმელი წყლით, სოციალურ-ეკონომიური პრობლემების გადაწყვეტასა და გარემოს დაცვას შორის აუცილებელი ბალანსის შექმნასთან. ეს პრობლემები დაფიქსირებულია გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის (გაერო) კონფერენციის გადაწყვეტილებებში გარემოს დაცვისა და მდგრადი განვითარების საკითხების შესახებ, 1997 წ. ივნისში.[1]

ბოლო დროს რეალიზებული თანამედროვე ტექნოლოგიები – სხვადასხვა ნივთიერებებისა და მასალების მიღების, ნარჩენებისა და ჩამდინარე წყლების გადამუშავების, ზრდიან ნარჩენების საერთო მოცულობას. არსებული მსოფლიო სტატისტიკა მოწმობს, რომ დღეისათვის საწყისი ნედლეულის მხოლოდ 7-12% გარდაიქმნება საბოლოო პროდუქტად, ხოლო მისი დაახლოებით 90% , წარმოებისა და მოხმარების სხვადასხვა სტადიაზე გადადის ნარჩენებში [1]. ეს ნარჩენები, იმავდროულად შეიძლება წარმოადგენდნენ ძვირფას ნედლეულს ან ნახევარფაბრიკატს,

რომლის გადამუშავებაც შეიძლება რამდენჯერმე უფრო რენტაბელური იყოს, ვიდრე სტანდარტული ნედლეულის, რა თქმა უნდა, ეკოლოგი-ურად უსაფრთხო ტენოლოგიის რეალიზაციისა და მაღალხარისხოვანი, კონკურენტუნარიანი პროდუქტის მიღების პირობებში. ამასთან დაკავშირებით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ XXI საუკუნეში მნიშვნელოვანი ადგილი დაეთმოა ეკოლოგიურად უსაფრთხო, და რაც მთავარია, მასალებისა და ნარჩენების გადამუშავების ეკონომიურად მცირეხარჯიან და ტექნოლოგიურად დასაბუთებული პროცესების შექმნას და მათ ბაზაზე საზოგადოებისათვის სასარგებლო და აუცილებელი პროდუქტების მიღებას [1].

ასეთ ტექნოლოგიურ პროცესებს შორის ერთ-ერთ პირველს განეკუთვნება მემბრანული პროცესები. მსოფლიო ეკონომიკის განვითარების პროგნოზებში მემბრანული ტექნოლოგია განიხილება როგორც მომავლის ტექნოლოგია. ეკონომიურად განვითარებულ ქვეყნებში მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენების ყოველწლიური მოცულობა იზრდება 20–25%–ით. მემბრანულმა ტექნოლოგიებმა მთელ მსოფლიოში დაამტკიცეს თავისი უპირატესობა გაზებისა და სითხეების ნარევების დაყოფის, გაუმარილებისა და დაკონცენტრირების ტრადიციულ ტექნოლოგიებთან შედარებით. თავდაპირველად მემბრანული ტექნოლოგია გამოყენებული იყო წყლის გაუმარილებისათვის და დღემდე იგი რჩება მისი გამოყენების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სფეროდ. ჯერ კიდევ 1980 წელს დედამიწაზე მიღებული გაუმარილებული წყლის ნახევარზე მეტი მოდიოდა მემბრანულ მეთოდებზე.

ამჟამად, მემბრანული პროცესები გამოიყენებიან ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში. მათი გამოყენება უზრუნველყოფს ისეთი მსხვილი პრობლემების გადაწყვეტის მაღალეფექტურობას, როგორცაა: მასალების, ნედლეულისა და ენერგობა-რჯების შემცირება, სათბობისა და ენერგეტიკული პოტენციალის გაზრდა, სურსათითა და მტკნარი წყლით უზრუნველყოფა, გარემოს დაცვა და სხვა.

ისტორიულად ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში შედარებით ფართო განვითარება ჰპოვა ელექტრომემბრანულმა ტექნოლოგიებმა, და პირველ რიგში, - ელექტროდიალიზმა, რომელიც პირველი განვითარდა სხვა მემბრანულ მეთოდებს შორის [2].

ელექტროდიალიზი - ეს არის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრული ველის გავლენით იონების მიმართულ მოძრაობაზე სისტემაში იონმიმოცვლითი მემბრანებით დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ელექტროდებისაკენ [3]. ამ მეთოდის უპირატესობას იონმიმოცვლით ტექნოლოგიასთან შედარებით, რომელიც ზოგ შემთხვევაში იგივე ამოცანებს წყვეტს რასაც ელექტროდიალიზი, წარმოადგენს ის რომ, იგი არ საჭიროებს ქიმიური რეაგენტების ჭარბი რაოდენობით მოხმარებას მემბრანებისა და ელექტროდიალიზური დანადგარის რეგენერაციისათვის; ადვილია პროცესის ავტომატიზირება და უწყვეტად ჩატარება; მცირეა მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯი.

მარტივი ელექტროდიალიზური პროცესის შესწავლა, არასელექტიური მემბრანებით დაიწყო გასული საუკუნის დასაწყისში გერმანიაში. Mმაგრამ, ამ

პროცესმა პრაქტიკაში ვერ ჰპოვა გამოყენება მანამ, სანამ არ იქნა მიღებული და ნაჩვენები მაღალ-სელექტიური მემბრანების გამოყენების უპირატესობა. 1940 წელს პირველად იყო შემოთავაზებული მრავალკამერიანი ელექტროდიალიზური პროცესი ორ ელექტროდს შორის განთავსებული ანიონ- და კათიონ-სელექტიური მემბრანებით. ამის შემდეგ, უკვე ბევრ ქვეყანაში დაიწყო კვლევები ელექტროდიალიზის სფეროში, [4]. კერძოდ, მარილიანი წყლების დემინერალიზაციის მიმართულებით. შემუშავდა ზღვის წყლის დაკონცენტრირების ელექტრო-დიალიზური პროცესი

1952 წლის თებერვალში ბოსტონში კორპორაცია „Иионикс“-ის კომპანიამ დემონსტრირება გაუკეთა ზღვისა და მარილიანი წყლების გაუმარილების რადიკალურად ახალ მეთოდს. ეს მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებდა ელექტრული დენის გამოყენებას მარილთა იონების მოძრაობისათვის სისტემაში პოლიმერული მემბრანებით, პირველად იწოდა ელექტრო-დიალიზად [5].

ელექტროდიალიზური პროცესების შესწავლა ყოფილ საბჭოთა კავშირში დაიწყო 1932 წლიდან, როდესაც სანკტ-პეტერბურგის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ელექტროდიალიზი მილისებური კერამიკული მემბრანებით გამოიყენეს მდინარე ნევას გაუმარილებისათვის .

მემბრანების დაბალი სელექტიურობის მიუხედავად, მიღებული იყო გაუმარილებული წყალი 1 მეგა ომი \times სმ ელექტრული წინააღმდეგობით, 6 კვტ.სთ/მ³ ენერგოხარჯის დროს. მოგვიანებით მიღებული იყო ჰეტეროგენული იონმიმოცვლითი მემბრანები წვრილად

დაქუცმაცებული იონმიმოცვლითი ფისებისა და პოლიეთილენის ფხვნილის დაპრესვით [6]. აღნიშნული მეთოდი სრულყოფილი იყო ვ.ს. ტიტოვისა და სხვ. მიერ და ე. შოკინოში (რუსეთი) ორგანიზებული იყო ჰეტეროგენული კათიონ- და ანიონ მიმოცვლითი მემბრანების წარმოება [7]. მოგვიანებით ათვისებული იყო ჰომოგენური და ბიპოლარული მემბრანების წარმოება [8,9].

2.1 იონიტური მემბრანების მიღების მეთოდები.

სინთეზური იონმიმოცვლითი მემბრანები შედგებიან ნახშირწყალბადოვანი ჯაჭვების მატრიცისაგან, რომელიც შეიცავს ფიქსირებულ იონოგენურ ჯგუფებს. როცა ფიქსირებული ჯგუფები მჟავური ბუნებისაა, მემბრანა იწოდება კათიონმიმოცვლით მემბრანად, ხოლო ფუძოვანი ბუნების შემთხვევაში - ანიონმიმოცვლით მემბრანად.

ჰეტეროგენული მემბრანები წარმოადგენენ სამკომპონენტო სისტემებს. გარდა იონიტისა ისინი შეიცავენ შემკვრელ მასალას და მემბრანებისათვის სიმტკიცის მისანიჭებლად - არმირებად მასალას. იონიტის ნაწილაკები შემკვრელ მასალაში შეიძლება შეყვანილი იყოს რამდენიმე ხერხით:

- მშრალ შემკვრელ მასალას და იონიტის ფხვნილს აურევენ და განსაზღვრული წნევისა და ტემპერატურის პირობებში დაპრესავენ თხელი ფურცლების სახით;

- შემკვრელი მასალა გადაჰყავთ ნახევრადთხევად პლასტიკურ მდგომარეობაში, შემდეგ უმატებენ იონიტს, კარგად აურევენ და გაატარებენ ვალცებზე;
- წვრილად დაქუცმაცებულ იონიტს აურევენ აქროლად გამხსნელში გახსნილ შემკვრელ მასალაში. მიღებულ ნარევს შემდეგ ასხამენ არმირებად ნაჭერზე და ღებულობენ მემბრანას.

მემბრანის მიღების მეთოდისაგან დამოუკიდებლად ყველა განხილულ შემთხვევაში, უკვე პროცესის დასაწყისში იონიტი იმყოფება წყალში უხსნად მდგომარეობაში, ხოლო შემკვრელი მასალა M თერმო-პლასტიკურია ან იმყოფება ნაწილობრივ პოლიმერულ მდგომარეობაში. სრული პოლიმერი-ზაცია წარმოებს მემბრანის მიღების პროცესის დროს.

ამ მეთოდებით მიღებულ მემბრანებში იონიტის ნაწილაკის ზომები არ აღემატება 100 მიკრონს. კვარცი ელექტროგამტარი მემბრანის მისაღებად, აუცილებელია იონიტის მაღალი შემცველობა (65%-ზე მეტი). მაგრამ, იონიტის კონცენტრაციის გაზრდა-სთან ერთად მცირდება მემბრანის მექანიკური სიმტკიცე.

ჰეტეროგენული მემბრანის წყალხსნარში მოთავსებისას იონიტი განიცდის ძლიერ გაჯირჯვებას, . მისი ორი კომპონენტი – იონიტი და შემაკავ-შირებელი მასალა გაჯირჯვებისას მნიშვნელოვნად იმატებს მოცულობაში, მაშინ როცა არმირებადი მასალის მოცულობა იცვლება უმნიშველოდ. ყოველივე ეს მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მემბრანის მექანიკურ თვისებებზე [10,11]. ამიტომ, მემბრანაში იონიტის

განაწილება და მისი კონცენტრაცია ისეთი უნდა იყოს, რომ გაჯირჯ-ვებისას მემბრანა არ უნდა იშლებოდეს, ტყდებოდეს და ილუნებოდეს.

ჩვეურობითი მემბრანებისათვის დამახასიათებელი ნაკლოვანი მხარეების აღმოსაფხვრელად შემუშავებული იყო მათი მიღების ახალი ტექნოლოგია. ამ ტექნოლოგიით: წყალში უხსნადი იონიტის დისპერგირებას ახორციელებენ ელექტრო-გაუმტარ შემკვრელ მასალაში; იონიტისა და შემკვრელი მასალის ფარდობას იღებენ ოპტიმა-ლურზე უფრო მეტს; იონიტს აქუცმაცებენ ჩვეუ-ლებრივზე უფრო წვრილად; შემკვრელ მასალაში დისოციაციის უნარის მქონე ჯგუფების შეყვანის მიზნით მმიღებულ მემბრანებს შემდეგ ამუშავებენ რეაგენტებით [12].

ამ მეთოდის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მემბრანები ისეთ პირობებში მუშავდება, რომ-ლის დროსაც შემკვრელი მასალა მთლიანად მოდიფიცირდება. E

ელექტროქიმიურად ინერტული შემკვრელი მასალის იონიტში გადასვლის ხარისხი ისეთი უნდა იყოს, რომ მემბრანა არ უნდა იჯირჯებოდეს ხსნარში და ინარჩუნებდეს მნიშვნელოვან სიმტკიცეს. ჩვეურობითი მემბრანების მექანიკური სიმტკიცის გაზრდისათვის მათ უკეთებენ არმირებას ნეილონის ან კაპრონის ნაჭრით, რომელიც იცავს მემბრანას დაშლისაგან გაჯირჯვების დროს [13].

მამკვარად, ჩვეურობითი მემბრანები წარმოადგენენ სამკომპონენტო სისტემას, ფორმირებული არიან წვრილად დისპერსიული იონიტისა და ინერტიული პოლიმერული შემკვრელი მასალისაგან

შემდგარი კომპოზიციიდან და მექანიკური სიმტ-კიცის ამაღლებისათვის მემბრანების შიგნით დაპრ-ესილია არმირებადი მასალა არამჭიდრო ქსოვილის ნაჭრის სახით [14-22]. ცხადია, ჰეტეროგენულ მემბრანებში იონმიმოცვლითი კომპონენტი არ წარმოადგენს მთლიან ფაზას, იონების გადატანა ხორციელდება იონიტის ნაწილაკებს შორის კონტაქტით ,ან ნაწილაკებს შორის არსებული ხსნარით, ან განპირობებულია ორივე ფაქტორით [9,23].

ჰომოგენურ მემბრანებს ჩვეულებრივ ამზადებენ პოლიმერულ მასალებზე ვინილური მონომერების (მაგ, სტიროლის) დამყნობით და შემდგომ სულფირებით ან ფოსფორირებით– კათიონიტური მემბრანებისათვის, ან თანმიმდევრული ქლორმეთილირებით და ამინირებით –ანიონიტური მემბრანებისათვის.

ჰომოგენურ მემბრანებში იონმიმოცვლითი კომპონენტი წარმოქმნის ერთ მთლიან ფაზას სტრუქ-ტურაში. ასეთი მემბრანები შეიძლება მიღებული იყოს ფიქსირებული ჯგუფების შემცველი მონომერების უბრალო პოლიკონდენსაციით მჟავა- ან ტუტეგამძლე საფენებზე, რომლებზეც წარმოებს მემბრანების ჩამოსხმა [12].

ღქიმიურად და თერმულად მტკიცე მემბრანებს ღებულობენ შემკვრელი აგენტის შემცველი არაი-ონური მონომერების დამატებითი პოლიმერიზაციით და შემდეგ მჟავა არეში დაყოვნებით. მაგალითად, ძლიერი კათიონმიმოცვლითი თვისებების მინიჭებისათვის მემბრანას ათავსებენ კონცენტრირებული გოგირდმჟავას ხსნარში.ანიონიტურ მემბრანებში ფუძე იონოგენური ჯგუფები შეიძლება შეყვანილი

იყოს ქლორმეთილირებით და შემდგომ ალკილამინირებით ან ამონიუმით დამუშავების გზით.

აღნიშნული მეთოდის საპირისპიროდ, ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანა შეიძლება დამზადებული იყოს ხაზოვანი პოლიელექტროლიტისა და ხაზოვანი ინერტული პოლიმერის შემცველი ჩამოსასხმელი ხსნარის აორთქლებით. ასეთი მემბრანები პრაქტიკულად უხსნადი არიან წყალხსნარებში. ამ მეთოდით მემბრანის მიღების დროს გამხსნელი უნდა წარმოადგენდეს პოლარული და არაპოლარული კომპონენტების ნარევეს, რომ მან შეძლოს ჰიდროფილური პოლიელექტროლიტის ისევე კარგად გახსნა, როგორც ჰიდროფობური ინერტული პოლიმერისა [12]. ამ მეთოდით მემბრანების მიღების დროს აუცილებელია დაცული იყოს პოლიელექტროლიტისა და უხსნადი პოლიმერის თანაფარდობა. მაგალითად, პოლიელექტროლიტის სიჭარბე იწვევს მემბრანის თვისებების ცვლილებას (ხდება წყალში არამდგრადი). მემბრანაში პოლიელექტროლიტის რაოდენობა ჩვეულებრივ მერყეობს 15%-დან 30%-მდე [3].

ჰომოგენური მემბრანები ხასიათდებიან ნაკლები მექანიკური მდგრადობით, ამიტომ მათი ექსპლუატაციური თვისებები უფრო დაბალია, ვიდრე ჰეტეროგენური მემბრანებისა. აღსანიშნავია, რომ მემბრანების მიღების ზოგიერთი მეთოდი, რომელიც კარგად არის დასაბუთებული ქიმიურად, ხშირად ვერ პასუხობს პრაქტიკულ მოთხოვნებს. კერძოდ, ვერ უზრუნველყოფს მემბრანების მექანიკურ სიმტკიცეს და მათი დიდი ზომის ფურცლების სახით წარმოებას,

რომლის დროსაც მემბრანის მთელ მოცულობაში დაცული იქნება თვისებების ერთგვა-როვნება.

მაღალი ხარისხის მემბრანების მიღების მიზნით მუდმივად წარმოებს მათი მიღების ახალი ხერხებისა და მასალების ძიება, ასევე, უკვე არსებული მეთოდების სრულყოფა . ამ სფეროში წამყვან ფირმებს მიეკუთვნებიან:

«Асахи Гласс », « Асахи Кемикал инд », «Токуяния Сода » (იაპონია), „ Ионикс», « Америкен Машинз энд Фундри комп « , (აშშ) და სხვა [24]. მათ მიერ გამოშვებული მემბრანები არ წარმოადგენს ქ. შოკინოში (რუსეთი) წარმოებული მემბრანების ანალოგებს, მაგრამ მათი გამოყენების სფეროები ერთნაირია . კერძოდ, წარმოებული მემბრანების ასორტიმენტი ელექტროლიტთა ხსნარების დემინერალიზაციისა და დაკონცენტრირების საშუალებას იძლევა [21].

გასული საუკუნის 80-იან წლებში რუსეთში მემბრანული მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის პრიორიტეტულ მიმართულებად გამოცხადებამ საფუძველი ჩაუყარა მემბრანების, მემბრანული ელემენტების და დანადგარების დამზადების ახალი წარმოებების შექმნას (НПО « Кристал » - ქ. ძერჟინსკი, НПО « Полимерсинтез» - ქ. ვლადიმირი და სხვა.) [2].

იონმიმოცვლითი მემბრანების ძირითად ტიპს, რომლებსაც ელექტროდიალიზურ პროცესებში დღემდე იყენებენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში, წარმოადგენს ქ.შოკინოში (რუსეთი) წარმოებული ჰეტეროგენული მემბრანები. მათ მისაღებად გრანულირებულ ფისებს აკონდიციონირებენ, შემდეგ აქუცმაცებენ ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთ-

დაჯახებით შემხვედრ ნაკადში, რომელიც იქმნება შეკუმშული ჰაერით. მიღებული დაქუც-მაცეხული იონიტი ერევა პოლიეთილენის წვრილად დისპერსულ ფხვნილს და ანტიოქსიდანტებს. ჰეტეროგენული MK – 40 ტიპის კათიონიმოცვლითი მემბრანის სერიული წარმოებისათვის ნარევი შეიცავს 65% ძლიერმჟავურ სულფოკათიონიტს, რომელსაც დებულობენ სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერის სულფირებით.

MA-40 ტიპის საწარმოო სერიული ანიონიმოცვლითი მემბრანა შეიცავს 65 % მაღალფუძოვან ანიონიტს, მიღებულს სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერის ქლორმეთილირებით და შემდგომი ამინირებით- ტრიმეთილამინით. ეს იონიტი შეიცავს მხოლოდ ბენზილტრიმეთილამინურ ჯგუფებს. მომზადებული წვრილად დისპერსული ნარევი განიცდის ვალცირებას ფურცლებში 140°C ტემპერატურაზე. იონიტის ფურცლები პოლიეთილენთან ერთად იპრესება ნეილონის ან კაპრონის არმირებად ნაჭერთან $350\text{ სმ} \times 450\text{ სმ}$ ზომის ფურცლებში, $250\text{-}295$ ატმ წნევისა და 140°C ტემპერატურის პირობებში.

ქ. შოკინოში მცირე პარტიების სახით, დაკვეთით მზადდება სხვა ტიპის ჰეტეროგენული მემბრანებიც, როგორცაა : იზოფოროვანი MA –41 II მარკის მემბრანები, რომლებიც წარმოადგენენ ანიონიტური MA – 41 მემბრანის ანალოგებს; MK – 41 კათიონიტური მემბრანები - დამზადებული ფოსფორმჟავური კათიონიტის საფუძველზე და ბიპოლარული მემბრანები : MB – 1 - მიღებული MK – 40 და MA – 40 მემბრანების

დაპრესვით და MB -3 მემბრანები - დამზადებული MK-41 და MA - 41 მემბრანების დაპრესვით [2,4].

ზემოაღნიშნული ტექნოლოგიით დამზადებული ჰეტეროგენული მემბრანების თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ელექტროდიალიზის დროს იძულებითი გამოშრობის შემდეგ, მათ ახასიათებთ მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შექცევადობა.

დღეისათვის ძნელია მიეცეს ობიექტური შეფასება მემბრანების მიღების შემოთავაზებულ და სხვა მეთოდებსაც, რომლებიც გამოიყენებიან მემბრანების საცდელი ნიმუშების მისაღებად ლაბორატორიული კვლევისათვის. ამიტომ, გაცემას არ იწვევს ის ფაქტი, თუ რატომ ეძებს მრავალი მკვლევარი ახალ გზებს საუკეთესო თვისებების მქონე მემბრანების მისაღებად.

2. 2 იონიტური მემბრანების სტრუქტურა და თვისებები.

იონიტური მემბრანების გამოყენება ამა თუ იმ პროცესში წარმოებს მათი თვისებებიდან გამომდინარე. მემბრანის ფიზიკო-ქიმიური თვისებები დიდად არის დამოკიდებული მემბრანის შედგენილობაზე, ბუნებასა და მიღების ტექნოლოგიაზე.

იონმიმოცვლითი მემბრანები წარმოადგენენ უხსნად პოლიელექტროლიტებს. ისინი ხასიათდებიან იონური გამტარობით და გააჩნიათ უნარი აწარმოონ მიმოცვლითი რეაქციები ხსნარის იონებთან.

იდეალური მემბრანა უნდა ხასიათდებოდეს : მცირე ტენშემცველობითა და ხსნარში მცირე გაჯირჯვების უნარით, მაღალი ელექტროგამტარობითა და სელექტიურობით, ქიმიური მდგრადობითა და მექანიკური სიმტკიცით, რომელიც უზრუნველყოფს მემბრანის ხანგრძლივი დროით ექსპლუატაციას.

მემბრანების ფიზიკო-ქიმიური თვისებების გამოკვლების დროს თვლიან, რომ ისინი საკმაოდ ერთგვაროვანი არიან. მაგრამ დღეისათვის დად-გენილია, რომ ეს ასე არ არის. უფრო მეტიც, აღმოჩნდა რომ იონიტური მემბრანების ზოგიერთი თვისება განისაზღვრება მათი აგებულებით.

მემბრანის სტრუქტურის არაერთგვაროვნებაზე მიუთითებს [7] ნაშრომში მოყვანილი მონაცემები, საიდანაც ჩანს, რომ მემბრანების ელექტროგამტარობა მნიშვნელოვნად მცირდება ელექტროლიტის განზავების შემთხვევაში. ეს გამოწვეულია იმით, რომ იონიტი შედგება ფიქსირებული ჯგუფების მაღალი და დაბალი კონცენტრაციის მქონე მონაკვეთებისაგან, რომლებზედაც წარმოებს დასაყოფი ხსნარის იონების გადატანა. ცხადია, რომ ამ იონების განაწილება მონაკვეთებს შორის დამოკიდებული უნდა იყოს ხსნარის კონცენტრაციაზე. მცირედ იონიზირებული ჯგუფების შემცველი იონიტების ელექტროგამტარობის ცვლილება ხსნარის pH –გან დამოკიდებულებით, ასევე არ შეიძლება ახსნილი იყოს იმ წარმოდგენების გარეშე, რომელიც ითვალისწინებს იონიტის აღნაგობის არაერთგვაროვნებას. ელექტროლიტის ხსნარში დისოციაციის ხარისხის ცვლილებასთან ერთად იცვლება დენის გადამტანების კონცენტრაცია და პრაქ-ტიკულად არ

იცვლება მათი მოძრაობის სიჩქარე, მაგალითად, სუსტფუძოვან ანიონიტში ხსნარის pH –ის გაზრდისას მცირდება არა მარტო დისოციაციის ხარისხი, ე.ი. დენის გადამტანების კონცენტრაცია, არამედ ასევე უკუიონების ერთი ფუნქციონალური ჯგუფიდან მეორეზე გადასვლის ალბათობა [25]. როგორც ჩანს, ამით აიხსნება ელექტროგამტარობისა და ტევადობის შეუსაბამობა. მაგალითად, ხსნარის pH –ის ცვლილებისას 3,5-დან 10-მდე AH-18-ში, ანიონიტის ელექტროგამტარობა მცირდება თითქმის 25-ჯერ, მაშინ როცა ქლორის მიმართ ტევადობა მხოლოდ 4,8-ჯერ [25].

იონიტების სტრუქტურის შესწავლას აწარმოებენ სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით. განსაკუთრებით ფართო გამოყენება ჰპოვეს ოპტიკურმა და ელექტრომიკროსკოპულმა მეთოდებმა . ამ და სხვა მეთოდებით დადგენილი იყო მემბრანების არაერთგვაროვნება. ასე მაგალითად, [26] ნაშრომის ავტორმა იონმიმოცვლითი მემბრანა მოათავსა ელექტროდთან ახლოს და დაამუშა ვერცხლით. ამის შემდეგ მემბრანის ზედაპირის პარალელურად გაკეთდა ჭრილი, რომელსაც აკვირდებოდა მიკროს-კოპში. აღმოჩნდა, რომ ვერცხლის კრისტალებს, რომლებიც შევიდნენ იონიტში, ჰქონდათ სხვადასხვა ზომები. ავტორი ამას ხსნის მემბრანაში სხვადასხვა ზომის ფორების არსებობით.

მეორე მეთოდი, რომლითაც ასევე დგინდება იონიტების არაერთგვაროვნება, დაფუძნებულია მემბრანის შიგნით მარილთა ნალექების წარმოქმნაზე [27]. მაგალითად, ანიონიტური მემბრანები Cl^- ფორმაში

წარმოქმნიან ნალექს მათი ვერცხლის მარილით დამუშავების დროს. ანალოგიურად კათი-ონიტური მემბრანები Ag + ფორმაში ქრომა-ტებთან ან ჰალოგენებთან ურთიერთქმედებისას ასევე იძლევიან უხსნად მარილებს. ასე დამუშავებული მემბრანების ჭრილების შესწავლამ ელექტრონულ მიკროსკოპში ასევე აჩვენა, რომ ნალექი მემბრანაში წარმოიქმნება სხვადასხვა ზომის დისპერსული ნაწილაკების სახით. ეს ასევე ამტკიცებს იონიტში სხვადასხვა ზომის ფორების არსებობას.

სამუშაოთა უმრავლესობა, რომლებიც ეხება მემბრანის არაერთგვაროვნებას დაფუძნებულია მემბრანების ფორიანობის შესწავლაზე. გამონაკლის წარმოადგენს ბლოკის ნაშრომი [28]. მან ამ მიზნით გამოიყენა ნივთიერებები, რომლებსაც გააჩნიათ უნარი იონოგენურ ჯგუფებთან წარმოქმნან შეფე-რილი ნაერთები. მემბრანების გაჯირჯვება ასეთი ნივთიერებებით და მათი ჭრილების შემდგომი შესწავლა მიკროსკოპში, იძლევა საშუალებას ვიმსჯელოთ ფიქსირებული ჯგუფების განლაგებაზე.

დდადგენილია [25], რომ იონიტის დიდი წილის შემცველი მემბრანის წყალში ჩაშვებისას გაჯირ-ჯვების სიდიდე, რომელიც მოდის მშრალი მემბრანის ერთეულ წონაზე მეტია, ვიდრე თვითონ იონიტისა. ასე რომ, მემბრანის სიმკრივე უფრო დაბალია, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო ტენიანი იონიტისა და შემკვრელი მასალის ტენიანობის სიდიდეებიდან გამომდინარე. ასეთი მემბრანის გაჯირჯვებისას წარმოიქმნება ბზარები, რომლებიც ივსება წყლით. იონიტის მცირე შემცველობის შემთხვევაში მემბრანის შექცევადობა და

სიმკრივე უფრო მაღალია, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო. ეს გვაიძულებს ვივარაუდოთ, რომ იონიტის სრულ გაჯირჯვებას ეწინააღმდეგება შემკვრელი მასალა.

P მ. პევნიცკაიამ და სხვ. [29] მემბრანების სტრუქტურა შეისწავლეს რენტგენოსპექტრალური ანალიზის მეთოდით. მათ აჩვენეს, რომ იონოგენური ჯგუფები მემბრანაში განაწილებულია არათანაბრად და, რომ შემაკავშირებელი მასალის გაზრდა იწვევს მემბრანის ჰეტეროგენურობის გაზრდას.

კათიონიტური და ანიონიტური მემბრანების სტრუქტურებს შორის არსებობს მნიშვნელოვანი განსხვავება. იონიტის დიდი შემცველობის მქონე მემბრანის სტრუქტურა მსგავსია ჰომოგენური მემბრანის სტრუქტურისა. ეს მსგავსება ვრცელდება მხოლოდ იონოგენური ჯგუფების განაწილების ხასიათზე მემბრანაში, მაშინ როცა, მაკროსტრუქტურის მიხედვით, რომელიც მოქმედებს მემბრანის მექანიკურ თვისებებზე, ისინი მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან.

მემბრანის თვისებები ასევე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მათი მიღების მეთოდებზე. ასე მაგალითად, ანიონიტური ჰომოგენური MA-100 მემბრანის ელექტროგამტარობა, რომლის საწყისი მატრიცა მიღებულია ექსტრუზიის მეთოდით და შემდგომ დაპრესვით, 10-15%-ით მაღალია, ვიდრე მემბრანისა, რომლის მატრიცა მიღებულია ვალცებზე და შემდგომ დაპრესვით [27].

ნ.ი. ნიკოლაევისა და სხვ. [30] მიერ დადგენილია, რომ მატრიცებში, რომლებიც მიღებულია ერთი და იგივე პოლიმერისაგან ერთნაირი ფუნქცი-ონალური ჯგუფებით, მათი სელექტიურობა თითქმის 3-ჯერ

განსხვავდება იმის და მიხედვით, თუ რა ხერხით და რა პირობებშია მიღებული მემბრანები. M მემბრანის მიღების მეთოდები დიდ გავლენას ახდენს მემბრანის მექანიკურ თვისებებზე. [31]-ის ავტორების მიერ დადგენილია, რომ პოლისტიროლი სტრუქტურირებული დივინილბენზოლით წარმოადგენს მემბრანის აქტიურ შემავსებელს. Mმემბრანის მატრიცაში მყარი კომპონენტის არსებობა ხელს უშლის დიდი დეფორმაციების განვითარებას და დიდ გავლენას ახდენს მემბრანის მექანიკურ მდგრადობაზე.

ამ ეფექტებმა შეიძლება დაარღვიონ თანა-ფარდობა ჰეტეროგენული მემბრანის მიმოცვლით ტევადობასა და მაგალითად, მის ელექტროგამტარო-ბასა და სელექტიურობას შორის. ასე, მემბრანები მაღალი ტევადობით შეიძლება კარგი იყოს, მაგრამ ჰქონდეთ უმნიშვნელო სელექტიურობა წარმოქმნილი ბზარების გამო[13].

ვ.კ. ვარენცოვის [32] მიერ ნაპოვნია. რომ მემბრანაში იონმიმოცვლითი კომპონენტის შედგენილობის გაზრდით იზრდება მიმოცვლითი ტევადობა, სელექტიურობა და მემბრანის ტენშემცველობა. ამასთანავე , მცირდება მემბრანის ელექტრული წინააღმდეგობა. მაგრამ, მემბრანაში ინერტიული კომპონენტის რაოდენობის შემცირებით უარესდება მემბრანის მექანიკური თვისებები.

[33] სამუშაოს ავტორები იკვლევდნენ დივინილბენზოლის (2_20 მასური % დ.ვ.ბ.) გავლენას მემბრანის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე. მათ დაადგინეს, რომ დივინილბენზოლის შემცველობის გაზ-

რდით იზრდება მემბრანის სიმტკიცე გახლეჩის მიმართ.

[34] სამუშაოში დაწვრილებით არის განხილული არმირებადი მასალის შერჩევის აუცილებლობა მემბრანისათვის მექანიკური სიმტკიცის მისანიჭებლად, ვინაიდან სხვა თვისებებთან ერთად მექანიკური თვისებები წარმოადგენს მემბრანის ერთერთ მნიშვნელოვან ექსპლუატაციურ მახასიათებელს.

ჰეტეროგენული მემბრანები ხასიათდებიან მაღალი მექანიკური თვისებებით, მაგრამ ელექტროქიმიური მაჩვენებლებით ისინი ჩამორჩებიან ჰომოგენურ მემბრანებს, რომლებშიც იონმიმოცვლითი კომპონენტი წარმოქმნის ერთიან ფაზას მთელი სტრუქტურის მიხედვით.

მემბრანების მიღების მეთოდებისაგან დამოუკიდებლად აუცილებელია, რომ მემბრანები ხასიათდებოდნენ შემდეგი თვისებებით: მაღალი ქიმიური აქტიურობით, მაღალი სელექტიურობით და კარგი ელექტროგამტარობით; საკმაო ელასტიურობით და მექანიკური სიმტკიცით; მაღალი ქიმიური მდგრადობით, მცირე გამტარობით წყლის მიმართ; მცირე გაჯირჯვების უნარით; თვისებების ერთგვაროვნებით მემბრანის მთელი ზედაპირის მიმართ. გარდა ამისა, მემბრანები უნდა ინარჩუნებდნენ თავიანთ თვისებებს მუშაობის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.

[35]-ში ნაჩვენებია, რომ ჰეტეროგენული მემბრანების “Ralex” -ის დიდი მწარმოებელია “MeGa a.s. Straz pod Ralskem” საწარმო (ჩეხეთი), რომელიც ამზადებს CM და CMH მარკის კათიონიტურ და AM და AMH მარკის ანიონიტურ მემბრანებს. თვლიან, რომ

RALEX –ის მემბრანები გამოირჩევიან კარგი მექანიკური და ელექტროქიმიური თვისებებით. კერძოდ, დაბალი ელექტრული წინააღმდეგობით, მაღალი სელექტიურობის უნარით, მაღალი მდგრადობით აგრესიული ქიმიური ნივთიერებების მიმართ, კარგი თერმომდგრადობით, მუშაობის უნარით pH-ის ფართო დიაპაზონში, სამუშაო არისაგან დამოკიდებულებით ხანგრძლივი (10 წლამდე) ექს-პლუატაციის შესაძლებლობით და სხვა. თვლიან, რომ მეორადი გამოშრობა და გაჯირჯვება არ ვნებს ამ მემბრანებს, გაჯირჯვებულ მდგომარეობაში შესაძლებელია მათი მოლუნვა და ფორმის მიცემა, მაგრამ მშრალ მდგომარეობაში მემბრანები მტკრევადია და არ შეიძლება მათი ძლიერი დეფორმირება. RALEX –ის მემბრანები კარგად ფუნქციონირებენ ელექტრომემბრანულ პროცესებში: ელექტროდიალიზი, ელექტროფორეზი, ელექტროდეიონიზაცია და ელექტროლიზი. აღნიშნული პროცესები გამოიყენება წყლების დასამუშავებლად, ქიმიურ და ფარმაცევტულ წარმოებაში სისტემების :ელექტროლიტი –არაელექტროლიტი დასაყოფად, გახსნილი ნივთიერებების დასაკონცენტრირებლად და ა.შ. [35].

ცნობილია, ჰეტეროგენული და ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანების დიდი ასორტიმენტი. Yმაგრამ, მემბრანების მუშაობისათვის საკმარისი არ არის ის, რომ მათ ჰქონდეთ კარგი საწყისი თვისებები, ასევე აუცილებელია ამ თვისებების სტაბილურობა ექსპლუატაციის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

გარემომცველი არეების მოქმედების შედეგად გარკვეული დროის შემდეგ ადგილი აქვს, მემბრანების

თვისებების გაუარესებას. ამასთანავე, მექანიკური, ელექტროქიმიური, დიფუზიური და სხვა თვისებების ცვლილება ხდება სხვადასხვა სიჩქარით და ამიტომ დანადგარის მუშაობის განმსაზღვრელი ხდება რომელიმე თვისება. მემბრანა-ნამ თავისი მუშაობის უნარი შეიძლება დაკარგოს სხვადასხვა მიზეზების გამო, და ხშირად ამ მიზეზს არ წარმოადგენს თვით მემბრანაში შემავალი რომელიმე კომპონენტის რღვევა. მაგალითად, წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდა არ მოქმედებს თვით მემბრანის თვისებებზე, მაგრამ იწვევს მემბრანული პაკეტის ჰიდრავლიკური ჰერმეტიულობის დაკარგვას.

მემბრანული პაკეტის ჰერმეტიულობის დაკარგვა დაკავშირებულია მემბრანის მატრიცაში შემავალი იონიტის მარცვლების გაჯირჯვების უნარის შემცი-რებასთან და მატრიცასა და მარცვლებს შორის მანძილის გადიდებასთან. ჰერმეტიულობის დაკარგვის შედეგად გაუმარილებისა და კონცენტრირების კამე-რებს შორის ადგილი აქვს ხსნარის ნაკადების ურთიერთგადასვლას [36]. ამ შემთხვევაში მიუხედავად იმისა, რომ მემბრანა როგორც დანადგარის კონსტრუქციული ელემენტი ასრულებს თავის ფუნქციას, იგი არ აკმაყოფილებს ჰერმეტიულობის მოთხოვნას.

იონმიმოცვლითი მემბრანები შეიძლება გამოყენებული იყოს ნივთიერებათა დაყოფისათვის სხვადასხვა სისტემებში და მათ შორის აგრესიულ სისტემებში. აგრესიულ არეებთან გარკვეული კონტაქტის შემდეგ ადგილი აქვს მემბრანების თვისებების გაუარესებას. წყალი და მარილთა წყალხსნა-რები იმ პოლიმერების მიმართ გამოდიან ქიმიურად აგრესიული არეების

როლში, რომლებიც შეიცავენ ადვილად ჰიდროლიზირებულ კავშირებს. ასეთი ხსნარების მოქმედებისას პოლიეთერულ ფისებში წარმოიქმნება შიგა და გარე მიკრობზარები რომლე-ბიც დროთა განმავლობაში გადაიზრდებიან მაკრობ-ზარებად [37].

[38] სამუშაოს ავტორები თვლიან, რომ პო-ლიამიდების საფუძველზე დამზადებული მემბრანები, მათზე წყლისა და მარილხსნარების მოქმედებისას დესტრუქციას განიცდიან მხოლოდ მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

[39] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ აგრესიული არე გავლენას არ ახდენს მემბრანაში შემავალი მაღალი წნევის პოლიეთილენის მექანიკურ თვისებებზე, ვინაიდან მას გააჩნია საკმაოდ მაღალი ქიმიური სტაბილურობა. ავტორების მიერ დადგენილია, რომ არაორგანული არეები, განსაკუთრებით გოგირდ-მჟავა და მარილმჟავა უფრო მეტად აუარესებს არმირებადი მასალის - კაპრონის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს, ვიდრე ლავსანისას.

მემბრანის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურმახასიათებელს წარმოადგენს სელექტიურობა. იონმიმოცვლითი მემბრანებით მიმდინარე პროცესების ეფექტურობა განისაზღვრება სასარგებლო პროდუქტის გამოსავლიანობით, ე.ი მთლიანად ელექტრომემბრანული სისტემის სელექტიურობით.

სელექტიურობის ქვეშ გულისხმობენ სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს მემბრანულ სისტემაში უკუიონების გადატანის რიცხვის გაზრდას თავისუფალ ხსნართან შედარებით. სელექტიურობის ფიზიკური მიზეზი მდგომარეობს იონიტების აღნაგობის თავისე-

ბურებაში. მემბრანაში ფიქსირებული იონების მაღალი კონცენტრაცია ეწინააღმდეგება ხსნარსა და იონი-ტმდიფუზიის მეშვეობით უკუ- და კოიონების კონცენტრაციების გათანაბრებას. ეს აიხსნება იმით, რომ ყოველ ფაზაში ანიონები და კათიონები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ელექტრონი-ტრალობის პირობით. ამის შედეგად ფაზათა საზღვარზე წარმოიქმნება ელექტრული ველი, რომელიც აკომპენსირებს თითოეული სახის იონის მისწრაფებას დიფუზიისადმი და მივყავართ სისტემაში წონასწორობის დამყარებამდე. იონიტსა და ხსნარს შორის ელექტრული პოტენციალების სხვაობის სიდიდეზე, ე.ი. დონანის პოტენციალზე არის დამოკიდებული თუ რამდენად გამოირიცხება მემბრანის ფაზაში კო-იონების და მამასადაამე, სორბირებული ელექტროლიტის მოხვედრის ალბათობა [40].

მემბრანების სელექტიურობის რაოდენობით შეფასებას აწარმოებენ იონების გადატანის რიცხვის განსაზღვრით. მათი განსაზღვრის მეთოდებს ყოფენ ორ ძირითად ჯგუფად: ელექტრომეტრული და პირდაპირი განსაზღვრის ანალიზური მეთოდები. ელექტრომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია მემბრანული სისტემის წონასწორობის ელექტრომამოძრავებელი ძალის, ანუ მემბრანული პოტენციალის განსაზღვრაზე, ხოლო მეთოდების მეორე ჯგუფი კი -- მემბრანის ორივე მხარეს კონცენტრაციის ცვლილების განსაზღვრაზე.

დადგინილია, რომ სელექტიურობა დამოკიდებულია მემბრანის ფუნქციონალური ჯგუფების დი-სოციაციის ხარისხზე, რომელიც თავის მხრივ

დამოკიდებულია მათ ბუნებაზე, იონურ ფორმაზე, შედგენილობაზე, კონცენტრაციაზე, ელექტროლიტის pH-ზე [41-43].

პრაქტიკაში იშვიათად გვაქვს საქმე ისეთ უბრალო ხსნარებთან, რომლებიც შეიცავენ ერთი ტიპის ანიონებს და კათიონებს. ჩვეულებრივ დაყოფას ექვემდებარება ელექტროლიტების რთული შედგენილობის ხსნარები, რომლებიც შეიცავენ ერთი ნიშნის მუხტის სხვადასხვა სახის იონებს. ასეთ ხსნარებში, იონთა მიმოცვლის დროს მემბრანები ამჟღავნებენ სელექტიურობას არა მარტო გარკვეული ნიშნის მუხტის მქონე იონებისადმი (უკუ- იონებისადმი), არამედ გარკვეული სახის უკუ-იონების მიმართაც.

[44] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ მემბრანების სელექტიურობა ელექტროლიტის შერეულ ხსნარში, რომელიც შეიცავს Cl^- -ისა და SO_4^{2-} -ის იონებს, დამოკიდებულია არა მარტო ხსნარის კონცენტრაციაზე, არამედ ასევე მემბრანის არაეთგვაროვნებაზე. აღნიშნული იონების გადატანის რიცხვის კონცენტრაციისაგან დამოკიდებულება შესწავლილი იყო ერთი იონის მუდმივი, ხოლო მეორე იონის ცვალებადი კონცენტრაციების პირობებში. დადგენილია, რომ ორივე ანიონის გადატანაზე მემბრანაში გავლენას ახდენს ხსნარში არსებული ქლორიდების შემცველობა.

[45] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ სელექტიურობა დამოკიდებულია არა მარტო მემბრანის ტიპზე, არამედ ასევე ხსნარის ბუნებაზე. დადგენილია, რომ MMAK-1 და MMAK-2 ანიონიტურ მემბრანებში, ერთნაირი პირობების დროს NO_3^- და SO_4^{2-} იონების გადატანა განსხვავებულია მჟავების და მარილების ხსნარებიდან.

კერძოდ, სულფატების გადატანა 1,5-ჯერ მეტია მჟავების ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$) ხსნარებიდან, ვიდრე მარილთა ($\text{NaNO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$) ხსნარებიდან, ხოლო ნიტრატების გადატანა ნაკლება-დაა დამოკიდებული ხსნარის მჟავიანობაზე.

მემბრანების სელექტიურობა დამოკიდებულია ასევე დენის სიმკრივეზე. [46] სამუშაოში შესწავლილია სულფონური და კარბოქსილური მემბრანების სელექტიურობა კალიუმისა და კალციუმის ქლორიდების შერეულ ხსნარში. დადგენილია, რომ ამ იონების გადატანის რიცხვების ფარდობა დენის სიმკრივის ზრდასთან ერთად მნიშვნელოვნად მცირდება. ანალოგიური დასკვნაა გაკეთებული სხვა ავტორების მიერ [4, 47- 50].

[47] სამუშაოს ავტორების აზრით, შერჩევითი სელექტიურობის შემცირება დენის სიმკრივის გაზრდით გამოწვეულია მემბრანის ზედაპირთან არსებული ხსნარის კონცენტრაციის ცვლილებით. დენის სიმკრივის გაზრდით, იზრდება შედარებით ნაკლებად მოძრავი იონის ზედაპირული კონცენტრაცია და მისი წილი მემბრანაში. ვინაიდან უკუ-იონების ნაკადის ფარდობა მემბრანაში პროპორციულია მათი კონცენტრაციისა, ამიტომ დენის სიმკრივის ზრდასთან ერთად უფრო მოძრავი იონების გადატანის რიცხვი მცირდება და შესაბამისად იზრდება ნაკლებად მოძრავი იონების გადატანის რიცხვი.

პრაქტიკაში ხშირად აუცილებელი ხდება გარკვეული იონების მიმართ მემბრანების შერჩევითი სელექტიურობის შეცვლა. ამ მიზნის მისაღწევად იყენებენ სხვადასხვა ხერხს. ასე, [48] სამუშაოს

ავტორებმა MA-40 მემბრანების სპეცი-ფიკური სელექტიურობის გაზრდისათვის გამოიყენეს მემბრანების ზედაპირზე იონმიმოცვლითი ან ნეიტრალური ფენის დადება. ელექტროდიალიზური დაყოფის პროცესს ექვემდებარებოდა Na_2SO_4 და NaCl ხსნარების ნარევი. ცნობილია, რომ MA-40 მემბრანა შერჩევითად სელექტიურია ქლორის იონების მიმართ [47] . [48] სამუშაოს ავტორებმა დაად-გინეს, რომ საერთო მარილშემცველობის ზრდასთან ერთად იზრდება გადამტანი იონების ნაკადი და მემბრანის შერჩევითი გამტარობა.

[49] -ის თანახმად, თუ MA-40 მემბრანის მიმღები ზედაპირის მხრიდან მიმაგრებულია აცეტატცელულოზური მემბრანა, იონების გადატანის რიცხვი მცირდება, რაც გამოწვეულია ამ ფენასთან მარილების დიფუზიური მიწოდების გაძნელებით. ქლორის იონების დეფიციტი იწვევს სულფატ იონების გაძლიერებულ გადატანას.

[51] სამუშაოს ავტორების მიერ ასევე გამოყენებულია აცეტატცელულოზური მემბრანით MK – 40 მემბრანის დაფარვა. დადგენილია, რომ NaCl –ის და CaCl_2 –ის ხსნარების ნარევიდან მემბრანაში უმეტესად გადაიტანება Ca^{2+} -ის იონები. გაკეთებულია დასკვნა იმის შესახებ, რომ აცეტატცელულოზური მემბრანით MK – 40 მემბრანის ეკრანირება მიზანშეწონილია ისეთი მარილხსნარების ელექტროდიალიზის დროს, რომელთა კონცენტრაცია აღემატება 0,5 გრ.ექვ./ლ.

2.3E ელექტროდიალიზური აპარატების კონსტრუქციები და ტექნოლოგიური სქემები.

იონმიმოცვლითი მემბრანები, რომლებიც ატარებენ მხოლოდ გარკვეული სახის იონებს ელექტროდიალიზურ პროცესებში გამოიყენებიან ამ იონების მოძრაობის რეგულირებისათვის. ელექტრო-დიალიზის დროს მუდმივი ელექტრული ველი იმგვარად მოქმედებს მარილის წყალხსნარში დისოცირებულ კომპონენტებზე, რომ კათოდისაკენ მოძრავი კათიონები გადიან კათიონიტურ მემბრანაში და კავდები-ან ანიონიტური მემბრანის მიერ, ხოლო ანოდისაკენ მოძრავი ანიონები გაივლიან რა ანიონიტურ მემბრანას, კავდებიან კათიონიტური მემბრანით. ელექტრო-დიალიზურ აპარატში კათიონ-ნიტური და ანიონიტური მემბრანების მონაცვლეობით განლაგების შემთხვევაში ადგილი აქვს იონების დაყოფას საწყის ხსნარში. შედეგად, წარმოიქმნება გაუმარილებელი ნაკადი (დიალიზატი) დიალიზატის კამერებში და კონცენტრირებული ნაკადი (კონცენტრატი) -კონცენტრირების კამერებში.

ელექტროდიალიზის სქემა მოცემულია ნახ.1-ზე. ელექტროდიალიზური პროცესის ჩატარების მიზანი შეიძლება იყოს პროცესის დროს მიღებული ერთ-ერთი პროდუქტის (დიალიზატის ან კონცენტრატის) , ან ორივე პროდუქტის მიღება, მაგალითად: როცა დიალიზატი უნდა შეესაბამებოდეს გადაღვრის (მდინარეებში, ზღვებში) ან წარმოებაში დაბრუნების მოთხოვნებს, ხოლო კონცენტრატს უნდა გააჩნდეს

მაქსიმალურად სასარგებლო პარამეტრები შემდგომი გადამუშავებისათვის.

ელექტროდიალიზური აპარატი (ნახ.2) შედგება დამჭერი პლიტების, ორი ელექტროდისა და მათ შორის მოთავსებული მემბრანული პაკეტისაგან, რომელიც აწყობილია მონაცვლეობით განლაგებული კათიონ- და ანიონმიმოცვლითი მემბრანებით, სითხის გამანაწილელებელი ჩარჩოებით და ბადე -ტურბულიზატორებით.

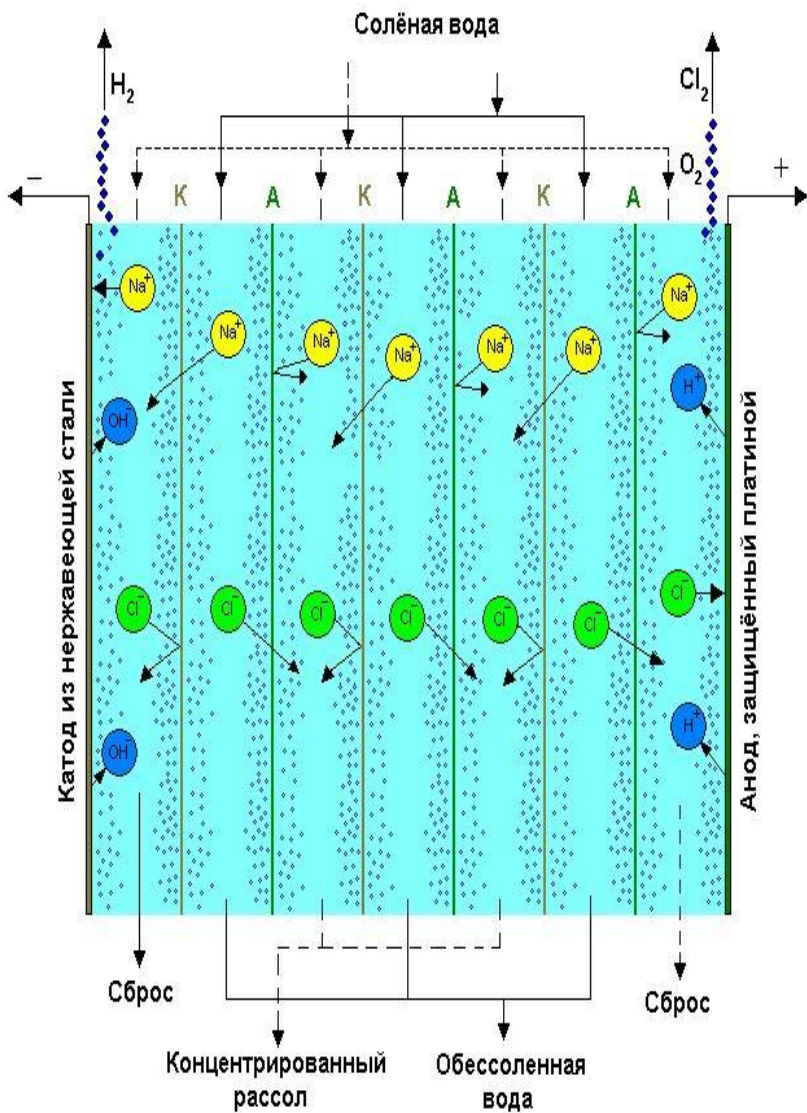
მუშა კამერების ჩართვის ჰიდრავლიკური სქემის მიხედვით ელექტროდიალიზური აპარატები იყოფა ორ ძირითად ტიპად [3,4,21]:

- პარალელური ჩართვა - დიალიზატისა და კონცენტრირების კამერებში გამავალი ხსნარის ნაკადების მიმართ.
- კამერების მიმდევრობითი ჩართვა .

პარალელური ჩართვის შემთხვევაში, პაკეტების რიცხვის პროპორციულად იზრდება აპარატის მიერ ხსნარის გამტარუნარიანობა, ხოლო თანმიმდევრული ჩართვის შემთხვევაში - დემინერალიზაციის ხარისხი.

ცნობილია აგრეთვე პაკეტების ჩარვის ამ ორი ხერხის კომბინაცია — პარალელურ-თანმიმდევრობითი ჩართვა, რომლის დროსაც მემბრანის ორივე მხარეს კონცენტრაციის სხვაობის შემცირების მიზნით, დიალიზატის ნაკადი თანმიმდევრობით გაივლის დიალიზატის კამერებში, ხოლო კონცენტრირების კამერები კი ჰიდრავლიკურად შეერთებულია პარალელურად [4]. ნახ.3 –ზე მოყვანილია ელექტროდიალიზური დანადგარის ჰიდრავლიკური სქემა.

აღსანიშნავია, რომ სხვადასხვა ჰიდრავლიკური სქემებით მომუშავე აპარატების მუშაობის სისტემატიური ანალიზი არ არსებობს. ელექტროდიალიზური აპარატის ყოველი ტიპი გამოყენებული უნდა იყოს გარკვეულ ექსპლოატაციურ პირობებში, რომლის განსაზღვრისათვის უნდა განხორციელდეს აპარატების ტიპების შედარებითი შეფასება როგორც ენერგეტიკული, ასევე კონკრეტულ პირობებში გამოყენების თვალსაზრისით. როდესაც აუცილებელია ელექტროდიალიზური პროდუქტის მიღება უწყვეტი ნაკადის სახით, გამოიყენება აპარატები პირდაპირი დინების სქემით.



ნახ.1 ელექტროდიализის სქემა

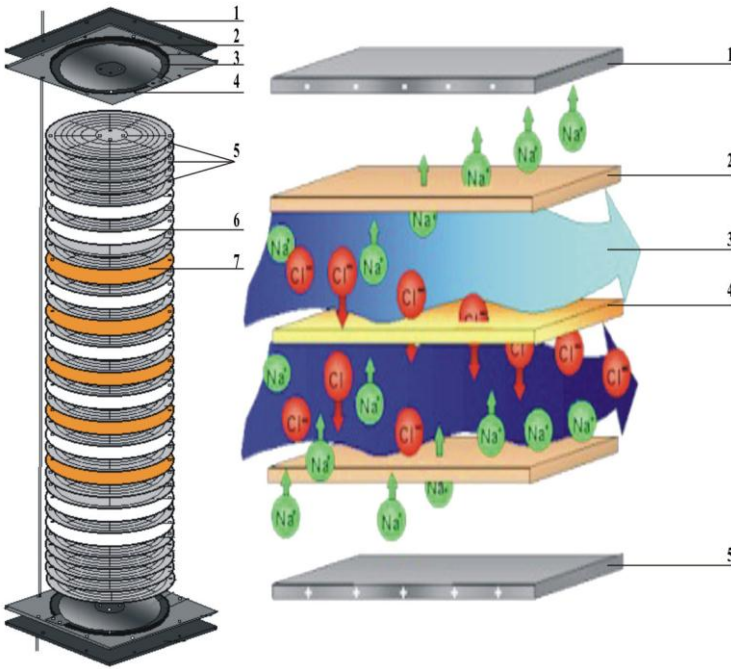


Fig.1-2a Principal scheme and picture diagram of electrolysers

- | | | |
|-------------------|-----------|-------------------|
| 1.metal plate; | 2.rubber; | 3.plate; |
| 4.electrode; | 5.frame; | 6.membrane MK-40; |
| 7.membrane MA-40. | | |

ნახ.2 ელექტროდიალიზური აპარატი

ამ შემთხვევაში პროცესი ხორციელდება სტაციონალურ რეჟიმში რამდენიმე თანმიმდევრობით შეერთებულ ელექტროდიალიზურ დანადგარში. დანადგარის საფეხურების რაოდენობის ცვლილებით შესაძლებელია გაუმართლების ხარისხის ცვლილება. ასეთი

სქემის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს: საფეხურების დიდი რაოდენობა (ელექტროდების წყვილების); რომელიმე ერთ საფეხურში რაიმე ცვლილების შემთხვევაში მთელი დანადგარის მუშაობის რეჟიმის შეცვლა, დანადგარის ხელახალი გამართვა წარმადობის ან საწყისი ხსნარის ტემპერატურისა და მარილშემცველობის ცვლილების შემთხვევაში [3,4].

ერთსაფეხურიანი პირდაპირი დინების აპარატში საწყისი ხსნარის გაუმარილება წარმოებს წინასწარ განსაზღვრულ ნარჩენ მარილშემცველობამდე, ხოლო მარილმოცილების პროცესის რეგულირება ხორციელდება ელექტრული დენის სიდიდით. ასეთი სქემის აპარატების უპირატესობაა: გაუმარილების მაღალი ხარისხი, მუდმივი მწარმოებლურობა, ექსპლუატაციის სიმარტივე, პროცესის უწყვეტობის შესაძლებლობა, დანადგარი არ საჭიროებს ავზებსა და ცირკულაციურ ტუმბოებს.

მცირე მწარმოებლურობის შემთხვევაში იყენებენ ცირკულაციური - პორციული ტიპის სქემებს. მათი უპირატესობაა: გაუმარილების მაღალი ხარისხი; მუშაობის მუდმივობა ცვლადი საწყისი პარამეტრების - ტემპერატურისა და კონცენტრაციის დროს. უარყოფითი მხარეა: მზა პროდუქტის მიწოდების პერიოდულობა, ავზებისა და ცირკულაციური ტუმბოების არსებობა, მწარმოებლურობის დამოკიდებულება საწყისი ხსნარის ტემპერატურასა და მარილშემცველობაზე [3,4].

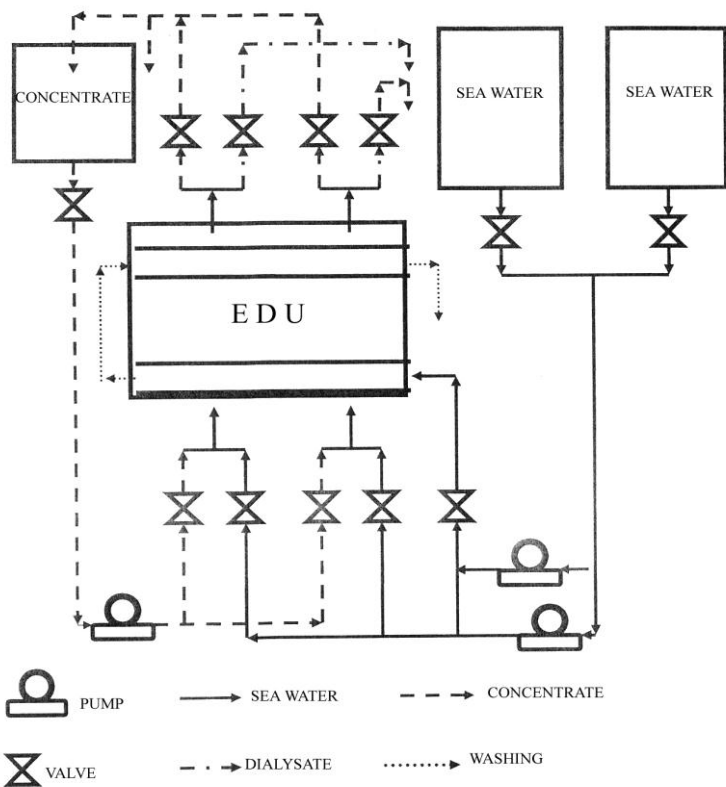


Fig.2b Hydraulic scheme of electrodesaliner

ნახ.3 ელექტროდიალიზური დანადგარის ჰიდრავლიკური სქემა

აპარატების ტიპისაგან დამოუკიდებლად, მისმა კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს : პაკეტის ჰერმეტიულობა, მემბრანის ზედაპირის მაქსიმალური გამოყენება, მთელ კამერაში ხსნარის თანაბარი

გადინება, ჰიდრავლიკური დაწნევის მინიმალური დანაკარგებით უნდა გამოირიცხოს მუშა ხსნარების შერევა და ნალექების წარმოქმნა, როგორც მემბრანების ზედაპირზე ისე ელექტროდულ კამერებში [2-4].

ყოფილ საბჭოთა კავშირში ელექტროდიალიზურ დანადგარებს აწარმოებდა სამი ქარხანა: ტამბოვის მექანიკური (Тамбовмаш), პიატიგორსკის მექანიკური (ПМЗ) და ალმა-ატის ელექტრომექანიკური (АЭЗ) ქარხნები.

«Тамбовмаш» -ი აწარმოებდა «Родник»-ის ტიპის და მათ საფუძველზე დამზადებულ დანადგარებს. ЭОУ-НИИПМ-12-25М დანადგარის წარმადობა არის

1 მ³/სთ გაუმარილებელი წყალი, საწყისი წყლის 3-6 გ/ლ მარილშემცველობის დროს გაუმარილებელი წყლის (0,5-0,85 გ/ლ) გამოსავლიანობა შეადგენდა დანადგარზე მიწოდებული საერთო წყლის რაოდენობის 40-60%, ელექტროენერგიის ხარჯი 1კვ მოცილებულ მარილზე - არა უმეტეს 1 კვტ. სთ. წყალი გადიოდა წინასწარ გაწმენდას ფილტრზე და მიეწოდებოდა ელექტროდიალიზატორს «Родник-3М», კონცენტრატი გადაიღვრებოდა, ხოლო გაუმარი-ლებული წყალი კი იფილტრებოდა აქტიური ნახშირის, «БАУ» სვეტში. «Родник-3М» აპარატში გამოყენებული იყო МК-40 და МА-40 მემბრანები 0,165 მ² ფართობით, წყვილი კამერების რიცხვი შეადგენდა 400. გამოშვებული იყო 800-ზე მეტი ასეთი დანადგარი, რომელთა წარმადობამ შეადგინა ≈1,5 მილიონ. მ³ გაუმარი-ლებული წყალი წელიწადში [52,53].

«Родник-21К» და «Родник-23К» ელექტროდიალიზატორების საფუძველზე წარმოებული იყო «ЭОУ-2

P-23K» და «ЭОУ-2 P-21K» დანადგარები შესაბამისად 100 და 50 მ³/სთ წარმადობით. იონმიმოცვლის ელექტროდიალიზთან კომბინირებამ შესაძლებელი გახადა 3-5 გ/ლ მარილშემცველობის მიწისქვეშა წყლების, ასევე ღია წყალსაცავების (0,5-1გ/ლ) წყლების ღრმა გაუმარილება. [53]

ალმა-ატის ელექტრომექანიკურ ქარხანაში კომპანია “Membrane Technologies” (ალმა-ატა—მოსკოვი), აწარმოებს ელექტროდიალიზური დანადგარების ფართო სპექტრს, როგორც საყოფაცხოვრებო (ЕДД ტიპის 0,05-0,2 მ³/სთ მტკნარი წყლის წარმადობით) , ასევე საწარმოო (ЕДУ 1-400 X 2 ან ЕДУ 2-600 X 6 ,შესაბამისად 120 და 600 მ³/სთ მტკნარი წყლის წარმადობით), დანიშნულების დანადგარებს. მაღალი მწარმოებლურობის დანადგარები შედგება რევერსიული ან იმპულსური რეჟიმით მომუშავე ელექტროდიალიზური აპარატებისაგან МК-40 და МА-40 ტიპის მემბრანებით.

კომპანიამ “Membrane Technologies” დანერგა სხვადასხვა მიზნობრივი დანიშნულების 560-ზე მეტი დანადგარი. მათ შორის: სასმელი წყლისა და სათბობებისათვის წყლის მისაღები, ჩამდინარე წყლების გამწმენდი და სხვა [54,55].

ბუნებრივი წყლების მემბრანული მეთოდებით გაუმარილების პირობებში აუცილებელია იმავდროულად, კომპლექსურად გადაწყდეს მიღებული კონცენტრატების უტილიზაციის პრობლემაც. ეკოლოგიის თვალსაზრისით (განსაკუთრებით უწყლო რეგიონების), ელექტროდიალიზს აქვს უდიდესი მნიშვნელობა გაუმარილების სხვა მეთოდებთან შედარებით, რად-

განაც საერთოდ არ გამოიყენებს რეაგენტებს და უზრუნველყოფს მცირე მოცულობის მაქსიმალური კონცენტრაციის კონცენტრატების მიღებას, რაც აადვილებს მათ შემდგომ გადამუშავებას.

ელექტროდიალიზური დაკონცენტრირების დროს გამოიყენება გაუმარილების შემთხვევაში გამოყენებული აპარატების ანალოგიური აპარატი, როგორც გამდინარე დაკონცენტრირების კამერებით, ასევე არაგამდინარე კამერებით კონცენტრატის გამოსაყვანი ერთი ხვრელით. უკანასკნელ შემთხვევაში კონცენტრირების კამერებში წყალი გადადის დიალიზატის კამერიდან მემბრანის გავლით. მისი გადასვლის ძირითად მექანიზმს წარმოადგენს ელექტროოსმოსი. კონცენტრირების კამერებიდან გაუმარილების კამერებში წყლის ოსმოსური გადატანა მცირდება დენის სიმკვრივის ზრდასთან ერთად [56-99].

[56] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ MK-40 და MA-40 მემბრანებით ელექტროდიალიზის დროს მიღებული NaCl-ის კონცენტრატის მაქსიმალური კონცენტრაცია შეადგენს დაახლოებით 5,5 მოლი/ლ; დადგენილია, რომ Na^+ და Cl^- იონების წყვილთან ერთად კონცენტრირების კამერაში გადაიტანება $h=8-9$ წყლის მოლეკულა (h - ჰიდრატაციის საშუალო დინამიური რიცხვია სისტემისათვის NaCl (MK-40, MA-40).

2.4 ელექტროდიალიზის Gგამოყენების სფეროები და არსებული პრობლემები.

წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება ბუნების დაცვის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. წყლის მოხმარების შეუჩერებელი ზრდა, რომელიც დაკავშირებულია მოსახლეობის ზრდასთან და მთელ რიგ ქვეყნებში წარმოების განვითარებასთან, იწვევს ისეთი წყლების გამოყენების აუცილებლობას, რომლებიც შეიცავენ მინარევების დიდ რაოდენობას.

M რეწველობის მრავალ დარგში წარმოების ტექნოლოგიური ციკლის დასრულების შემდეგ ძირითად პროდუქტთან ერთად ხშირად, გვერდითი პროდუქტების სახით მიიღება განზავებული ხსნარები და იქმნება მათი გადამუშავების პრობლემა წყლის მეორადი გამოყენების და მასში გახსნილი ღირებული ან გარემოსათვის მავნე ნივთიერებების უტილიზაციის მიზნით.

საწარმოო ჩამდინარე წყლების მეორადმა გამოყენებამ დღეისათვის ფართო გავრცელება ჰპოვა, რადგანადაც გამკაცრებულია მოთხოვნები გარემოს დაცვისადი. ამ თვალსაზრისით პრიორიტეტულია ჩამდინარე წყლების სხვადასხვა ნაკადების გადამუშავების ლოკალური სისტემების შექმნა და ამ მიზნით მემბრანულ ტექნოლოგიას, კერძოდ, ელექტროდიალიზს აქვს მთელი რიგი უპირატესობა [60].

წყალმომარაგების ჩაკეტილი სისტემების შექმნის საკითხი წყლის დამაბინძურებელი მინარევების შემდგომი უტილიზებით წარმოადგენს მეტად

აქტუალურ საკითხს. ჩაკეტილი წყალმომარაგების სწორად ორგანიზებული პროცესი გაცილებით ეკონომიურია გამდინარე პროცესთან შედარებით. ჩაკეტილი წყალმომარაგების სისტემების გამოყენება ეფექტურია გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლების გასაწმენდათ.

გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლები მნიშვნელოვნად აბინძურებს გარემოს მძიმე ლითონებით. მათი გაწმენდის ცნობილი მეთოდები დაფუძნებულია მძიმე ლითონების ჰიდროქსიდებში გადაყვანასა და გალვანოშლაკების სახით გამოყოფაზე.

[61]-ის ავტორები სთავაზობენ გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლების სელექტიურ გაწმენდას მძიმე მეტალების იონებისაგან და ერთდროულად მათ რეკუპერაციას მაღალდისპერსიული მეტალური ფხვნილის სახით შემდგომი გამოყენებისათვის.

[62]-ში შემოთავაზებული ხერხი და ხელსაწყო ძირითადად განკუთვნილია მიკროსქემების დამაზადებელი წარმოების ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად, რომლებიც შეიცავენ 2-15 მგ/ლ სპილენძის იონებს და მყარი წარმონაქმნების ნაწილაკებს 0,03-1,0 %. მყარი ფაზის მოცილება წარმოებს მემბრანულ ფილტრზე, ხოლო სპილენძის იონები კი გადიან მემბრანაში, მიღებული კონცენტრატი შეიცავს 5 % მყარ ფაზას. სპილენძის იონების მოცილება წარმოებს იონმიმოცვლით დანადგარზე. ამ დროს რეგენერაციის შემდეგ წარმოქმნილი ხსნარი მუშავდება ელექტროლიზიორში, ელექტროდებზე სპილენძის გამოყოფით.

მანქანათმშენებელი საწარმოების გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლები საერთო ჩამდინარე

წყლების რაოდენობის 30-50%-ს შეადგენს. ამასთან , დეტალების დაფარვისათვის გამოყენებული რეაგენტების მნიშვნელოვანი ნაწილი დეტალების გარეცხვის შემდეგ, ჩამდინარე წყალთან ერთად ჩაედინება კანალიზაციის სისტემაში. ეს ქიმიური რეაგენტები ხშირად არა მარტო ტოქსიკური არიან, არამედ დეფიციტურიც [63].

[64] სამუშაოში შემოთავაზებულია მოთუ-თობების საამქროს ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ელექტროდიალიზური მეთოდი. გაწმენდის სქემა ითვალისწინებს მოთუთობებული დეტალის პირველი გარეცხვის გაუმდინარი აბაზანიდან თუთიის გამოყოფას და კვლავ დაბრუნებას პირველ აბაზანაში. გამდინარე გარეცხვის აბაზანიდან წყალი $3,5 \text{ მ}^3/\text{სთ}$ სიჩქარით და Zn^{2+} იონების 100 მგ/ლ კონცენ-ტრაციით, მიეწოდება ელექტროდიალიზური გაუმა-რილების კამერებს. გაუმარილებული წყალი, 10 მგ/ლ თუთიის კონცენტრაციით კვლავ ბრუნდება გამრეცხ აბაზანაში. კონცენტრირების კამერებში გათვალისწინებულია კონცენტრატის იძულებითი ცირკუ-ლაცია,საიდანაც თუთიის იონების დაგროვების შესაბამისად პერიოდულად ხდება მისი მიწოდება პირველ გამრეცხ აბაზანაში. ეი. იქმნება თუთიის იონების შემცველი გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ჩაკეტილი სისტემა.

მძიმე ლითონების გარემოში მოხვედრის წყაროს აქვს როგორც ბუნებრივი, ისე ანთროპოგენური წარმოშობა. მძიმე ლითონების არსებობას გარემოში მნიშვნელოვანი ყურადღება დაეთმო მას შემდეგ, რაც ცნობილი გახდა, რომ მათ შეუძლიათ დაავადების

გამოწვევა და მაღალი კონცენტრაციების წარმოქმნა მდინარეების, ტბების და სხვა ბუნებრივი ობიექტების ფსკერულ ნალექებში. წყლოვან სისტემებში მძიმე ლითონების მაღალი კონცენტრაციები ხვდება საწარმოო და სხვა ჩამდინარე წყლებთან ერთად, რაც ხშირად ეკოლოგიური მდგომარეობის მკვეთრ გაუარესებას იწვევს [65].

[66] სამუშაოში განზავებული საწარმოო წყლების გაწმენდა მძიმე ლითონების იონებისაგან განხორციელებულია ფისისა და ელექტროდიალიზის დახმარებით. სისტემა, რომელიც აერთიანებს იონიტს და ელექტროდიალიზს, შედგება ორ იონსელექტიურ მემბრანასთან კავშირში მყოფი კათიონიტისაგან. გარკვეული პოტენციალის პირობებში მძიმე ლითონების ადსორბირებული იონები მიგრირებენ იონიტის გასწვრივ, გაივლიან მემბრანას და კონცენტრირდებიან კათოდურ სექციაში.

მძიმე ლითონებით გარემოს მნიშვნელოვნად აბინძურებს მეტალურგიული და სამთოგამამ-დიდრებელი საწარმოები. [67] სამუშაოს ავტორებმა ხუთწლიანი მონიტორინგის საფუძველზე დაადგინეს იმერეთის რეგიონის ზედაპირული წყლების მნიშვნელოვანი დაბინძურება მძიმე ლითონებით, განსაკუთრებით მანგანუმის ნაერთებით. მანგანუმის მაღალ კონცენტრაციებს სასმელ წყალში მივყავართ ნეიროტოქსიკური ეფექტების გამოვლენასთან, რომლებიც აჩქარებენ ცენტრალური ნერვული სისტემის დაზიანებას, პნევმონიას [68]. ბუნებრივი წყლები, მანგანუმთან ერთად ხშირად შეიცავს რკინის მომატებულ კონცენტრაციასაც. არსებობს წყლები, რომლებ-

შიც რკინის შემცველობა 0,01-დან 30 მგ/დმ³-მდეა, ხოლო მანგანუმისა - 2 მგ/დმ³. მოსახლეობის მიერ ასეთი წყლების ხანგრძლივი მოხმარება იწვევს სხვადასხვა სახის დაავადებებს [69-71].

წყლების გაწმენდა მანგანუმისა (0,01 მგ/დმ³) და რკინის (0,1 მგ/დმ³) ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე [72] ხორციელდება როგორც რეაგენტული, ასევე ურეაგენტო მეთოდებით [73,74]. იმისათვის, რომ არჩეული იყოს გაწმენდის შედარებით ეკონომიური სისტემა, მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, თუ რომელ ფორმაში იმყოფება რკინა დასამუშავებელ წყალში. ბუნებაში რკინა სამი ფორმით არსებობს (Fe, Fe (II) Fe (III)) სხვადასხვა ნაერთებისა და კომპლექსების სახით. ზედაპირული წყლები და მცირე სიღრმის მიწისქვეშა წყლები შეიცავს მანგანუმის ორგანულ და კოლიდურ ნაერთებს. ასეთ წყლებში არის ასევე უხსნადი მანგანუმის ჰიდროქსიდი, ცნობილი როგორც "შავი წყალი".

[75] სამუშაოში მოცემულია საინტერესო ინფორმაცია თანამედროვე KAMG , TKAMG სერიის დამჟანგავი ფილტრების შესახებ, რომლებიც ეფექტურად აცილებენ წყლიდან გახსნილ რკინას, მანგანუმს და გოგირდწყალბადს. ეს ფილტრები საჭიროებს მფილტრავი არის (MGS -ის) კალიუმის პერმანგანატით რეგენერაციას. მათგან განსხვავებით KBMF სერიის დამჟანგავი ფილტრი, სადაც გამფილტრავ არედ გამოყენებულია BIRM, არ საჭიროებს რეგენერაციას. სამუშაო მოიცავს ასევე ინფორმაციას KWS/KFS სერიის იონმიმოცვლითი დანადგარების შესახებ. ისინი ძირითადად გამოიყენებიან წყლის

სიხისტის შესამცირებლად, მაგრამ სპეციალური იონმიმოცვლითი ფისების შემცველობის გამო, მათ შესწევთ უნარი მოაცილონ რკინა 4 მგ/ლ-მდე, ასევე მანგანუმი, ნიტრატები, ნიტრიტები, მძიმე ლითონების მარილები, ორგანული ნაერთები. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული ფილტრები საჭიროებს მარილით რეგენერაციას, ისინი არიან საკმაოდ ეკონომიურნი და კომპაქტურნი [75].

ზედაპირული წყლების მძიმე ლითონებისაგან გასაწმენდად იყენებენ მემბრანულ მეთოდებსაც და მათ შორის ელექტროდიალიზს. ამ პროცესს ართულებს მემბრანების "მოწამვლა" წყალში არსებული მინარევებით. ამასთან დაკავშირებით თვლიან [76], რომ ამ ელემენტების კონცენტრაცია დასამუშავებელ წყალში არ უნდა აღემატებოდეს 0,05 მგ/დმ-ს. მაგრამ, წყალში მანგანუმისა და რკინის იონების სხვადასხვა ფორმების არსებობის გამო, მათ განსხვავებული გავლენა უნდა იქონიონ ელექტროდიალიზურ მემბრანებზე წყლის სხვადასხვა მარილშემცველობისა და pH-ის დროს.

ცნობილია, რომ სამვალენტო იონების ძვრადობა მემბრანაში უფრო დაბალია, ვიდრე ორვალენტო იონებისა [76], ამიტომ მანგანუმის ორვალენტო იონების უარყოფითი გავლენა კათიონიტურ მემბრანაზე უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე რკინისა. [77] სამუშაოს ავტორები ასევე აღნიშნავენ, რომ რკინის სამვალენტო იონების ნაერთების ჰიდროლიზი მცირედ ხსნადი ნაერთების წარმოქმნით, შეიმჩნევა ნეიტრალურ არეში, ხოლო მანგანუმის შემთხვევაში ანალოგიურ პროცესებს ადგილი აქვს მხოლოდ $\text{pH} > 8,7$ მნიშვნელობის დროს.

გარდა ამისა, რკინა ჰუმუსურ ნივთიერებებთან წარმოქმნის უფრო მტკიცე კომპლექსურ ნაერთებს, ვიდრე მანგანუმი. ამიტომ რკინა გაცილებით უფრო “მომწამვლელია” მემბრანებისათვის, ვიდრე მანგანუმი [77, 78]. მაგრამ, აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგადად, მემბრანული სისტემების დანიშნულებაა – ბაქტერიებისა და ვირუსების მოცილება, წყლის ნაწილობრივი და ღრმა გაუმარილება, მაღალხარისხოვანი სასმელი წყლის მომზადება. ანუ, რკინის მოცილება არ არის მათი მთავარი დანიშნულება. ამით აიხსნება ის ფაქტი, რომ მემბრანების გამოყენება ჯერჯერობით არ შედის წყალში არსებულ რკინასთან ბრძოლის სტანდარტული მეთოდების რიცხვში.

როგორც ავღნიშნეთ, მემბრანული მეთოდი – ელექტროდიალიზი, თავდაპირველად გამოყენებული იყო სასმელი წყლის მისაღებად და იგი დღემდე რჩება მისი გამოყენების მნიშვნელოვან სფეროდ. ცნობილია [79], რომ სასმელი წყლის მიღება 3-10 გ/ლ მარილშემცველობის წყლებიდან ეკონომიურად უფრო მომგებიანია ელექტროდიალიზით, ვიდრე სხვა მეთოდებით. იონმიმოცვლა და დისტილაცია სულ უფრო ენერგიულად გამოიდევენება ელექტროდიალიზით და უკუოსმოსით. მაგრამ, მიკროელექტრონიკისა და მედიცინის საჭიროებისათვის დეიონიზირებული წყლის მიღების ძირითად მეთოდად რჩება იონმიმოცვლა მისი უარყოფითო მხარის – გარემოს მარილებით, ზოგჯერ მჟავასა და ტუტის ხსნარებით დაბინძურების მიუხედავად [36,80].

მიღებულია, რომ ელექტროდიალიზის რაციონალური გამოყენება შემოსისაზღვრება 200-300 მგ/ლ

მარილშემცველობის (4-6 მგ.ექვ/ლ) ხსნარების მიღებით [81]. ამის მიზეზად მიიჩნევენ იმას, რომ თუ პროცესს ატარებენ “რბილ” დენურ რეჟიმში (დენის სიმკვრივე ნაკლებია მის ზღვრულ მნიშვნელობაზე სისტემაში), მაშინ ადგილი არა აქვს წყლის შეუქცევად დაშლას H^+ და OH^- იონებად მემბრანა-ხსნარის საზღვართან ახლოს [82, 83]. ამ შემთხვევაში კონცენტრაციის შემცირებასთან ერთად პროცესის სიჩქარე (გარე დიფუზიით კონტრო-ლირებული), მკვეთრად ეცემა. დენის სიმკვრივის “ზღვრული” მნიშვნელობების გამოყენების შემთხვევაში მასაგადაცემის სიჩქარე იზრდება [83] ელექტროკონვერსიის ეფექტის გამო [84]. მაგრამ, გაუმარილებული ხსნარის მოცულობაში არადაბალან-სირებული გენერაცია H^+ იონებისა, ანიონმიმოც-ვლითი მემბრანის საზღვარზე და OH^- იონებისა, კათიონმიმოცვლითი მემბრანის საზღვარზე იწვევს ხსნარის pH-ის გადანაცვლებას. H^+ იონების გენერაცია ხშირად მიდის უფრო ინტენსიურად, ვიდრე OH^- იონებისა და გაუმარილებული წყალი იძენს მჟავა რეაქციას. pH-ის სიდიდე მცირდება 4,0-4,5-მდე და H^+ იონების კონცენტრაცია ხდება მარილის კათიონების კონცენტრაციის თანაზომადი. ამ მოვლენის შედეგად ელექტროდიალიზის პროცესი ხდება არაეფექტური.

ელექტროდიალიზური აპარატების წარმადობა ძირითადად დამოკიდებულია დენის დატვირთვაზე, მაგრამ დენის სიდიდის უსაზღვროდ გაზრდა შეუძლებელია. Aარსებობს დენის სიდიდის ზღვრულ-ლი მნიშვნელობა [13], რომლის ზემოთ იწყება თანმხლები პროცესები. ერთ-ერთი მათგანია კონ-ცენტრაციული

პოლარიზაცია, რომლის დაწვრი-ლებითი აღწერა წარმოდგენილია [3,4] ავტორების მიერ.

ელექტრომემბრანულ სისტემაში ელექტროლიტის გადატანის შედეგად, მემბრანების ზედაპირზე კონცენტრირების კამერების მხრიდან იქმნება იონების საკმაოდ მაღალი კონცენტრაცია. დასამუშავებელ წყალში Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- იონების არსებობამ შეიძლება მემბრანის ზედაპირზე გამოიწვიოს ძნელადხსნადი ნაერთების საკმაოდ მკრივი ფენის წარმოქმნა, რომელსაც დაბალი ელექტროგამტარობა გააჩნია. განსაკუთრებით D დიდია ნალექების წარმოქმნის საშიშროება აპარატში ზღვრულ მნიშვნელობაზე მეტი დენის არსებობისას. ასეთ პირობებში დენი ნაწილობრივ გადააქვთ წყალბადის H^{+D} და ჰიდროქსილის OH^- იონებს. ეს იწვევს pH -ის გაზრდას მემბრანის მახლობელ ფენებში- კათიო-ნიტურ მემბრანასთან გაუმარილების კამერის მხრიდან და ანიონიტურ მემბრანასთან კონცენტრირების კამერის მხრიდან. აღწერილი მოვლენა ასევე უწყობს ხელს ნალექში ძნელადხსნადი მეტალების ჰიდროქსიდებისა და კარბონატების გამოყოფას.

ელექტროდიალიზის პრაქტიკაში ხშირად შეიმჩნევა ნალექის ლოკალური წარმოქმნა იონმიმოცვლითი მემბრანების ზედაპირზე [81].. ამის მიზეზია ხსნარის კონცენტრაციის ფლუქტუაციები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ნაკადის არათანაბარი განაწილების გამო. კონცენტრირების კამერაში ნაკადის სიჩქარის ადგილობრივ შემცირებას მიყვავართ მარილების კონცენტრაციის ლოკალურ გაზრდასთან და მათ

გამოყოფასთან ნალექში. მოვლენის მიზეზი ხშირად არის ელექტრო-დიალიზურ აპარატში დეფექტური ჩარჩოების არსებობა (სიმალლეში დაბალი ზომა). ელექტროდიალიზური აპარატის მუშა კამე-რებში ნალექწარმოქმნის პროცესის შენელების ან აცილებისათვის აუცილებელია:

- განხორციელდეს წყლის წინასწარი მომზადება სიხისტის გამომწვევი იონების შემცირების ან მოცილების მიზნით;
- ელექტროდიალიზის პროცესი წარიმართოს დენის ზღვრულ სიდიდეზე ნაკლები მნიშვნელობების პირობებში.

[81] ავტორების მიერ რეკომენდირებულია ელექტროდიალიზურ აპარატში გაუმარილები პროცესი განხორციელდეს კალციუმისა და მაგნიუმის იონების მარილხსნარზე მარილმჟავას დამატებით pH 1 –მდე, 2 ა/დმ² დენის სიმკრივისა და 2,5 სმ/წმ ნაკადის სიჩქარის პირობებში. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ასეთ პირობებში ნალექწარმოქმნა შეიძლება გამოირიცხოს საწყისი წყლის კონცენტრაციის 30-ჯერ გაზრდის შემთხვევაშიც კი. დაკონცენტრირების უფრო მაღალი ხარისხის მიღების შემთხვევაში ნალექი წარმოიქმნება მხოლოდ იმ ანიონიტური მემბრანის ზედაპირზე, რომელიც ესაზღვრება კონცენტრირების კამერას. ეს ახსნილია იმით, რომ ჰიდროქსილის იონები, რომლებიც მონაწილეობენ ანიონიტური მემბრანის გავლით დენის გადატანაში ზღვრულზედა რეჟიმში, ანიეტრალეზენ ჭარბ მჟავიანობას მემბრანის მახლობელ

ხსნარის ფენაში და ამით ქმნიან $Mg(OH)_2$ - ის და $CaCO_3$ -ის ნალექში გამოყოფის პირობებს.

სათაო და სერიული ელექტროდიალიზური აპარატების AЭ-25 გამოცდის შედეგად [85] , ნოვო-ჩერკასკის ჰიდროელექტროსადგურის წყლის დამზადების სქემაში გამოყენებული იყო წყლის წინასწარი მომზადების შემდეგი ხერხები:

- კოაგულაცია გოგირდმჟავა ამონიუმით, რომლის შედეგად წყლიდან სცილდება რკინა;
- ფილტრაცია აქტივირებული ნახშირის ფენაზე, რომლის დროსაც წყალს სცილდება ორგანული მინარევეები;
- Na- კათიონირება, რის შედეგად ადგილი აქვს წყლის “დარბილებას”, ააწუ წყლიდან კათიონიტში კალციუმისა და მაგნიუმის იონების გადასვლას ნატრიუმის იონების სანაცვლოდ;
- H^+ - კათიონირება , რის შედეგად H^+ იონები გადადიან ხსნარში კალციუმისა და მაგნიუმის იონების სანაცვლოდ და ამჟავებენ წყალს, რათა არ დაირღვეს ნახშირმჟავური თანაფარდობა.

ელექტროდიალიზის, როგორც ურეაგენტო მეთოდის ძირითადი უპირატესობის შესანარჩუნებლად, აუცილებელია წყლის წინასწარი მომზადება განხორციელდეს ქიმიური რეაგენტების გარეშე [85]. მაგალითად, “ მემბრანული ტექნოლოგიის ‘ ცენტრში (

ქ. კრასნოდარი) დიდი სიმძლავრის დანადგარებში გამოყენებული იყო ბიპოლარული ელექტროდიალიზის საფუძველზე წყლის წინასწარი მომზადების ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც უზრუნველყოფდა გამაკამკამებელ კამერაში pH-ის მნიშვნელობას 10,5-11,5 საზღვრებში, ხოლო დეგაზატორში 3,5-4,5-ს.

საინტერესოა ელექტროდიალიზურ აპარატში მარილხსნარის დაკონცენტრირების ხარისხის ზღვრული მნიშვნელობის განსაზღვრისა და კონტროლის მეთოდიკა, რომელიც რეკომენდირებულია ფირმა “Иионикс”-ის მიერ [86,87]. ლანჯელიეს, Li, ინდექსის გამოყენებით დგინდება CaCO₃ -ის ნალექის წარმოქმნის შესაძლებლობა. ეს ინდექსი წარმოადგენს სხვაობას ხსნარის ფაქტიურ pH-სა და იმ pH-ს შორის, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ნალექების წარმოქმნა. დადებითი ინდექსი მოწმობს ნალექის წარმოქმნის ტენდენციას, უარყოფითი კი მიუთითებს ამ მოვლენის შეუძლებლობაზე.

ელექტროდიალიზის პრაქტიკაში ნალექწარმოქმნის წინააღმდეგ ბრძოლის განსაკუთრებლად გავრცელებული ხერხია დენის რევერსირება, კამერების ფუნქციების ერთდროული შეცვლით: გაუმარილების კამერები გარდაიქმნებიან კონცენ-ტრირების კამერებად და პირიქით. ასეთი გადატ-ვითვის Eშემთხვევაში გაუმარილების კამერებში მიმდინარეობს იმ ნალექის გახსნა, რომელიც წარმოიქმნა აღნიშნულ კამერაში კონცენტრირების რეჟიმში მუ-შაობისას.

გაუმარილების ტექნოლოგიის უკანასკნელმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ელექტროდიალიზურ პროცესს პოლუსების ცვლით უჭირავს უმნიშვ-

ნელოვანესი ადგილი მემბრანულ პროცესებს შორის [88]. მსოფლიო ბაზარზე პოლუსების ცვლით მომუშავე ელექტროდიალიზური აპარატების დამზადების ლიდერი არის კომპანია ” Ионикс “-ი. იგი ამზადებს ელექტროდიალიზური დანადგარის რამდენიმე მოდიფიკაციას გამტკნარება –კონცენტრირების პროცესის განსახორციელებლად. დანადგარის ძირითადი ტიპებია: ” Аквамайт –Y ” , ” Аквамайт –X ” და ” Аквамайт-XX ” - 100-დან 1000-მდე მ³ / დღე-ღამეში გამტარუნარიანობით, საწყისი წყლის 1,5 -3,5 გრ/ლ მარილშემცველობისას. ყველა დანადგარს გააჩნია რევერსირების ელექტროდიალიზური სისტემა, რომელშიც ელექტროდენის პოლარობის ცვლა ხდება 3 – 4- ჯერ საათში.

[83, 89] სამუშაოს ავტორები თვლიან, რომ იონიტების დანამატების შეყვანა გაუმარილების კამერებში მნიშვნელოვნად აფართოებს ელექტროდიალიზის გამოყენების სფეროებს.

[90] სამუშაოში, ელექტროდიალიზის კამერებში იონმიომცვლელი დანამატების შეყვანა გამოყენებულია მემბრანების ზედაპირზე ნალექწარმოქმნის საწინააღმდეგოდ ჰიდროკარბონატ-კალციუმიანი წყლების დემინერალიზაციის დროს. ავტორების მიერ, გაუმარილების კამერების ანიონიტებით, ხოლო კონცენტრირების კამერების კათიონიტებით შევსების შემთხვევაში, ნალექების არწარმოქმნის მიზეზი ახსნილია ჰიდროქსილისა და ჰიდროკარბონატ იონების შეკავშირებით კარბონატ იონებში და შემდეგ მათი გარდაქმნით მცირედდისოცირებულ ნახშირმჟავაში.

E2.5 ელექტროდიალიზის გამოყენების პერსპექტივა. Bზიპოლარული ელექტროდიალიზი

ელექტროდიალიზური მეთოდის გამოყენების პერსპექტივა განუწყვეტლივ იზრდება კვებისა და ფარმაცევტულ მრეწველობაში [91, 92]. აღნიშნულ სფეროებში დიდია მოთხოვნა მაგალითად, ამინომჟავებზე. მათ იყენებენ სხვადასხვა კვებითი დანამატების სახით (ბავშვთა კვება, სპორტსმენების რაციონი და ა. შ.), ახალი თაობის ფარმაცევტულ პრეპარატებში - ამინომჟავებით აქტიური კომპოზონენტების სახით და სხვა. ამინომჟავების ნარევები, მიკრობიოლოგიური და ქიმიური სინთეზის პირობებში ბინძურდებიან მინერალური კომპოზონენტებით. მათი გაწმენდის ტრადიციულ მეთოდს წარმოადგენს იონმიმოცვლა. მაგრამ, იონიტებზე ამინომჟავების სორბცია-დესორბციის პროცესის დროს იქმნება მჟავა-ტუტე ნაკადების უტილირების პრობლემა.

ამინომჟავების დემინერალიზაციისა და ფრაქციონირების ალტერნატიულ ეკოლოგიურ მეთოდს წარმოადგენს ელექტროდიალიზი იონმიმოცვლითი მემბრანებით [93-96].

[93] სამუშაოს ავტორებმა შეისწავლეს იონმიმოცვლით მემბრანებში ამინომჟავების დიფუზიურ ტრანსპორტზე ჰიდრატაციის გავლენა. მიღებული შედეგები ამინომჟავების დიფუზიური ნაკადების და მათი დანაკარგების პროგნოზირების საშუალებას

იძლევა ამინომჟავების ელექტროდიალიზური პროცესით დამუშავების შემდგომში.

[94] –ის ავტორები, კათიონიტურ მემბრანაში ამინომჟავების დიფუზიის დროს მათი ტრანსპორტირების თავისებურებად მიიჩნევენ კომპლექს-წარმოქმნის შექცევადობას. მათ მიერ შესწავლილია კომპლექსწარმოქმნის კონსტანტის გავლენა ნაკადის სიდიდეზე. მიღებულია ანალიზური გამოსახულება, რომელიც ნივთიერებათა ნაკადების და გამტარობის კოეფიციენტის წინასწარი პროგნოზირების საშუალებას იძლევა. ნაჩვენებია, რომ მემბრანების თვისებები იცვლება კომპლექსწარმოქმნის კონცენტრაციის, ამინომჟავის საწყისი კონცენტრაციისა და დიფუზური შრის სისქისაგან დამოკიდებულებით.

ბიპოლარული მემბრანების წარმოებამ კიდევ უფრო გააფართოვა ელექტროდიალიზის გამოყენების სფერო. ბიპოლარული მემბრანები წარმოადგენს ორფენოვანი მემბრანის კომპოზიციას, რომლის ფენები უშუალოდ იმყოფებიან ერთმანეთთან კონტაქტში. მემბრანის ერთი ფენა მიმოიცვლება კათიონებზე (კათიონიტური მხარე), მეორე კი - ანიონებზე (ანიონიტური მხარე).

ბიპოლარულ მემბრანებს აქვთ უნიკალური თვისება, კერძოდ, ელექტრული ველის მცირე დაძაბულობის პირობებშიც კი კათიონიტისა და ანიონიტის გამყოფ საზღვარზე ადგილი აქვს წყალბადისა და ჰიდროქსილის იონების წარმოქმნას, ე.წ. გენერირებას წყლის მოლეკულების დაშლის ხარჯზე.

ბიპოლარული მემბრანის ეს თვისება წარმატებით იყო გამოყენებული მჟავისა და ტუტის მისაღებად

ელექტროდიალიზის მეთოდით [97--100]. ელექტროდიალიზურ აპარატში როცა ბიპოლარული მემბრანის კათიონიტური მხარე მიმართულია კათოდისაკენ, ხოლო ანიონიტური – ანოდისაკენ, ელექტრული დენის მოდებისას ადგილი აქვს დიალიზატის კამერაში მჟავას წარმოქმნას, კონცენტრირების კამერაში – ტუტისა [97]. N

ნახ. 4-ზე მოცემულია მჟავასა და ტუტის მიღების სქემები დანადგარში ბიპოლარული მემბრანებით.

[98] სამუშაოში ბიპოლარული ელექტროდიალიზით შესწავლილია მარილხსნარებიდან ძლიერი მჟავებისა და ტუტეების მიღების პროცესი. დადგენილია, რომ დანადგარში 10-30 მა/სმ² დენის სიმკრივის პირობებში მიიღება 0,3-0,6 გამოსავლიანობით მჟავა და 0,5-0,8 გამოსავლიანობით ტუტე. მისაღები მჟავასა და ტუტის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს მათი გამოსავლიანობის შემცირებას 0,1-მდე.

უფრო მაღალი თვისობრივი მაჩვენებლები მიიღება ელექტროდიალიზით მცირედდისოცირებული მჟავებისა და ტუტეების მიღების დროს. მაგალითად, პოლიეთილენპოლიამინის [100], ბორის მჟავის [99] და სხვა. მმცირედდისოცირებული მჟავას კონცენტრაცია განსაზღვრულია მხოლოდ მისი ხსნადობით.

აღსანიშნავია, რომ საზღვარგარეთ აქტიურად ვითარდება მჟავებისა და ტუტეების მიღების ელექტროდიალიზური მეთოდი, რამდენადაც მისი სხვადასხვა სქემების კომბინაცია წარმატებით წყვიტავს ერთდროულად მარილხსნარების გაუმარილება - დაკონცენტრირების, ასევე რეაგენტების მიღების საკითხებს. აღნიშნული რეაგენტები გამოიყენება

ელექტროდიალიზური მემბრანების რეგენერაციისათვის. საკითის ასეთი გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად ამარტივებს ელექტროდიალიზის არსებულ ტექნოლოგიურ სქემებს და ამცირებს ქიმიური რეაგენტების ხარჯს.

ცნობილია, რომ ნებისმიერ ელექტრო-დიალიზურ აპარატში ძირითად პროდუქტებთან (დიალიზატი, კონცენტრატი) ერთად, ადგილი აქვს აპარატის ელექტროდულ კამერებში პროცესის თანმხვედრი პროდუქტების – მჟავისა და ტუტის მიღებას. ელექტროდულ კამერებში (ელექტრო-დებით კათოდი და ანოდი) მიმდინარეობს მარილთა წყალხსნარების ელექტროლიზი. როგორც ცნობილია,

დენის წყაროების მუშაობის შედეგად ელექტრონები ერთი პოლუსიდან (ანოდიდან) გადაედინებიან მეორე პოლუსზე (კათოდზე). ანოდზე იქმნება ელექტრონების უკმარისობა, კათოდზე კი – სიჭარბე. ხსნარში მყოფი Cl^- , SO_4^{2-} , OH^- იონები მიიზიდებიან დადებით პოლუსთან, ხოლო Na^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} იონები – უარყოფით პოლუსთან. ანოდზე წარმოებს ანიონების გარდაქმნა ნეიტრალურ ატომებად ელექტრონების გაცემის, ხოლო კათოდზე –კათიონების გარდაქმნა ნეიტრალურ ატომებად ელექტრონების მიღების შედეგად. ელექტროლიზის დროს კათოდზე ადგილი აქვს აირადი წყალბადის და OH^- იონების (ტუტის) წარმოქმნას, ხოლო ანოდზე კი აირადი ჟანგბადისა და H^+ იონების (მჟავის) წარმოქმნას.

ელექტროქიმიის კანონებიდან გამომდინარე, რაც უფრო მარცხნივ დგას მეტალი ძაბვათა რიგში, მით

უფრო მნელად განიმუხტება მისი იონები. ამიტომ ნატრიუმის, კალციუმის, მაგნიუმის მარილების წყალ-ხსნარებში კათოდზე ელექტროლიზის დროს განიმუხტებიან მჟავას ნაშთის იონები ან წყლის ჰიდროქსილის იონები. თუ მჟავას ნაშთი არ შეიცავს ჟანგბადს (Cl^- , S^{2-} , CN^- და სხვა), მაშინ ჩვეულებრივ განიმუხტებიან ეს იონები. თუ ელექტროლიზს ექვემდებარება ჟანგბადშემცველი მარილები (MgSO_4 , Na_2SO_4), მაშინ OH^- იონები განიმუხტებიან ჟანგბადის გამოყოფით და არა SO_4 იონები. დენის სიმკვრივის მცირე მნიშვნელობების დროს (30 ა/მ^2 - მდე), რომლებიც პასუხობენ პოტენციალების ინტერვალს 0,8 – ჟანგბადი და 1,3 – ქლორი, ანოდზე გამოიყოფა ჟანგბადი, შემდეგ წონასწორული პოტენციალის მიღწევისას დაიწყება ჟანგბადისა და ქლორის ერთდროული გამოყოფა.

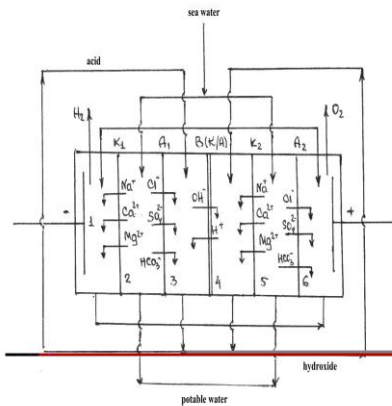


Fig.3 Scheme E. Simultaneous acid and alkali production from sea water $C(NaCl)=17\text{ g/l}$ in the electrode chambers and in the bipolar membrane chambers

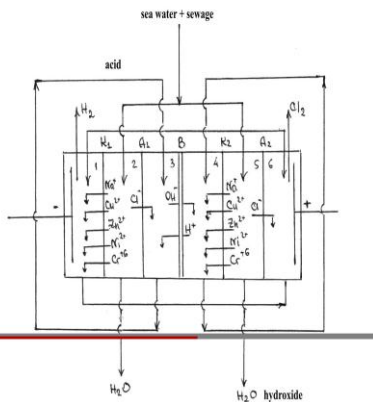


Fig.3 Scheme F. Galvanic industry sewage electrolysis by a bipolar membrane (B)

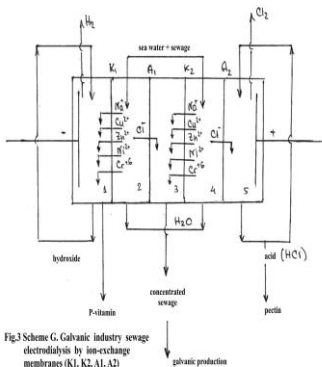


Fig.3 Scheme G. Galvanic industry sewage electrolysis by ion-exchange membranes (K1, K2, A1, A2)

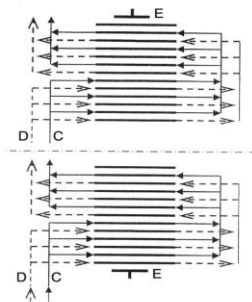


Fig.3 Scheme H. Sea water concentration

ნახ. 4 მჟავასა და ტუტის მიღების სქემები ბიპოლარული მემბრანით

E ელექტროდიალიზურ დანადგარში.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ელექტროდიალიზურ დანადგარში, რომელსაც ჩვეულებრივ იყენებენ გაუმარილებული და კონცენტრირებული ხსნარების მისაღებად, არსებობს ყველა თეორიული წინაპირობა იმისა, რომ გაუმარილებულ წყალთან

ერთად, ელექტროდიალიზის დროს ერთდროულად მიღებული იყოს მჟავისა და ტუტის ხსნარები.

[101] სამუშაოს ავტორების მიერ შემოთავაზებულია ხუთკამერიანი ელექტროდიალიზური უჯრედი, რო-მელიც შედგება ერთი გაუმარილების კამე-რისაგან – შემოსაზღვრული კათიონ- და ანიონ მიმოცვლითი მემბრანებით, ორი დაკონცენტრირების კამერისაგან, რომლებშიც არ ხდება საწყისი ხსნარის მიწოდება და ასევე შემოსაზღვრული არიან კათიონ- და ანიონ მიმოცვლითი მემბრანებით და ორი კამერისაგან, რომლებიც შემოსაზღვრული არიან ერთი მხრივ ბიპოლარული, ხოლო მეორე მხრივ – მონოპოლარული მემბრანებით. ამ უკანასკნელ ორ კამერაში წარმოიქმნება შესაბამისად, მჟავა და ტუტე, რომელთა დაკონცენტრირებაც შემდეგ წარმოებს კონცენტრირების კამერებში. 0,5NaCl-ის ხსნარიდან, აღნიშნული ბიპოლარული ელექტროდი-ალიზით მიღებული იყო მარილმჟავისა და ნატრიუმის ტუტის ხსნარები კონცენტრაციით, შესა-ბამისად, 2,5 და 4,0 M, რომლებიც შეიცავდნენ 7%-მდე ნატრიუმის ქლორიდს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც დასამუშავებელი ხსნარის კონცენტრაცია არ არის მაღალი, მემბრანების დიფუზიური გამტარობა უმნიშვნელოა და MB-3 მარკის ბიპოლარული მემბრანები შეიძლება წარმატებით იყოს გამოყენებული მჟავისა და ტუტის ხსნარების მისაღებად სამკამერიან ელექტროდია-ლიზატორში. ამის მაგალითს წარმოად-გენს ბიპოლა-რული ელექტროდიალიზის ეფექტური გამოყენება წყალდამზადების სქემაში, რომელიც აღწერილია [63].

დარბილებული სასმელი წყალი მიეწოდება ბიპოლარულ ელექტროდიალიზატორს, რომლის გამოსასვლელზე მიიღება: ტუტის ხსნარი ($\text{pH}=10,5-11,5$), შემდგომ მას აწოდებენ დამწმენდზე სიხისტის მარილების დასალექად და მჟავას ხსნარი ($\text{pH}=3,5-4,5$), რომელიც დეგაზაციის შემდეგ მიემართება ელექტროდიალიზით დამუშავებისათვის.

სუფთა კონცენტრირებული მჟავასა და ტუტის ხსნარების მიღების პრობლემა [64]-ში გადაწყვეტილია სამკამერიანი აპარატისა და რუსეთის მემბრანების გამოყენებით პროცესის ორ საფეხურად მიმდინარეობის დროს. პირველ საფეხურზე სამკა-მერიანი ბიპოლარული ელექტროდია-ლიზატორის შუა კამერას მიეწოდება დასამუშავებული მარილის ხსნარი, ხოლო მის მეზობელ კამერებს კი – წყალი. ამ შემთხვევაში ბიპოლარულ ელექტროდია-ლიზატორში მიღებული მჟავისა და ტუტის ხსნარები საკმაოდ სუფთაა, ვინაიდან მემბრანები ფუნქციონირებენ განზავებული ხსნარების არეში. მჟავასა და ტუტის ხსნარების შემდგომი დაკონცენტრირება წარმოებს მეორე საფეხურზე ელექტროდიალიზატორ კონცენტრატორში.

ბიპოლარული ელექტროდიალიზით მაღალხარისხოვანი კონცენტრირებული მჟავასა და ტუტის ხსნარების მიღება, როგორც საბოლოო კომერციული პროდუქტისა - შედარებით ძვირი წარმოებაა. მოითხოვს მაღალხარისხოვან, მაგრამ ძვირ, იაპონური ან ამერიკული წარმოების ბიპოლარული მემბრანების გამოყენებას, ან დიდ ენერგოხარჯებს უფრო იაფი რუსული მემბრანების გამოყენების შემთხვევაში.

გაცილებით პერსპექტიულია ბიპოლარული ელექტროდიალიზის გამოყენება ისეთ ტექნოლოგიურ სქემებში, სადაც მისი გამოყენება საშუალებას იძლევა დანაკარგების გარეშე განხორციელდეს წყლის ან ღირებული პროდუქტების რიგი თანმიმდევრული გარდაქმნები და ცირკულაცია. ამ შემთხვევაში ეფექტი მიიღწევა მჟავისა და ტუტის მიღების და შემდგომი გამოყენების, ან პროცესში ცირკულირებული ხსნარის pH-ის გადანაცვლების ხარჯზე. ბიპოლარული ელექტროდიალიზისადმი ასეთი მიდგომა შესაძლებელს გახდის იგი გამოყენებული იყოს ამინომჟავების მისაღებად მათი მარილებიდან, ამინომჟავების სინთეზისათვის, მცი-რედხსნადი მჟავებისა და ფუძეების მისაღებად მათი მარილთა სნარებიდან და სხვა.

ბიპოლარული მემბრანების მიერ H^+ და OH^- იონების გენერირების უნარის გამოყენების პერსპექტიულ სფეროს წარმოადგენს ბიპოლარული ელექტროდიალიზის გამოყენება ე.წ. ტექნოლოგიური ხსნარების pH-ის რეგულირებისათვის. ცნობილია, რომ წარმოების ყოველ სახეს გააჩნია წყალმოხმარების ნორმები. ასე მაგალითად, წყალ-დამზადებაში კოაგულაციის პროცესის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული დასამუშავებელი წყლის pH-ზე. ვინაიდან მისი ოპტიმალური (10,0-10,5) მნიშვნელობის დროს მიიღწევა წარმოქმნილ მეტალთა ჰიდროქსიდების მინიმალური ხსნადობა და მაქსიმალური მექანიკური სიმტკიცე. ასევე, თბო- და ატომური ენერგეტიკის მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლად მაღალ-ხარისხოვანი წყლის

წყალდამზადების სისტემებში გამოყენებულია იონიტები, რომლებიც დროთა განმავლობაში ექვემდებარებიან მჟავა-ფუძე რეაგენ-ტებით რეგენერაციას. რეგენერაციის შემდეგ მიღებული ტექნოლოგიური ხსნარი კანალიზაციაში გადაღვრამდე კვლავ ექვემდებარება სანიტარული მოთხოვნების შესაბამისად გადამუშავებას, რომლის დროსაც კვლავ იხარჯება რეაგენტების დიდი რაოდენობა. ორგანიზაციის შემდეგ წყალში მარილშემცველობის გაზრდა კი იწვევს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. მაგალითად, ცნობილია, რომ ყოველწლიურად თბო- და ატომური ელექტროსადგურები წყალსაცავებში გადაღვრიან 780 – 800 ათას ტონა მარილს [13].

მასასადამე, რეაგენტებზე გაწეული ხარჯების გარეშე სხვადასხვა წარმოების ტექნოლოგიური ხსნარების pH-ის კორექტირება მეტად აქტუალურია და ეკონომიურად გამართლებულია.

ელექტროდიალიზი იონმიმოცვლითი და ბიპოლარული მემბრანებით წარმატებით გამოიყენება ციტრუსოვანთა წვენების დასამუშავებლად. ასეთი წვენების განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს მათი მჟავე გემო, განპირობებული იმ ორგანული მჟავე-ებით, რომლებსაც სხადასხვა რაოდენობით შეიცავს ყველა სახის ციტრუსოვანთა წვენი.

ჩვეულებრივ, მჟავიანობა განისაზღვრება როგორც წვენში არსებული მჟავების ჯამური კონცენტრაცია. ციტრუსოვანთა წვენები შეიცავენ ბუნებრივ დანამატებს და სანელებლებს. ლიმონ-მჟავას ერთნაირი რაოდენობის შემცველი წვენები გემოვნებით ხშირად

სხვადასხვა სიმჟავისაა. წველების მჟავიანობა კომპენსირდება ტკბილი გემოთი, რაც მოითხოვს შაქრის დამატებას.

ციტრუსის წვენი წარმოადგენს ბუფერულ ხსნარს, რომელიც შეიცავს სუსტ მჟავებს (ლიმონის) და სუსტი მჟავების მარილებს, ძირითადად კალიუმის მარილებს. [102] სამუშაოში დადგ-ნილია, რომ წვენში (მაგ. გრეიფურტის) მარილთა კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა მთელი სე-ზონის განმავლობაში ერთნაირია და pH-ის ცვლილება აიხსნება თავისუფალი მჟავიანობის ცვლილებით. ნაჩვენებია, როს არსებობს წვენების მჟავიანობის კორექციის სამი მეთოდი: უშუალოდ შაქრის დამატება, მჟავის განეიტრალება ტუტის დამატებით და იონმიმოცვლითი მეთოდი.

[102] სამუშაოში შემოთავაზებულია pH-ის კორექციის იონმიმოცვლითი ხერხი და შესაბამისი კონსტრუქცია, წვენის pH-ის ასამაღლებელი უჯრედი წარმოადგენს სამკამერტიან მოწყობილობას, გაყოფილ სამ ნაწილად ორი ანიონიტური მემბრანით. იონმიმოცვლა მიმდინარეობს ცენტრალურ ნაწილში მემბრანებს შორის გამავალ წვენსა და მის მარჯ-ვნივ და მარცხნივ გამავალ NaOH-ის ხსნარს შორის . პროცესი ანალოგიურად მიდის იმ შემთხვევაშიც , როცა საჭიროა წვენის pH-ის შემცირება, მხოლოდ ანიონიტური მემბრანების ნაცვლად გამოიყენება კათიონიტური მემბრანები. წვენების pH-ის რეგუ-ლირების დიაპაზონი, რომელიც მოცემული დანადგარით ხორციელდება, შეადგენს 0,5 –ს.

წვენების გადამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის შემდეგ მიღებული კონცენ-

ტრატების გადამუშავების და ნარჩენების უტილირების საკითხები განხილულია სამუშაოებში [103-36] .

[103] სამუშაოში შესწავლილია ლიმონმჟავას გამოყოფის პროცესი მისი სამნატრიუმიანი მარი-ლიდან ელექტროდიალიზის მეთოდით. Dდად-გენილია, რომ რაც უფრო დაბალია კამერაში ნაკადის სიჩქარე, მით უფრო მალე ტრანსფორ-მირდება ნატრიუმის ციტრატი ლიმონმჟავად; ტრანსფორმაციის სიჩქარე წრფივ დამოკიდებ-ბულებაშია პროცესის ხანგრძლივობასთან, მხოლოდ როცა გარდაქმნის ხარისხი აღწევს 90-95% -ს, ტრანსფორ-მაციის სიჩქარე მცირდება; რაც უფრო მაღალია დენის სიმკრივე მით დიდია პროცესის სიჩქარე, ტემპერატურის გაზრდით იზრდება დენის სიმკრივე. [103] ავტორებმა ციტრატის სრული ტრანსფორმაცია ლიმონმჟავად მოახდინეს MK-40 კათიონიტური მემბრანებისაგან შემდგარ სამკამერიან ელექტრო-დიალიზატორში. მიღებული კონცენტრატი შეიცავდა 53% ლიმონმჟავას , სხვა ორგანული და მინერალური მჟავების რაოდენობა შეადგენდა 47%.

[104] - ში შეისწავლებოდა საფუარის საშუა-ლებით მიღებული ფერმენტატული ხსნარების ელექტროდიალიზური პროცესი. Dდადგენილია, რომ სამნატრიუმიანი ციტრატის ლიმონმჟავად გარდაქ-მნის სიჩქარე პირდაპირპროპორციულია დენის სიმკრივის. სამნატრიუმიანი ციტრატის 50 გ./ლ საწყისი კონცენტრაციისა და 0,05 ა/სმ² დენის სიმკრივის პირობებში გარდაქმნის საშუალო სიჩქარეა 3 გრ.ექვ./სთ.მ², ხოლო 0,1 ა/სმ² დენის სიმკრივისას - შესაბამისად 58,2 გრ.ექვ/სთ.მ².

[105] -ში აღწერილია ლიმონმჟავას სამრეწველო წარმოების დროს წარმოქმნილი ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ელექტროდიალიზური პროცესი. დადგენილია, რომ აპარატის მუშაობის დროს მემბრანის ელექტრული წინააღმდეგობა იზრდება რაც ელექტროენერჯის ხარჯის გაზრდას იწვევს.

[106] სამუშაოში ელექტროდიალიზი გამოყენებულია ყურძნის წვენის სტაბილიზაციისათვის. გაკეთებულია დასკვნა იმის შესახებ. რომ მემბრან-ული ტექნოლოგია არა მარტო მაღალ-სელექტიურია, არამედ იმავდროულად მნიშვნე-ლოვნად იაფია სეპარაციის სამრეწველო პროცესებს შორის. მნიშვნელოვან ღირსებად ითვლება ის, რომ დამუშავებულ პროდუქტს უცვლელად უნარჩუნდება ქიმიური შედგენილობა და შესაბამისად, გემოვნური თვისებები.

ამრიგად, ელექტროდიალიზური ტექნოლოგიით, მონო- და ბიპოლარული მემბრანების გამოყენებით შეიძლება გადაწყდეს მრავალი აქტუალური პრობლემა: წყლის რაციონალური გამოყენების, მეორადი რესურსების უტილიზაციის, ეკოლოგიური გაჭუჭყიანების, ნედლეულის კომპლექსური გადამუშავების და სხვა.

ლიტერატურა:

- 1.Н.А. Платэ. Мембранные технологии – авангардное направление науки и техники XXI века. [http: // www. chem.net.ru/rus/journals/membranes//](http://www.chem.net.ru/rus/journals/membranes//).
- 2.В.И. Заболоцкий, Н.П. Березина, В.В. Никоненко, В.А. Шапошник, А.А. Цхай. Развитие электродиализа в России. [http: // www. chem. msu. su/rus/-journals-membranes/](http://www.chem.msu.su/rus/-journals-membranes/).
- 3.Вилсон И.Р. Деминерализация методом электродиализа. – М.: 1963 г.- 350 с.
4. Технологические процессы с применением мембран. – Под ред. Р. Лейси и С. Леба. Перевод с англ. к.х.н. Л.А. Мазитова и Т.М. Мнацаканян./ Под ред. к.х.н. Л.А. Мазитова. – М.: «Мир», 1976. – 370 с.
5. Willians e. Katz, вице-президент корпорации “Ионикс “. Представлено на 5-ой ежегодной встрече Ассоциации усовершенствования водных ресурсов. Сан-Диего, Калифорния, июль 1977 г. Бюл. ТР 305.
- 6.Григоров О.Н., Козьмина З.П., Маркович А.В., Фридрихсберг Д.А. Электрокинетические свойства капиллярных систем - М.-Л.: Изд. АН СССР, 1956 г
- 7.Салдадзе К.М., Пашков А.Б., Титов В.С. Ионообменные высокомолекулярные соединения. – М.: ГЛИ. – 356 с.
- 8.Ласкорин Б.И., Смирнова Н.М., Гантман М.Н. Ионообменные мембраны и их применение. – М.: Госатомиздат, 1961. – 287 с.
9. Нефедова Г.З., Климова З.В., Пашков А.Б., Брауде К.П., Базикова Г.Д., Фрейдлин Н.Г., Жуков М.А. Технология получения и стандартные характеристики ионитовых мембран.// В сб.: Электрохимия ионитов. – Краснодар. Кубгу , 1977., с. 3-15.

10. Сенявин М. М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия, 1980. - 270 с.
11. Гуль В. Е., Федюкин В. Л., Догаткин Б. А. Коллоид Ж., 1953. т. 15, N 1, с.11-19.
12. Хванг С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения . / Пер с англ. Е. П. Моргуновой и Ю. Н. Жилина. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1981. - 464 с.
13. Салдадзе К.М. и др. Ионообменные мембраны в электродиализе / Под ред. Салдадзе К.М. - Л.: Химия, 1970 г. -192 с.
14. Джуда В. – Патент США, 2660558 (1953).
15. Бодомер Г.В. - Патент США, 2681319, 2681320 (1954).
16. Титов В.С., Пашков А.Б.- Авторское свидетельство, 102133 (1955).
17. Титов В.С., Петров Г.С., Акутин М.С., Салдадзе К.М., Пашков А.Б.- Авторское свидетельство, 106583 (1956).
18. Титов В.С. – Пластические массы , 3, 45, 1959.
19. Ганулевич Н.Е.- Авторское свидетельство. 146940, (1961).
20. Пашков А.Б. и др. – Сб. «Химически активные полимеры и их применение. Под ред. Салдадзе К.М. – М.: «Химия», 1969, с. 81-86.
21. Пашков А.Б. и др. – Сб. Ионообменные мембраны в электродиализе. Под ред. Салдадзе К.М. - Л.:Химия. 1970, с. 5-11.
22. Moier K.H., Strauss W. Helv. Chim. acta, 23, 765, 1940.
23. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена . / Пер. с нем. Ф. А. Белинской и

- О.К. Стефановой. Под ред. С.М. Чернобыльского./ - М.: Иностранная литература. 1962 - 490 с.
24. Ионитовые мембраны. Гранулаты. Порошки. - Каталог. НИИ Пластических масс НПО "Пластмассы". М.: 1977, 32 с.
25. Гнусин Н. П., Березина Н. П., Бекетова В. П. и др. Структурные и геометрические параметры гетерогенных ионообменных мембран., Электрохимия ионитов Краснодар: 1979. с. 73.
26. Ги Бура. Способы получения гомогенных анионитовых мембран. Авторское свидетельство N - 350261 Н. Кл. с 08 I 19/00, с 08. I/34.
27. Брауде К. П., Пашков Ю. М., Нефедрова Г. З. и др. Влияние условий получения гомогенных ионитовых мембран на их электропроводность - В кн.: Тез. Докл. Всесоюз. Конф. "Применение электродиализа мембранно-сорбционной технологии очистки и разделения веществ." 12- 14 ноября 1984 г Батуми, Черкассы, 1984, с. 56-57.
28. Blok M., Kit Chener I. A. Polarization phenomena in commercial ionexchange membranes. - I Electrochem. Soc., 1966, vol. 113, no. 9, p. 947-953.
29. Певницкая М. В., Лаврентьев Ю. Г., Урусов К. Х., Варенцов В. К. Ионообменные мембраны в электродиализе. М.: Химия, 1972, - 249
30. Николаев Н. И., Чувилева Г. Г., Семенова И. А. Селективность гомогенных ионообменных мембран - В кн. Тез. докл. Всесоюз. конф. "Электрохимическое обессоливание морской и минерализованных вод." 14-16 апр. 1976 г. Батуми. Черкассы. 1976 г. с. 21-23.

31. Майзель Н.С., Брауде К.П., Гержкод В.Е. и др. Исследование физико-механических свойств матриц и мембран на основе сополимеров полиэтилена и полистирола структурированного дивинилбензолом. В кн.: Тез. Докл. Всесоюз. Конф. "Применение электродиализа в мембранно- сорбционной технологии очистки и разделения веществ ". 12-14 ноябрь, 1984 г., г. Батуми, Черкассы. 1984 с.70-71.
32. Варенцов В.К. Физико-химические свойства ионообменных мембран и особенности их строения. Автореф. Канд. Дисс. Новосибирск 1971 г.
33. Ионоселективные полимерные материалы и их применение в химической промышленности . НИИТЕХИМ. 1980. с.3-4.
34. Высокотемпературный электродиализ . (F.B. Leits, M.A. Accomadso and W.A. Mekeae. Desalination 1974, 14, p. 33-41)
35. Гетерогенные ионообменные мембраны RALEX. file:// MEGA a.s.
36. Гребенюк В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. М.: Химия , 1980.
37. Доложел Д. Коррозия пластических материалов и резин. М.: Химия. 1964 г.
38. Воробьева Г.Н. Химическая стойкость полимерных материалов. М.: Химия. 1981.-296 с.
39. Резников А.А. Муликовская Е.Р. Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М. Недра. 1970 , - 488с.
40. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д., Певницкая М. В. Электрохимия ионитов. Новосибирск.: Наука, 1972 ,

200с.

41. Кошель Н.Д., Ксенжек О.С., Чередниченко А.С., Саранин О.Л. Исследование массопереноса в мембранах Ж. Электрохимия, 1977. т. XIII. вып.10, с.1534-1539.

42. Вулих А.И. Ионообменный синтез. М. Химия 1973 - 231 с.

43. Ситникова В.В.б Николаев Н.И.б Чувилева Г.Г. Исследование селективности ионообменных мембран I. Поглощение коионов в гетерогенных и гомогенных мембранах. - Ж. Физическая химия. 1978. т. LII, N 7. с. 1704-1708

44. Смирнова Н.М., Глазкова И.Н., Курносова Т.И., Глухова Л.П. Исследование переноса хлоридов и сульфатов через ионитовые мембраны в процессе электродиализа.- Ж. Прикладная химия., 1978. т.L 1, вып. 1, с. 88 -92

45. Ласкорин Г.Н., Смирнова Н.М., Глазкова Н.И., Курносова Т.И. Исследование переноса нитратов и сульфатов через анионитовые мембраны. - В кн.: У Всесоюз. совещ. по электрохимии. Тез. докл. т. 2 - М.: 1974. с. 343-344.

46. Gregor H. P., Wetstone D.M. Specific transport across sitpbonic and carbotulic interepolymer cationselective membranes. - Disc. Faradau soc. 1956 N 21, p. 162-173.

47. Пономарев М.И. Конкурирующий перенос анионов при электродиализе раствора смеси хлорида и сульфата натрия. Ж. Химия и технология воды. 1980. т.2. С. 327-332

48. Пономарев М.И. Чеботарева Ф.Д., Гребенюк В.Д. Конкурирующий перенос ионов Cl^- и SO_4^{2-} через

мембрани МА-40 и МГА-95. – Ж. Химия и технология воды. 1982., т.4. N 4. с. 349-352.

49. Кононов Ю.А. Вревский В.М. Методика дифференцированного определения чисел переноса в ионитовых мембранах при электродиализе растворов электролитов. Ж. Прикладная химия., 19781 т.44. N 4, с. 927 -929

50. Зубец Н.Н., Бобрешова О.В., Харебава Т.Ш., Балавадзе Э.М. К оценке селективности ионообменных мембран. – В кн. Применение ионообменных материалов. Тез. докл. V Всесоюз. Конференций по применению материалов промышленности и аналитической химии. 26-28 мая 1981 г. – Воронеж. 1981. с.128

51. Пономарев М.И. Жигинас Л.Х. Чеботарева Ф.Д., Гребенюк В.Д. Конкурирующая Электродиффузия ионов Na^+ и Ca^{2+} через катионитовую ацетатцелулозную мембрану. Ж. Электрохимия, 1983. т. XIX. вып.3, с 387-390.

52. Гребенюк В.Д. Электродиализное опреснение природных вод. – Ж. Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1987. Т.32, № 6. – с. 648-652.

53. Шапошник В.А., Кинетика электродиализа. – Воронеж.: ВГУ, 1989. – 175 с.

54. Tskhay A. Electromembrane technology of desalination and concentrating solutions of electrolytes// proceedings of scientific and practical conference “Cooperation”.-Almaty, 1972. – p.279

55. Prospectus of Membrane Technologies Company. – М.: , 1977.

56. Заболоцкий В.И., Мудренко А.А., Гнусин Н.П.

- Транспортные характеристики мембран при электродиализном концентровании электролитов.- Ж. электрохимия.-1988,т.24, № 6 – с. 744-750.
57. Гнусин Н.П., Демина Д.А., Березина Н.П. Модельное описание электротранспорта воды в ионообменных мембранах. Ж. электрохимия.- 1990, т.26, № 9 – с. 1098-1104.
58. Гнусин Н.П., Демина Д.А., Березина Н.П. Транспорт воды в ионообменных мембранах во внешнем электрическом поле. – Ж. электрохимия.-1987,т.23, № 9 – с. 1247-1249.
59. Духин С.С., Сидорова М.П., Ярущук А.Э. Электрохимия мембран и обратный осмос. – Л.: Химия. 1991.-128 с.
60. В.П. Дубяга, А.А. Поворов. Мембранные технологии для охраны окружающей среды и водоподготовки. – Крит. технол. мембраны. 2001, №13, с. 3-17.
61. Фомин А.М., Дресвянников А.Ф. «Способ извлечения никеля из водных растворов». Патент РФ №2143960, 2000г.
62. Способ и устройство для удаления из сточных вод Мег и Sludge-free treatment of copper CMP wastes. Пат. 6306282 США, МПК С 02 F 1/46. Advanced Micro Devices, Inc., Dungan Lawrence Sames, Han Leon. №09/225210; Заявл. 04.01.1999; Опубли. 23.10.2001; НПК 205.574. Англ.
- 63.Гребенюк В.Д.,Соболевская Т.Г., Махно А.Г.Состояние и перспективы развития методов очистки сточных вод гальванических производств. “ Химия и технология воды “, т.11 , N 5 , 1989 г. с. 407-421.

64. Гвоздева В.Д., Ксенофонтов Б.С. . Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. - М. : Химия , 1988 г .,-112с
65. Никитин А.Т. Тяжелые металлы и их удаление из стоков, почв.»Экология, охрана природы, экологическая безопасность». М.: изд-во МИНЭПУ, 2000 ,– 648 с.
66. Удаление ионов тяжелых металлов из разбавленных промышленных растворов с помощью ионообменной смолы и электродиализа. Removal of heavy metal ions from dilute process solutions by ion-exchange resin assisted electro dialysis. Spoor Peter B., Janssen L.J. Electrochemistry at the Tum of the Millennium; 51 st Annu. ISE Meet; Warsaw, 3-8 Sept; 2000.- с. 589. Англ.
67. Кашакашвили Г.В., Сванидзе З.С.б, Микадзе О.Ш., Гогичаишвили Б.Г. Загрязнение металлургическими и горнообогательными предприятиями природных вод и способы их очистки. Тез.IV международного симпозиума «Экология человека и медикобиологическая безопасность населения». 2-10 ноября. 2008 г. Испания. Бенидорм. с. 60-62.
68. Отравление тяжелыми металлами. [http://www. sci. aha. ru./](http://www.sci.aha.ru/)
69. Зарубин Г.П., Новиков Ю.В. Современные методы очистки и обеззараживание питьевой воды. М.: Медицина. 1976. -192 с.
70. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М.: стройиздат, 1978.-240 с.
71. Марганец. [http:// www. ortho. ru](http://www.ortho.ru)
72. ПДК загрязняющих веществ в поверхностных водах. [http: //www. ecolife. org. ua](http://www.ecolife.org.ua)

73. Парусов Д.В. Вода в нашем доме. Ж. «Сантехника», №1, №2, 2001 г.
74. Дашибалова Л.Т. и др. Очистка подземной воды от железа и марганца окислительно-сорбционным методом. Материалы всерос. научн.-техн. конф. с международным участием «Новые технологии добычи и переработки природного сырья в условиях экологических ограничений. 26-30 июля 2004 г., г. Улан-Удэ. с.136-137.
75. Удаление растворенного железа, марганца, сероводорода: особенности, методы решения.
<http://www.proektstroy.ru>
76. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д. Электрохимия гранулированных ионитов. Киев:»Наукова думка«. 1977. 178 с.
77. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат. 1986, - 268 с.
78. Писарук В.И., Гребенюк В.Д., Пенкалон Н.И., Муха С.И. Электродиализ умягченной шахтной воды с повышенным содержанием железа. -Ж. «Химия и технология воды», 2, № 4, 1980, с. 349-351.
79. Strathman H. S. Membr. Sci. – 1981. – V. 9, № 1-2. – P.121.
80. Шапошник В.А., Мазо А.А., Фрели Х.П. Экологические аспекты глубокой очистки воды.// Успехи химии. – 1991. – т.60, № 11.- с.2469-2483
81. Гребенюк В. Д. Электродиализ- Киев.: Техника, 1976 г. -85 с.

82. Жолковский Э.Н. Запредельный ток в системе ионитовая мембрана – раствор электролита. Ж. Электрохимия. – 1987. – т. 23, № 3. – с. 180 – 186.
83. Шапошник В.А., Стрыгина И.П., Зубец Н.Н., Милль Б.Е. Деминерализация воды электродиализом с ионообменными мембранами, гранулами и сетками. Ж. Прикладная химия. – 1991. т.64, № 9. – с. 1942-1946.
84. Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Электродиализ разбавленных растворов электролитов: некоторые теоретические и прикладные аспекты.-Ж. Электрохимия. – 1996, т. 32, № 2., с. 246-254.
85. Заболоцкий В.И. Березина Н.П. Никоненко В.В. и др. Развитие электродиализа в России. Кубанский гос.ун-тет. С. 28-30
86. Дуглас Р. Браун. Корпорация “Йоникс” Ж “Йоникс.” Представлено на международ. Симпозиуме Представлено на 44 международ. Конференции Питсбург., октябрь 1983 г. Бюл. ТР 329
88. Мехди Мансури . Корпорация Йоникс. Представлено на 45 ежегодной междун. Конференции по водным ресурсам .,Питсбург , Пенсильвания., октябрь 22 установок с переполусовкой в качестве предварительной деминерализации при обработке бойлерных питательных вод “.
89. Шпиглер К.С. «Ионообменная технология». Под ред. Находа Ф. и Шуберта Дж.-М.: Металлургиздат, 1959.г.
90. Шапошник В.А., Зубец Н.Н., Милль Б.Е., Стрыгина И.П., Бассала О.Д. – Теория и практика сорбционных процессов. 2000, № 26. с. 101-106.
91. Nakajima Mistutoshi. Применение мембранной

- технологии в пищевой промышленности. Kogaku – chem. Eng. , Jap. 2000. 64, № 8. с. 393-396.
- 92.Толокнова Т.В. Зависимость характеристик ионоселективных электродов на лекарственные препараты от растворимости электроактивного вещества. Всерос. конф. «Химический анализ веществ и материалов», Москва, 16-21 апр; 2000: Тез. докл. М.:2000, с.58.
- 93.. Елисеева Т.В., Зяблов А.Н. Влияние гидратации на диффузионный транспорт аминокислот через ионообменные мембраны. – Теория и практика сорбционных процессов. 2000, № 26, с. 107-109.
94. Григорчук О.В., Шапошник В.А., Васильева В.И., Никононко В.В., Метайе Н. Особенности транспорта аминокислот при диффузии через плоскую катионообменную мембрану. – Теория и практика сорбционных процессов. – 2000, № 26, с. 36-42.
95. Аристов И.В., Бобрешова О.В., Елисеев С.Я., Лодяный А.А., Лынова Л.А., Кулинцов П.И. Электропроводность гетерогенных ионообменных мембран в растворах , содержащих аминокислоты. Ж. Электрохимия. – 1999. т. 35. № 6 – с. 714 – 718.
96. Кулинцов П.И., Бобрешова О.В., Аристов И.В., Новикова И.В., Хрыкина Л.А. Механизмы электротранспорта в системах ионообменная мембрана – раствор аминокислоты. -// Электрохимия. – 2000. т.36, № 3. – с.365-368.
97. Захватов Г.И., Егоров Л.Я., Вогачева Л. П. .

Везреагентная очистка в системе оборотного водоснабжения . “ Водоснабжение и сантехника “., 1980 г , N 5, с. 23-24.

98. Гребень В.П. Получение едкого натра и соляной кислоты из морской воды электродиализом с биполярными мембранами. Сообщ. 2. Падение напряжнния на мембранах на мебранах . – В кн.: “Неорганические ресурсы моря” – Владивосток.: 1978г., с. 133-136.

99. Гребень В.П., Козлова-Маркрва К.Н. , Корниенко М.И. .Исследование и разработка электродиализного аппарата с биполярными мембранами для получения химических продуктов – В кн.: “Электрохимия ионитов” – Научн. тр. / Кубан. Гос. ун-т Краснодар.: 1979 г., с. 45 51.

100. Дудник С.Н. , Туголуков В.В. , Нефедова Г.З. и др. Выделение борной кислоты из тетрабората калия методом электродиализа с биполярными мембранами - Научн. тр. / Кубан. Гос. ун-т , Краснодар.: 1979 г. с. 40 45.

101. А.С. 891111 СССР, МКИ В 01 Д 13.02.

Электродиализатор/ В.И. Заболоцкий, Н.П. Гнусин, Н.В. Шельдешов, В.М. Илларионова, Н.Я. Коварский, В.П. Гребень, Н.Я. Пивоваров (СССР). № 29239112/ 23-26 (070821); Заявл. 13.05.80; Оpubл. 23.12.81// Открытия. Изобретения. – 1981. - № 47

102. Решетникова А.К., Котов Н.В. Свойства ионообменных мембран при электродиализной обработке фруктовых соков . Тез. докл. IV Всесоюзной конференции “ Мембранно-сорбционные процессы

разделения веществ и их применение в народном хозяйстве
“ Воронеж. : Сельскохозяйственный институт 1988

103. Лемба Я.К., Крамзака И.П., Раминя Л.О.,
Карклия И.П. Электродиализное концентрирование
цитратных растворов с последующей полной
трансформацией в лимонную кислоту / Рижский
политехнический институт, Экспер. Завод биохимических
препаратов института микробиологии Академии наук СССР. г.
Рига / Тез. докл. Всес. Совещания .” Применение
электродиализа в мембранно- сорбционной технологии
очистки и разделения веществ”, ноябрь, 1984 г.
Батуми.

104. Лемба Я.К., Крамзака И.П. Рижский политехнический
институт, Экспер. Завод биохимических препаратов ин-
ститута микробиологии Академии наук СССР. г. Рига / Тез.
докл. Всес. совещания .” Применение электродиализа в
мембранно- сорбционной технологии очистки и
разделения веществ. Батуми. ноябрь, 1984 г.

105. Ханин А.Б. , Никонова Н.Д. Электродиализ соков
лимонной кислоты . / Гос. проектный и научно- иссл.
ин- т сахарной промышленности. - Ж. Хлебопекарная и
кондитерская промышленность ., 1976 г.

106. Никетич-Флексич Г., Якшич М. Применение
селективных мембран в процессах стабилизации
виноградного сока. Desalination , 1980 г., т. 35 ,с. 317-327
/ Пер. с англ./

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი.....	3
თავი 1. ულტრაფილტრაციული აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიური სქემები და პროცესები, მემბრანები და მათი თვისებები.....	7
1.1 მემბრანული პროცესების პრინციპი, მემბრანები და ტექნოლოგიური სქემა	7
1.2. მემბრანული სისტემების უპირატესობა.....	10
1.3 ულტრაფილტრაცია: პროცესის პარამეტრები, მემბრანული მოდულები.....	11
1.3.1 მემბრანული ფილტრების დამჭერები.....	18
1.4 მემბრანული დანადგარების კონსტრუქცია.....	21
1.5 RO, NF, SW, UF, MF ტიპის მემბრანული დანადგარების გამოყენება.....	22
1.6. მემბრანული ტექნოლოგია კვების მრეწველობაში.....	24
1.6.1 კვების მრეწველობის ფილტრები.....	24
1.6.2 წყლის გაწმენდის ფილტრები კვების მრეწველობისათვის.....	26

1.6.3 წყალი სასმელების წარმოებაში.....	26
1.6.3.1 წყლის გაწმენდის მემბრანული მეთოდების კლასიფიკაცია.....	26
1.6.3.2 წყლის გაწმენდის მემბრანული დანადგარები.....	30
1.6.3.3 ულტრაფილტრაციული დანადგარები წყლის გაწმენდისათვის.....	33
1.6.3.4 წყლის მომზადების კომპლექსური სისტემები..	37
1.6.4. პილოტური და საწარმოო ფილტრაცია.....	41
1.6.4.1 ულტრაფილტრაციული საწარმოო სპირალური სისტემა UF-211 (ნიუჯერსი, აშშ).....	42
1.6.4.2 ულტრაფილტრაციული საწარმოო სისტემა UF-809 ელემენტებით ST3B-8240.....	42
1.6.4.3 მაგიდის ტესტერი ბრტყელი მემბრანით.....	43
1.6.4.4 სპირალური პილოტური სისტემა UUF 201.....	44
1.6.4.5 ულტრაფილტრაციული სპირალური საწარმოო სისტემა UF-809 ელემენტებით ST3B-8240.....	46
1.6.4.6 ულტრა- და მიკროფილტრაციის გამოყენება რძის წარმოებაში.....	47

1.6.4.7 მეორადი რძის ნედლეულის გადამუშავების კომპლექსური დანადგარი.....	50
1.6.4.8 გაფილტვრის ლაბორატორიული დანადგარი SARTOFLOW® Alpha.....	52
1.6.4.9 გაფილტვრის დანადგარი SARTOFLOW® Beta.....	53
1.6.4.10 ინტეგრირებული ფილტრაციული სისტემა SARTOFLOW®10 PH/A DCU.....	54
1.6.4.11 ულტრაფილტრაცია ბიოტექნოლოგიურ წარმოებაში.....	55
1.6.5 ხსნარების კონცენტრირება ულტრაფილტრაციით Vivacell 100.....	57
1.6.6 ერთჯერადი ულტრაფილტრაციული კონცენტრატორები Vivaspin 6, 20.....	59
1.6.7 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow50 (Vivascience)	62
1.6.8 ულტრაფილტრაციული დანადგარი VivaFlow200(Vivascience).....	66
1.6.9 ულტრაფილტრაციული დანადგარი წვეწის და ღვინის გაფილტვრისათვის.....	69
ლიტერატურა.....	71

თავი 2. ელექტროდიალიზური აპარატების კონსტრუქციები, ტექნოლოგიები სქემები და პროცესები. მემბრანები და მათი თვისებები.....	76
2.1. იონიტური მემბრანების მიღების მეთოდები.....	80
2.2. იონიტური მემბრანების სტრუქტურა და თვისებები.....	87
2.3. ელექტროდიალიზური აპარატების კონსტრუქციები და ტექნოლოგიური სქემები.....	101
2.4. ელექტროდიალიზის გამოყენების სფეროები და არსებული პრობლემები.....	111
2.5. ელექტროდიალიზის გამოყენების პერსპექტივა. ბიპოლარული ელექტროდიალიზი.....	124
ლიტერატურა.....	137

გამომცემლობის დირექტორი
ნანა ხახუტაიშვილი

გამომცემლობის რედაქტორი - ლალი კონცელიძე
ტექნიკური რედაქტორი - ედუარდ ანანიძე

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 8.07.2014
ქალაქის ზომა 60*84 1/16
ფიზიკური თაბახი 4.6
ტირაჟი 100

ფასი სახელშეკრულებო

დაიბეჭდა უნივერსიტეტის სტამბაში

ქ. ბათუმი, ნინოშვილის 35