აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ცაგარეიშვილი შალვა

ლუდის ფილტრაციის პროცესების დამუშავება მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით

საინჟინრო მეცნიერების დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დისერტაცია

0409 - სამრეწველო ინჟინერია და ტექნოლოგია

სამეცნიერო ხელმძღვანელი

პროფესორი შოთა რუხაძე

ქუთაისი 2018

სარჩევი

ძირითადი პირობითი აღნიშვნები....4
შესავალი 7
თავი 1. საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა და კვლევის ამოცანები....10
1.1.პროდუქტის დახასიათება და მისი წარმოების თანამედროვე მდგომარეობა....10
1.2.ლუდის ფილტრაცია....12
1.2.1.ლუდის ფილტვრადობის შეფასება....13
1.2.2. ლუდის სტაბილიზაცია....15
1.2.3. ლუდის ფილტრაციის მეთოდები....17
1.3.თანამედროვე მოწყობილობები ლუდის გაკრიალებისათვის....19
1.4.გაყოფის მემბრანული მეთოდები 24
1.4.1.მემბრანების მასალები და სტრუქტურა....24
1.4.2.მემბრანული მოდულები 27
1.4.3.მემბრანული სისტემების კლასიფიკაცია....30
1.4.4.კონცენტრაციული პალარიზაციის მოვლენა 33
1.4.5.თხევადი საკვები არეების მემბრანული დამუშავების აპარატურული გაფორმება....35
1.4.6. მიკრო ფილტრაციის პროცესის მატემატიკური აღწერა. 40
1.5. ძირითადი დასკვნები და კვლევის ამოცანების დასმა....44
თავი 2. მემბრანისა და ლუდის, როგორც ფილტრაციის ობიექტების თვისებების კვლევა....48
2.1. ფილტრაციის ობიექტის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებები 48
2.2. მოდელური ხსნარი და მისი თვისებები 55
2.3. მემბრანების შერჩევის დასაბუთება....56
2.4. მემბრანული სისტემების კონფიგურაციის შერჩევის დასაბუთება 61
2.5. ლუდის სიბლანტის დამოკიდებულება მასში საფუვრის უჯრედების შემცველობაზე 62
2.6. მემბრანების სტრუქტურისა და თვისებების განსაზღვრა 66
2.6.1. საერთო ფორიანობა....66
2.6.2. ფორის ზომები 68
2.6.3. მემბრანების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები 70
2.6.4. მემბრანების ტექნოლოგიური თვისებები 72
თავი 3. ტანგენციალურ რეჟიმში ლუდის მიკროფილტრაციის ექსპერიმენტალური კვლევა..76
3.1. ექსპერიმენტული კვლევის ტექნიკა და მეთოდიკა 76
3.1.1.კვლევის ობიექტები და მეთოდები....76
3.1.2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა....77

3.1.3. ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების მეთოდიკა.....79
3.1.4. პარამეტრების გაზომვის საშუალებები და გაზომვების ცდომილებების ანალიზი 88
3.2. მემბრანის შეკავების ზღურბლის შერჩევა ლუდის ეფექტური გაკრიალებისათვის 90
3.3. მემბრანის შეკავების ზღურბლის შერჩევა ლუდის წინასწარი ფილტრაციისათვის 93
3.4. მემბრანული დამუშავების შემდეგ ლუდის ხარისხობრივი მახასიათებლების კვლევა 96
3.5. ლუდის მიკროფილტრაციის სხვადასხვა პარამეტრების გავლენა მემბრანის გაღწევადობაზე.....98
3.6. უწყვეტი ქმედების მემბრანულ აპარატში ლუდის ფილტრაციის პროცესში იმპულსური რეჟიმის კვლევა.....102
3.7. მემბრანების რეგენერაცია 104
თავი 4. ფოროვანკედლიან არხში სუსპენზიის ფილტრაციის პროცესის მათემატიკური მოდელირება 106
4.1. ამოცანის ფიზიკური დასმა 106
4.2. მათემატიკური ფორმალიზება.....107
4.3. მოდელის განტოლებების ამოხსნა და ანალიზი 112
4.4. მოდელის განვრცობა პოლიდისპერსიულ შემთხვევაზე.....116
თავი 5. კვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენება.....122
5.1. ლუდის გაკრიალების ხაზის უბნის დამუშავება.....122
5.2. ლუდის მიკროფილტრაციისათვის მოწყობილობების დამუშავება.....124
5.2.1. მემბრანული აპარატი ჩასაყვინთი, გასაყოფი ნაკადის მოქმედებით მბრუნავი მფილტრავი ელემენტით. 124
5.2.2. მემბრანული აპარატი მიმართული ნაკადებით.....130
5.2.3. დანადგარი აირით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციისათვის.....135
5.3. მილისებრ არხში ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდიკა.....139
5.4. მემბრანული სისტემების გამოყენებით ლუდის გაკრიალების ხაზის დანერგვის ეფექტურობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები 141
სამუშაოს ძირითადი დასკვნები და შედეგები 145

ძირითადი პირობითი აღნიშვნები

V_p – ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 0,1 მოლი/დმ³ კონცენტრაციის ხსნარის მოცულობა, დახარჯული გატიტვრაზე, სმ³;

K_I – ნატრიუმის ჰიდროქსიდის მუშა ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

K_2 – მუქი ლუდის განზავების კოეფიციენტი;

m – ნიმუშის მასა, კგ;

Π – ფორიანობა, %;

V – ნიმუშის მოცულობა, მ³;

V_c – ნიმუშის თხევადი მდგენელის მოცულობა, მ³;

V_t – ნიმუშის მყარი მდგენელის მოცულობა, მ³;

α –შემადგენელი ელემენტის წილი;

ρ – ნიმუშის სიმკვრივე, კგ/მ³;

ρ_k – ნიმუშის თხევადი მდგომარეობის სიმკვრივე, კგ/მ³;

ρ_m – ნიმუშისმყარი მდგომარეობის სიმკვრივე, კგ/მ³;

m_k – ნიმუშის მასა გაჟღენთვის შემდეგ, კგ;

m_0 – ნიმუშის მასა გაჟღენთვამდე შემდეგ, კგ;

δ – სასაზღვრო ფენის სისქე, მ;

J – გაღწევადობა, მ³/მ²სთ;

J_0 – კუთრი მწარმოებლობა (გაღწევადობა) წყალზე, მ³/მ²სთ;

P – წნევა, მპა;

P_1 – წნევა არხში, მპა;

P_2 – წნევა მემბრანის შემდეგ, მპა;

r_m –მემბრანისწინააღმდეგობა, მ$^{-1}$;

r_b – შეკავებული ნაწილაკების ფენის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა, მ$^{-1}$;

D – გახსნილი ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტი;

c_c – კონცენტრაცია მონალექ ფენაში;

$c_{საწ.}$ – დასამუშავებელი ხსნარის საწყისი კონცენტრაცია;

$c_{საბ.}$ – დასამუშავებელი ხსნარის საბოლოო კონცენტრაცია;

$\bar{c}_n$ –მთელი მიღებული პერმეატის გასაშვალოებული კონცენტრაცია;

β – მასაგაცემის კოეფიციენტი;

$V_{ნს}$ – ნარჩენი საფუვრების მოცულობა, ლ საფუვრები/ჰლ წყალი;

μ – დინამიური სიბლანტე, პა.წმ;

ρ – სიმკვრივე, კგ/მ^3;

d – ლუდის ფარდობითი სიმკვრივე;

x^* – კრიტიკული კონცენტრაცია;

x – მყარი დისპერგირებული ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაცია;

μ_S – თხევადი ფაზის (დისპერსიული არის) სიბლანტე, პა.წმ;

$K_{სტ}$ – მემბრანის სტაბილურობის კოეფიციენტი;

φ – შეკავების უნარი (სელექციურობა), %;

n_1 – გარკვეული ზომის ნაწილაკების რაოდენობა საწყის ნარევში, ცალი;

n_2 – გარკვეული ზომის ნაწილაკების რაოდენობა პერმეატში, ცალი;

K_0 – გარკვეული ზომის ნაწილაკების მიხედვით განთესვის კოეფიციენტი;

w_0 – საწყისი ნარევის ნაკადი, მ^3/მ^{2}სთ;

w_1 – პერმეატის ნაკადი, მ^3/მ^{2}სთ;

Q – გაფილტრული ლუდის მოცულობა, მ^3;

F –ფილტრაციის ზედაპირის ფართი, მ^2;

τ – ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ;

$F_{ეფმ}$ – მილისებრი მემბრანის ეფექტური ფილტრაციის ფართობი, მ^2;

$\bar{v}$ – საშუალო სიჩქარე, მ/წმ;

δ_I – ფარდობითი ცდომილება, %;

K_I – ხელსაწყოს დანაყოფის ფასი;

K_2 – გაზომილი სიდიდის მინიმალური მნიშვნელობა;

ν – სიხშირე, ჰც;

τ_2 – პულსაციის ხანგრძლივობა, წმ;

Ω – გამჭოლობა, %;

ΔP_b – ამპლიტუდა, მპა;

v_t – ნაკადის სიჩქარე, მ/წმ;

$\kappa = \kappa(x, \tau)$ – ფოროვან კედელში სითხის ფილტრაციის სიჩქარის კოეფიციენტი;

r – არხის რადიუსი (არხი ფორიანი კედლებით შერცეულია ცილინდრული), მ;

dx – ელემენტარული მოცულობის სიგრძის ელემენტი;

dN −ელემენტარულ მოცულობაში ნაწილაკების რიცხვის ცვლილება;

$c = (\mu r_0)^{-1}$ − ფილტრაციის კოეფიციენტი დამოკიდებული ფოროვანი არის თვისებებზე;

h_0 − ნალექის და მემბრანის ჯამური სისქე, მ;

k_1 − კოზენის მუდმივა;

S_0 − მყარი ნაწილაკების კუთრი ზედაპირი, მ$^{-1}$;

ε − ფორიანობა, %;

r_2 − მემბრანის პასპორტული წინააღმდეგობა, მ$^{-1}$;

$m_0 = k_v \rho_\tau \bar{l}^3 n_0$ − ნაწილაკების მასური კონცენტრაცია ფილტრის შესასვლელში;

k_v − ნაწილაკების ფორმის კოეფიციენტი;

l − შენაწონების ნაწილაკების ფრაქციული ზომა, ნ;

σ − ნაწილაკების საშუალო ზომიდან საშუალო კვადრატული გადახრა, მ;

შესავალი

ლუდის მხარშველებისთვის თეორიულ და პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს სასმელების მიკრობიოლოგიური და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების სტაბილიზაცია, პროდუქტის უფრო ხანგრძლივი დროით შენახვის მიზნით. თანამედროვე ხისტი კონკურენციის პირობებში ლუდის შენახვის დროის გაზრდა გახდა აუცილებელი პირობა მისი წარმატებით რეალიზაციისათვის. ამაში ლუდის მხარშველებს ჩვეულებრივ ეხმარება ხარისხიანი ფილტრაცია და პასტერიზაცია. ლუდის გამჭირვალობის აუცილებელი ხარისხი ტრადიციულად მიიღწევა ხარისხიანი ფილტრაციით. მოცემულ შემთხვევაში ფილტრაციის ქვეშ იგულისხმება ლუდიდან შეწონილი ნაწილაკების, საფუარის უჯრედების და მიკროორგანიზმების მოცილება [11,12,51].

პირობები, რომლებიც მოეთხოვება ჩამოსხმული ლუდის ხარიხს, აუცილებელს ხდის პროდუქტის მრავალსაფეხურიან დამუშავებას მისი ხარისხის არსებული ნიშნების შენარჩუნებით, რაც არ გაუარესდება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

მართალია მოწყობილობების ყველა არსებული სახეობა კომპლექსურად სრულად აკმაყოფილებს ფილტრაციის პროცესზე წაყენებულ მოთხოვნებს, უზრუნველჰყოფენ ლუდის აუცილებელ ხარისხს და შენახვის ხანგრძლივობას, მაგრამ აქვთ რიგი ნაკლოვანება:

- დამხმარე მფილტრავი საშუალებების აუცილებელი საწარმოო ხარჯები;
- კონსტრუქციების და შესაბამისად ექსპლოატაციის და რემონტის სირთულე;
- ლუდის შედარებით მაღალი დანაკარგი;
- მომსახურების შრომატევადობა;
- მგრძნობელობა გასაფილტრ ლუდში მაღალ ბაქტერიულ დაბინძურებასა და მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციაზე;
- კიზელგურის უტილიზაციის ან ხელმეორედ გამოყენების პრობლემატუ-რობა.

ამავე დროს ფილტრაციის პროცესი ვერ უზრუნველჰყოფს საფუარის უჯრედების და მიკროორგანიზმების სრულ მოცილებას, რომლებიც იწვევენ მეორად გარდაქმნებს მზა პროდუქტში, ამღვრევას ან ამჟავებას, ამიტომ მიკრობიოლოგიური მდგრადობის მისაღწევად ყველა დარჩენილი მიკროორგანიზმი ნადგურდება

პასტერიზაციით, რაც დაკავშირებულია დიდ ენერგეტიკულ დანახარჯებთან და ამავე დროს ცვლის ლუდის ორგანოლეპტიკურ მახასიათებლებს [62,80].

ლუდის ფილტრაციის პროცესში გადასაწყვეტი ამოცანები ხდებიან სულ უფრო მრავალფეროვანი. თუ ოცი წლის უკან მთავარი ამოცანა იყო გაუფილტრავი სასმელის გაკრიალება, დღეს საფილტრაციო განყოფილებაში ხდება ლუდის სტაბილიზაცია და კარბონიზაცია, აქ მასში შეჰყავთ დანამატები, რომლებიც ახდენენ საწყისი ბადაგის მაჩვენებლების კორექტირებას, ხდება ლუდის შერევა [51,79,93]. ამას გარდა ქვეყნებში, რომლებზედაც არ ვრცელდება გერმანული კანონი ლუდის ხარშვის სისუფთავეზე (მისი მიხედვით ლუდის მოსამზადებლედ შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ წყალი, ალაო, სვია და საფუარი) ფილტრაციის ეტაპზე სასმელში შეიყვანება სხვადასხვა დანამატები. ლუდი წარმოადგენს რთულ სისტემას, რომლის კომპონენტების შემადგენლობა დროის მიხედვით იცვლება (პირველ რიგში, საუბარი მიდის რთულ პოლიფენოლურ და ცილოვან შენაერთებზე). როგორი შემადგენელი ნაწილიც არ უნდა მოვაცილოთ ლუდს ეს გავლენას ახდენს მის ორგანოლეპტიკაზე. ფრაქციები, რომლებიც რჩებიან ცუდად გაფილტრულ ლუდში პრაქტიკულად არ ახდენენ გავლენას მის გემოზე. მაგრამ განსაზღვრული დროის გასვლის შემდეგ ისინი იწვევენ არასაურველ რეაქციებს, რომლებიც დამთრგუნველად მოქმედებენ ლუდზე.

მრავალი სპეციალისტის აზრით, სწორედ არა მაღალმა მიკრობიოლოგიურმა დისციპლინამ გახადა ასე პოპულარული ლუდის საწარმოებში პასატერიზაცია, განსაკუთრებით ბოთლებში ჩამოსხმის დროს [74]. ის არის საშუალება მოახდინოს შემდეგ სტადიაზე ყველა შესაძლო მეორადი გარდაქმნის ლიკვიდაცია. მაგრამ პასტერიზაცია აუარესებს ლუდის გემოს. უმრავლესობა უცხოელი ექსპერტისა თანხმდება იმაზე, რომ მემბრანულ ტექნოლოგიას აქვს ყველა შანსი შეავიწროვოს კიზელგური და გავიდეს ძირითადი ტექნოლოგიის დონეზე. იმავე პროგნოზებით ეს შესაძლებელი გახდება არა უადრეს 10 წლისა. [1,11,18,50,51].

მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენება ლუდის გაკრიალების პროცესში საშუალებას მოგვცემს გამოვრიცხოთ არსებული ტექნოლოგიის ყველა წარმოდგენილი უარყოფითი მხარე და გავიდეთ სასმელების თვისებების სტაბილიზაციის პროცესის ახალ დონეზე.

ამიტომ ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს უფრო რაციონალური და ენერგო- და რესურს დამზოგი ტექნოლოგიებისა და აპარატურის ძიება, რომლებიც უზრუნველჰყოფენ ლუდის ეფექტურ გაკრიალებას.

თავი 1. საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა და კვლევის ამოცანები

1.1.პროდუქტის დახასიათება და მისი წარმოების თანამედროვე მდგომარეობა

ფიზიკო-ქიმიური თვალსაზრისით ლუდი წარმოადგენს რთულ ჰეტეროგენურ სისტემას, ეს არის სპირტის, ალაოს ექსტრაქტული ნივთიერებების, ალაოში სვიის შერევით და ლუდის დუღილით მიღებული საგემოვნო არომატული ნივთიერებების წყალხსნარი. ლუდის შემადგენლობა დამოკიდებულია გამოყენებულ ნედლეულზე და ამ ნედლეულზე ჩატარებულ ყველა შემდგომ ტექნოლოგიურ ოპერაციაზე. ქიმიური შედგენლობის ანალიზის მრავალრიცხოვანი შედეგები აჩვენებს, რომ ლუდის სხვადასხვა ტიპში ძირითადი ნივთიერებების შემცველობა დიდად არ განსხვავდება [10,46,48,51]. ლუდის დიდ ნაწილს (91-92%) წარმოადგენს წყალი. ლუდის ერთერთ მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს ეთილის სპირტი და მისი წილი შეადგენს 5%-მდე. ალკოჰოლი ლუდში არის არამარტო ეთილის სპირტის სახით, არამედ ის ყოველთვის არსებობს სხვა მაღალი ალიფატურ სპირტებთან ერთად, რომლებიც წარმოიქმნებიან საფუარების დუღილის დროს ნივთიერებათა ცვლით.

ლუდის ექსტრაქტი შესდგება დაახლოებით 75-80% ნახშირწყლებისაგან, განსაკუთრებით დექსტრინებისაგან (მალტოტეტრაოზები, მალტოპენტავოზი) და შესაძლებელია მალტოტრიოზისაგან, 6-9% ცილოვანი ნივთიერებებისაგან, 4-5% გლიცერინისაგან (გლიცეროლა), აგრეთვე β-გლუკანებისაგან, მინერალური, მთრმილავი და მწარე ნივთიერებისაგან, ორგანული მჟავებისა და რიგი შენაერთებისაგან, რომლებიც ლუდის ხარიხზე ახდენენ დიდ გავლენას, მიუხედავად იმისა, რომ ისინი არიან ძალიან მცირე რაოდენობით [4,10].

ამას გარდა, ლუდი შეიცავს ვიტამინებს, სალეტანის მონაცემებით 1 ლ ლუდში შედის ამ ვიტამინების შემდეგი რაოდენობა: თიამინი (ვიტამინი B_1) 20-60 მკგ, რიბოფლავინი (ვიტამინი B_2) 300-1000 მკგ, პანტოტენის მჟავა 400-800 მკგ, პირიდოკსინი 400-900 მკგ, ჰიაცინი 5-14 მლგ.

ჩვეულებრივი გაკრიალებული ლუდის სამაგალითო ქიმიური შემადგენლობა წარმოდგენილია ცხრილში 1.1. [10,37,51].

ცხრილი 1.1.

ლუდის ქიმიური შემადგენლობა

ნივთიერება	კონცენტრაცია, მგ/ლ
წყალი	91000
ეთილის სპირტი	40000
ნახშირწყლები:	
საერთო შემცველობა	35000
მალტოზა და მალტოტროზა	5000
დეკსტრინები (მალტოტეტრაოზები, მალტოპენტაოზები)	27000
პენტოზები და პენტოზანები	3000
ცილოვანი შენაერთები:	
კოაგულირებადი აზოტი	18-20
აზოტი, დალექვადი $MgSO_4$	130-160
A-ამინური აზოტი (FAN)	80-120
ფორმოლური აზოტი	160-210
უმაღლესი სპირტები:	
-პროპანოლი	9,8
იზობუტანოლი	9,6
ამილის სპირტები	60,1
2-ფენილეთანოლი	19,8
გლიცერინი	500-1600
ნახშირბადის დიოქსიდი	4500
მწარე, მთრმილავი და შემფერი ნივთიერებები	1200
მინერალური ნივთიერებები:	
ნატრიუმი	30-32
კალიუმი	500-600
კალციუმი	35-40

მაგნიუმი ფოსფატები ქლორიდები ნიტრატები	100-110 300-400 150-200 10-80
β-გლუკანები	220-400
ანტოციანოგენები	5-50

თუ ვიმსჯელებთ ექსტრაქტის შემადგენლობით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ლუდი ფლობს ზოგიერთ კვებით ღირებულებას. ნახშირწყლების კალორიულობაა 17 კჯ/გ, ხოლო ცილების 23,8 კჯ/გ. 100 გ ლუდი, რომელიც შეიცავს 6,2% ნამდვილ ექსტრაქტს, აქვს კალორიულობა დაახლოებით 104 კჯ.

ლუდის სიბლანტე დაახლოებით შეადგენს 1,4-1,6 მპა·წმ. უფრო მაღალი სიბლანტე აძნელებს ლუდის ფილტრაციას. ვიცინალური დეკეტონების (დიაცეტილის) მაქსიმალური შემცველობა, რომელიც იზომება დუღილის დამთავრების ბოლოს ჩვეულებრივ შეადგენს არაუმეტეს 0,1 მლგ/ლ. ლუდის pH მნიშვნელობა შეადგენს 4,3-4,7; ხორბლის ლუდისთვის ის რამდენადმე მცირეა 4,3-4,5 [58,61,76].

მაშასადამე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ლუდის კვებითი და ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა ძალიან დიდია.

1.2.ლუდის ფილტრაცია

ფილტრაცია ეწოდება სუსპენზიის გაყოფის პროცესს სპეციალური მფილტრავი ტიხრების გამოყენებით, რომლებსაც უნარი აქვთ შეაკავონ დისპერსული ფაზა და გაატარონ თხევადი. მოცემული პროცესის მამოძრავებელ ძალას ყოველთვის წარმოადგენს ფილტრის შესასასველსა და გამოსასვლელს შორის წნევათა სხვაობა. ლუდის ფილტრაციის მიზანია - გახადოს ის იმდენად მდგრადი, რომ მასში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ მოხდეს არავითარი შესამჩნევი ცვლილება და ლუდმა შეინარჩუნოს თავისი გარე სახე. ფილტრაციის დროს ლუდიდან კიდევ სცილდება დარჩენილი საფუარის უჯრედები და სიმღვრივის სხვა შეწონილი

ნაწილაკები, აგრეთვე სხვა ნივთიერებები, რომლებმაც უახლოეს კვირაში ან თვეში შეიძლება გამოიწვიოს სიმღვრიე [43,47,57,64].

1.2.1. ლუდის ფილტვრადობის შეფასება

ფილტრაციის პროცესი დამოკიდებულია არა მარტო მფილტრავი მასალების ხარისხზე და მათი გამოყენების ხერხებზე, არამედ ლუდის ფილტვრადობაზე. ლუდის ფილტვრადობა - ეს მისი თვისებაა დახშოს ფორები ფილტრაციის დროს. ლუდის ფილტვრადობა დამოკიდებულია ნაწილაკების ზომებზე და ლუდის ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებზე. ნაწილობრივ ლუდის ფილტრაცია განსაზღვრული ხარისხით დამოკიდებულია ნედლეულის ხარისხზე, ბადაგის მიღების ტექნოლოგიაზე და ლუდის დადუღებაზე.

ლუდის ფილტვრადობის შესაფასებლად იყენებენ შემდეგ მეთოდებს [4,61]:

-pH სიდიდის გაზომვა;

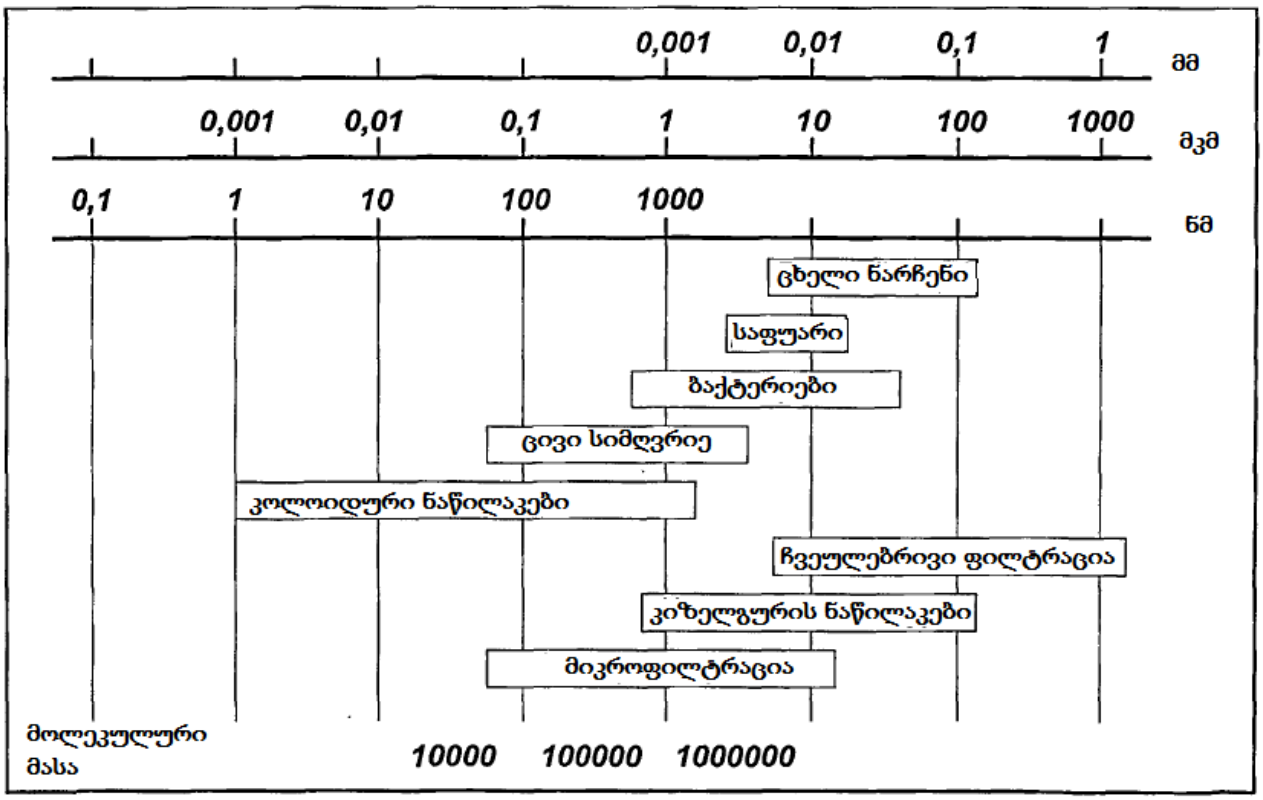
-სიცივე-ალკოჰოლური ტესტი (ხაპონის მიხედვით);

-მემბრანულ-ფილტრაციული ტესტი (ესერის მიხედვით).

ამასთან ერთად, როგორც უთითებს ესერი ლუდის ფილტვრადობის განსაზღვრის საიმედო მეთოდიკა აქამდე არ არსებობს. უპირველეს ყოვლისა ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ შეუძლებელია ტანკიდან ლუდის იმ ნიმუშის აღება, რომელიც საფუარისა და შეწონილი ნაწილაკების შემცველობით დაემთხვევა ფილტრაციაზე მიწოდებული ლუდის მახასიათებლებს.

ნახ. 1.1. ნაჩვენებია ნაწილაკებისა და ფორების ზომები, რომლებთანაც გვაქვს საქმე ფილტრაციის დროს (უნდა გავამახვილოთ ყურადღება, რომ მარცხნიდან მარჯვნივ სკალის თითეული დანაყოფი 10 ჯერ მცირეა წინაზე) [43,51].

მექანიკურ მინარევს შეადგენენ შედარებით დიდი ნაწილაკები, აგრეთვე ბადაგში შემთხვევით მოხვედრილი უცხო საგნები. როგორც წესი ასეთი ნაწილაკები ცოტაა.



ნახ.1.1. ლუდში არსებული ნაწილაკების და მფილტრავი მასალების ფორების საშუალო ზომები

კოლოიდური ნაწილაკები (ნაწილაკის ზომები ნაკლებია 0,1 მკმ) ლუდში ძირითადად წარმოდგენილია ცილებით, პოლიფენოლებით, ცილოვან მთრმთილავი კომპლექსებით, ნახშირწყლებით, ოქსალატებით, რომლებსაც აქვთ, როგორც ჰიდროფილური ისე ჰიდროფობური ხასიათი [51,61,67,68].

ნაჩვენებ კომპონენტებთან ერთად, ლუდი შეიცავს მიკროორგანიზმებს (ცხრ.1.2), რაც არის ერთ ერთი მიზეზი ლუდის ცუდი ფილტვრადობის. მათი მინიმალური ზომა არის 0,5 მკმ, აგრეთვე შეწონილი ნაწილაკები (ნაღერღი, დამხმარე ტექნოლოგიური მასალები და სხვა გარეშე ნაწილაკები), რომელთა ნაწილაკების ზომები მერყეობს 1 დან 60 მკმ მდე. ამასთან დაკავშირებით ლუდში ამოწმებენ საფუარების კონცენტრაციას და საერთო მიკრობულ რიცხვს.

ხ. შაუბი თვლის, რომ ფილტრაციის წინ ლუდში საფუვრის უჯრედების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,4-0,5 მილ./მლლ, მაშინ როცა გ. ანემიულერი უშვებს ფილტრაციის წინ ლუდში საფუვრების კონცენტრაციას 1-3 მილიონი/მლლ [51,61].

ცხრილი 1.2

ზოგიერთი მიკროორგანიზმის ზომები, რომლებიც გვხდება ლუდში

მიკროორგანიზმების ჯიში და სახე	უჯრედების ზომები (სიგრძეXსიგანეზე), მკმ
Saccharomyces cerevisiae (ლუდისაფუარისშტამი)	5,5-13,0X 5,5-10,0
Saccharomyces cerevisiae (ველურისაფუვრები)	4,5-1,0 X 3,5-7,0
Saccharomyces pasterianus	6,5-16,0 X 3,0-4,5
Pediococcus cerevisiae	0,5-1,5
Lactobacillus casei	1,8-5,0 X 0,2-0,4

1.2.2. ლუდის სტაბილიზაცია

იმისათვის, რომ გარანტირებული იყოს ლუდის მდგრადობა მისი ვარგისიანობის მთელი პერიოდის განმავლობაში, აუცილებელია მოვახდინოთ ლუდის ბიოლოგიური და კოლოიდური სტაბილიზაცია. ამას გარდა ლუდის მხარშველმა უნდა გასწიოს დიდი ძალისხმევა ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში ლუდის გემოვნური სტაბილურობის შესანარჩუნებლად [13,51,65,128,129].

ბიოლოგიური სტაბილურობის ქვეშ იგულისხმება დრო, რომლის გასვლის შემდეგაც გამოილექება მიკრობიოლოგიური წარმომავლობის ნალექი. ლუდის გაფუჭების მიზეზად შეიძლება გახდეს მასში ბაქტერიების, საფუვრის და ობის სოკოს განვითარება, განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს ბაქტერიული მიკროფლორა, რომელთა ცალკეული სახეობები ასნებოვნებენ ლუდს მისი წარმოების ხვადასხვა სტადიაზე.

კოლოიდური ამღვრევა წარმოიქმნება კოლოიდების დაძველების დროს, სახელდობრ: ცილების, მთრმილავი ნივთიერებების (პოლიფენოლების), β-გლიკონების და გემიცელულოზის არასრული ჰიდროლიზის პროდუქტების, მელანოიდინების, დეკსტრინების, პენტოზანების. ანსხვავებენ ლუდში კოლოიდური ამღვრევის შემდეგ სახეობებს: ცილოვანი, პოლიფენოლური, ლითონური, ნახშირწყლოვანი, ჟანგვითი, ოკსალატურს, სხვადასხვა ავტორების

მონაცემებით სიმღვრივის ძირითად კომპონენტებს წარმოადგენენ ცილები (40-80%), შემდეგ მოდიან პოლიფენოლები (17-35%), ნახშირწყლები (4-13%) და მინერალური მარილები (1-3%). მათი გამოვლენა დაკავშირებულია უწყვეტ ბროუნის მოძრაობაში მყოფი ცალკეული ლიოფილური მარილების ნაწილაკების ზომების გამსხვილებასთან. ამას გარდა ზოგიერთი კოლოიდური შენაერთის მუხტის დაკარგვის და დეჰიდრატაციის (წყლის დაკარგვის) შედეგად ხდება სხვადასხვა ნაირად დამუხტული კომპონენტების ურთიერთქმედება და მიმიდინარეობს სიმღვრივის წარმოქმნა.

ანსხვავებენ ნაწილაკების ზომებით განსხვავებული სამი ჯგუფის ნალექის წარმოქმნას:

- უხეში დისპერსული ნაწილაკები ზომით 0,1 მკმ, წარმოადგენენ ხილულ ნალექს (ცილოვანი, მთრმილავი და შემფერი ნივთიერებები; საფუვრები, ბაქტერიები);
- კოლოიდური ნაწილაკები ზომით 0,1 მკმ ნაკლები (ცილოვან-მთრმილავი კომპლექსები და კომპლექსები ცილა-ცილა, გუმინივთიერებები, α- და β-გლუკანები);
- მოლეკულურ დისპერსული ნაწილაკები ზომებით 0,001მკმ ნაკლები.

კოლოიდურ ამღვრევას იწვევენ ნაწილაკები, რომლებიც ეკუთვნიან მეორე და მესამე ჯგუფებს. ანსხვავებენ ამღვრევის ორ ტიპს: ცივს (შექცევადი) და შეუქცევადი. ცივი სიმღვრივის ნაწილაკები, როგორც წესი ნაკლებია მუდმივი სიმღვრივის (შეუქცევადი სიმღვრიე) ნაწილაკებზე.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია ლუდის გემოვნებითი მდგრადობის ხანგრძლივად შენარჩუნება - დროის გასვლით გემო შეიძლება გაფუჭდეს: ლუდი ძველდება ორგანოლეპტიკური თვალსაზრისით. რეაქციებს შორის, რომელსაც ლუდს შეუძლია მისცეს სიძველის გემო, უფრო მეტი მნიშვნელობა აქვს ჟანგვით პროცესებს. ამ დროს წარმოქმნილ ნივთიერებათა უმრავლესობაა - კარბონილები (ალდეჰიდები). კარბონილები არის სპირტების ჟანგვის პროდუქტი და ხასიათდებიან -CHO ჯგუფების არსებობით.

მაშასადამე ბიოლოგიური, კოლოიდური და გემოვნებითი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად ლუდის საფილტრაციო მოწყობილობამ უნდა შეასრულოს შემდეგი მოთხოვნები [15,17,38,67,69,103]:

- საფუარის უჯრედების, ბაქტერიების და მსხვილი ცილოვანი შენაერთების სრული მოცილება;
- ფილტრაციის ტემპერატურა -1...0°C, ცივი სიმღვრივის ნაწილაკების მოცილების მიზნით;
- დაუცველ ლითონურ ზედაპირებთან (გარდა უჯანგავი ფოლადისა) ლუდის შეხების გამორიცხვა;
- ლუდიდან პოლიფენოლების ნაწილობრივი მოცილება;
- ლუდში ჟანგბადის ნებისმიერი მოხვედრის გამორიცხვა;
- წარმოებაში სანიტარული პირობების დაცვა.

ბევრ ლუდისსახარშ საწარმოში ლუდის ფილტრაციის პროცესი ვერ უზრუნველჰყოფს მიკროორგანიზმების და ცილების, რომლებიც წარმოქმნიან სიმღვრივეს სრულ მოცილებას. ამიტომ ბიოლოგიური მდგრადობის უზრუნველსაყოფად ყველა დარჩენილი მიკროორგანიზმი ნადგურდება -ტარდება პასტერიზაციის პროცესი, ხოლო კოლოიდური სტაბილურობა მიიღწევა მასტაბილირებელი საშუალებების: სილიკაგელის, პოლივინილპოლიპიროლიდონის და ანტიოქსიდანტების გამოყენებით [16,36,51,61].

1.2.3. ლუდის ფილტრაციის მეთოდები

მღვრიე ნივთიერებების პირდაპირი გაფილტვრა ნახევრადგაღწევადი ტიხრების გავლით პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც ცილოვანი ბურბუშელასა და მიკროორგანიზმებისაგან წარმოქმნილი მფილტრავი ფენა ძლიერადაა შეკუმშული და ამის გამო ძნელად გაღწევადია. ამიტომ ფილტრაციის დროს უნდა გამოვიყენოთ მფილტრავი მასალების მუდმივი ფენა ან შესაბამისი ფილტრაციული საშუალება. ამაზე დამოკიდებულებით ანსხვავებენ ნაწილაკების დალექვის შემდეგ მექანიზმებს [18,41,43,51,57]:

- ზედაპირული ფილტრაცია (ნაწილაკებს არ შეუძლიათ შეაღწიონ მფილტრავი ტიხრის ფორებში, რჩებიან ზედაპირზე და წარმოქმნიან მზარდი სისქის ნალექს, ამ

ფენის გაზრდით ფილტრაცია ხდება უფრო ღრმა, მაგრამ ფილტრატის ნაკადი სულ უფრო მცირდება);

- სიღრმითი ფილტრაცია (ფართოდ გამოიყენება მაღალფოროვანი მასალები, რომლებიც ხასიათდებიან განვითარებული ზედაპირით და ლაბირინთული სტრუქტურით, ასე რომ სითხე იძულებულია გაიაროს გრძელი გზა). ამ დროს ნაწილაკები ილექებიან:

ა) მექანიკური ეფექტის წყალობით, თავის ზომის გამო იჭედება მასალის სისქეში, ფორები ნელა იხშობა და ფილტრატის გაღწევადობა ეცემა;

ბ) ადსორბციის წყალობით, წვრილი ნაწილაკები ატარებენ ელექტრულ მუხტს განსხვავებულს ზედაპირის მუხტისაგან, ამის გამო ისინი ადსორბირდებიან.

მფილტრავ ტიხრებად შეიძლება გამოვიყენოთ [51,107,123]:

- ყველა სახის ბადე, მაგალითად ლითონის და ღარისებური ბადე ან ბადე დახვეული მავთულის სახით, როგორც სანთლისებრ ფილტრებში;

- ლითონური ან ტექსტილის ქსოვილი; ლითონური ქსოვილი ადვილად ირეცხება და დეზინფიცირდება, თუმცა თანამედროვე ტექსტილის ქსოვილი, მაგალითად დამზადებული პროპილენის ფუძეზე ბევრ პოზიციით არ ჩამორჩება ლითონურს, მაგრამ ისინი არ გამოიყენებიან ლუდის ფილტრაციისათვის, რადგანაც ცუდად სტერილიზდებიან;

- მფლტრავი ფენები ცელულოზისაგან, ბამბისაგან, კიზელგურისაგან, პერლიტისაგან, მინის ძაფებისაგან და სხვა მასალებისაგან (აზბესტის გამოყენება აკრძალულია ჯამრთელობაზე მავნე ზემოქმედების გამო) ფართოდ გამოიყენება;

- ნაყარი მასალები, მაგალითად ხრეში წყლის გასაფილტრად, მონალექი ფენები დამხმარე მფილტრავი საშუალებებისაგან;

- ფოროვანი მასალები, ისეთები როგორიცაა მეტალო-კერამიკული შენადნობები ან კომპოზიციური ლითონები;

- მემბრანები.

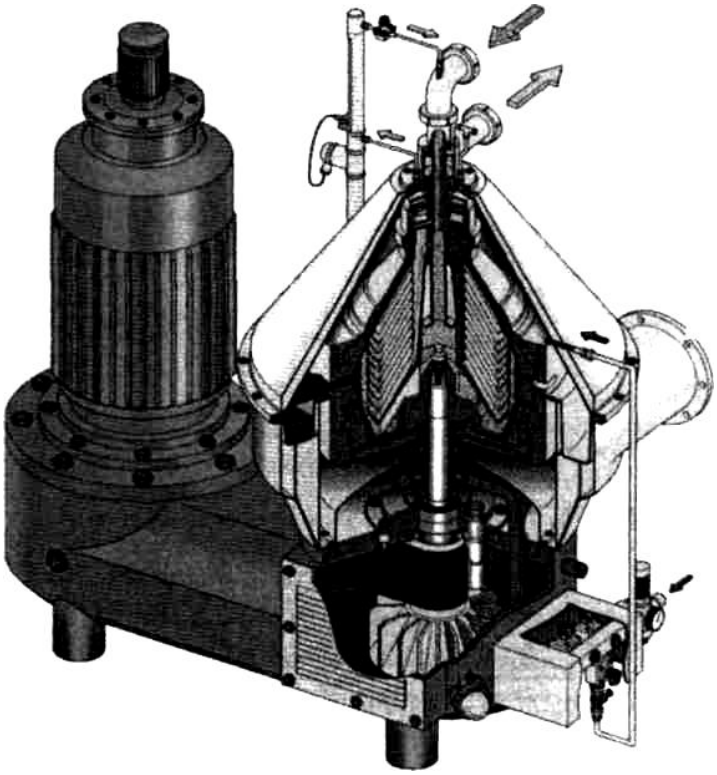
თანამედროვე საწარმოებში ფილტრაციის ყველაზე გავრცელებული ხერხია ფილტრაცია მონალექი ფენის გავლით. მფილტრავ ტიხრად მოცემულ შემთხვევაში გამოიყენება წვრილ დისპერსიული ფხვნილისაგან - დიატომიტისაგან ან პერლიტისაგან მიღებული მონალექი ფენა. მოსაცილებული ნაწილაკები კავდებიან

ფენის ზედაპირზე ან ფორებში და მასთან ერთად გამოიდევნებიან ფილტრიდან ციკლის დამთავრების შემდეგ.

1.3.თანამედროვე მოწყობილობები ლუდის გაკრიალებისათვის

საფილტრაციო ხაზი მოიცავს ყველა მოწყობილობას დასაძველებელი ტანკებიდან ჩამოსხმის ხაზამდე. მაღალი მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენება ჩამოსხმულ ლუდს, აუცილებელს ხდის პროდუქტის მრავალსაფეხურიან დამუშავებას, ამავდროულად აუცილებელია შევინარჩუნოთ ყველა არსებული ხარისხის ნიშნები და გამოვრიცხოთ შემდგომში ხარისხის ცვლილების ალბათობა. მაშასადამე, ფილტრები ფილტრაციის ხარისხის მიხედვით შეიძლება დავყოთ შემდეგ ჯგუფებად:

- უხეში ფილტრაცია;
- გამაკრიალებელი ფილტრაცია;
- დახვეწილი ფილტრაცია;
- ფილტრაცია მიკროორგანიზმების შემცირებული შემცველობით;
- გამაუვნებელმყოფელი ფილტრაცია [3,36,42,43,50].



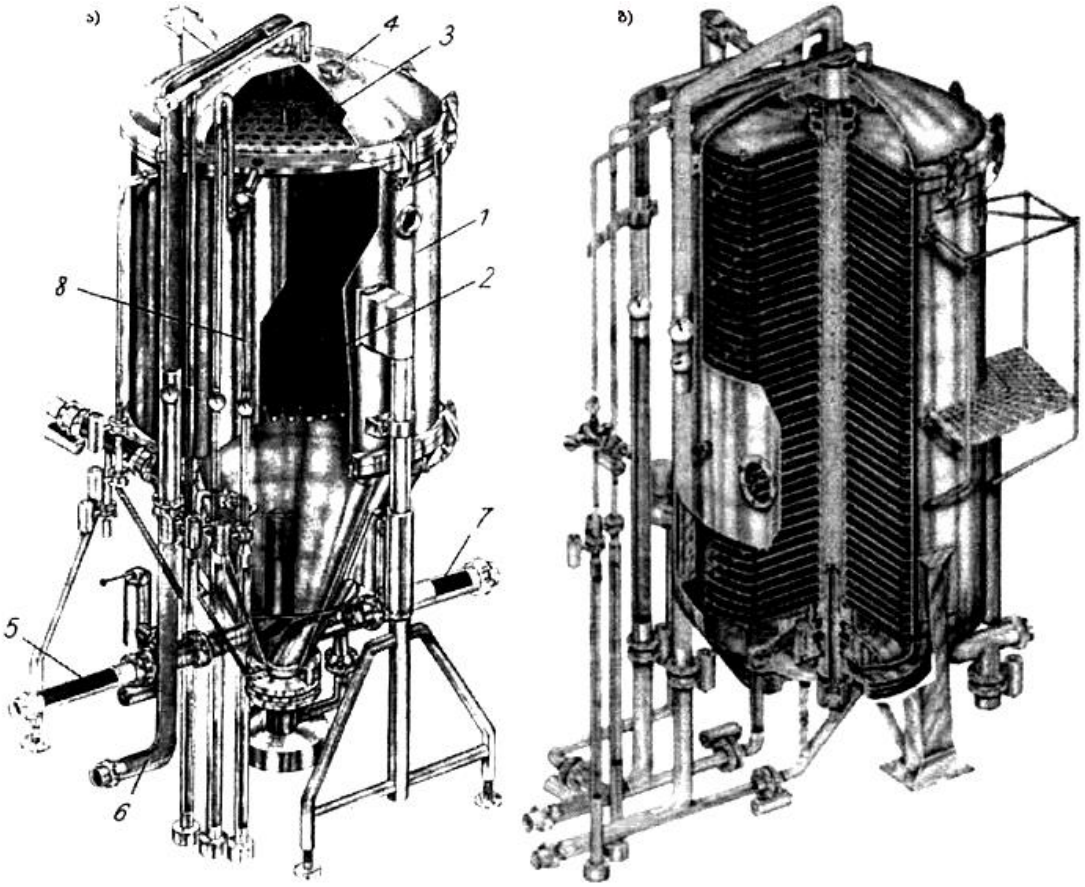
ნახ.1.2. თეფშებიან-დოლური სეპარატორი ლუდის გაკრიალებისთვის

ლუდის წინასწარი გაკრიალების კლასიკურ მეთოდს წარმოადგენა თეფშებიან-დოლური სეპარატორის (ნახ.1.2.) გამოყენება. თეფშებიანი დოლი შედგება დიდი რაოდენობის კონუსური თეფშისაგან. თეფშების შუაში გვაქვს ნახვრეტები, რომლებიც წარმოქმნიან ამწევ არხებს, სეპარირებადი არის გასანაწილებლად. მბრუნავი დოლური პაკეტი სუსპენზიას ყოფს შემდეგნაირად: გაუკრიალებელი ბადაგი მიიყვანება ამწევ ნახვრეტებთან ქვემოდან და აიწევა ზემოდ. ამ დროს უფრო მძიმე შეწონილი ნაწილაკები აწვებიან თეფშების კედლებს და მისრიალებენ მათ ქვედა მხარეს გარეთ-ქვემოდ. უფრო მსუბუქი ბადაგი პირიქით, მოძრაობს თეფშის ზედა მხარეს შიგნით-ზემოთ და შეიძლება გამოიდევნოს. დალექვის მოკლე გზის გამო ეს პროცესი მიმდინარეობს ძალიან სწრაფად. სეპარატორი აცილებს საფუვრის უჯრედების დიდ ნაწილს და ინარჩუნებს მუდმივ დონეზე ფილტრზე დატვირთვას. ეს საშუალებას იძლევა გამოვრიცხოთ „საფუარის დარტყმები“, რომლებიც აღიძვრებიან ტანკიდან ფილტრზე ლუდის მიწოდების დასაწყისში და ტანკის სრული დაცლის მომენტში [47,51,63].

როგორც უკვე ზემოდ აღვნიშნეთ დახვეწილი ფილტრაცია ხორციელდება მონალექ ფილტრებზე. თანამედროვე პირობებში ყველაზე მეტი გავრცელება ჰპოვა სანთლისებრმა, ბადროიანმა და ჩარჩოებიანმა მონალექმა ფილტრებმა. აუცილებელია აგრეთვე აღვნიშნოთ, რომ მოცემულ მოწყობილობაზე შეიძლება ვაწარმოოთ ფილტრაცია მიკროორგანიზმების დაბალი შემცველობით, უხეში, გამაკრიალებელი და „მასტერილებელი“ ფილტრაცია. ფილტრაციის დახვეწა აქ დამოკიდებული იქნება მფილტრავი საშუალებების გრანულომეტრულ შემადგენლობაზე, რომელიც ახასიათებს ზომების მიხედვით ფრაქციებად დაყოფილი ნაწილაკების პროცენტულ შემცველობას.

სანთლისებრი (ჰილზური) ფილტრი (ნახ.1.3 ა) [51] - ეს არის ვერტიკალური ცილინდრული ჭურჭელი კონუსური ფსკერით, შეუძლია ჭარბი წნევის ატანა. ფილტრის სახურავის ქვემოდ მოთავსებულია პერფორირებული ბადრო, რომელზედაც დამაგრებულია მფილტრავი ელემენტები - სანთლები. სანთელი წარმოადგენს პერფორირებულ ცილინდრს მასზე დახვეული პროფილური მავთულით. ფილტრში რამოდენიმე ასეული სანთელია, რაც ქმნის ძალიან დიდ მუშა ზედაპირს და აპარატის მაღალი მწარმოებლობის გარანტიას იძლევა. ლუდი იტუმბება

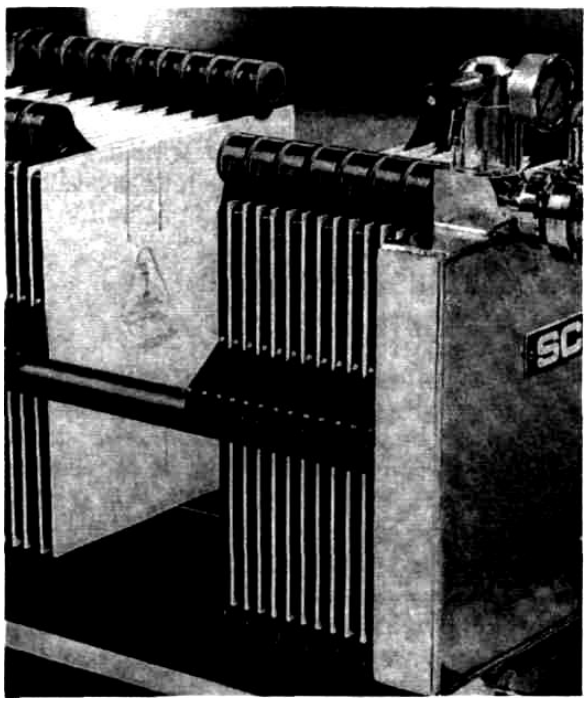
სანთლებსშორის არეში და კიზელგურის მონალექ ფენაში გავლით კრიალდება და გადაიტუმბება აპარატის ზედა ნაწილიდან.



ნახ.1.3 მონალექი ფილტრები დახვეწილი ფილტრაციისათვის - ა) მონალექი სანთლებიანი ფილტრი; ბ)მონალექი ბადროებიანი ფილტრი

მონალექი ბადროიანი ფილტრი (ნახ.1.3 ა)წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრს, რომლის შიგნითაც ვერტიკალურ ღრუტანიან ლილვზე დამაგრაბულია ბადროსებრი მფილტრავი ელემენტები, რომლებზედაც გადაჭიმულია ქრომნიკელის მავთულის ქსოვილი უჯრედის სიგანით 50-80 მკმ. ფილტრაცია ბადროიან ფილტრზე სანთლიანის ანალოგიურია [43,47,49,51,79].

ჩარჩოიანი მონალექი ფილტრ-წნეხი შესდგება მორიგეობით განლაგებული ჩარჩოებისა და ფილებისაგან. ფილებზე ორი მხრიდან თავსდება საყრდენი მუყაო, და ფილტრის შეკუმშვის შემდეგ ჩარჩოებში იქმნება ღრუ არე კიზელგურის მოსალექად. კიზელგური წინასწარი ფენების დასატანად, და შემდეგ ფილტრაციის პროცესში დოზირებული კიზელგური მიეწოდება ჩარჩოებში ზემოდან და ქვემოდან და ქმნის სულ უფრო სქელ ფენას.ფილტრაციისათვის მიკროორგანიზმების რიცხვის დაბალი

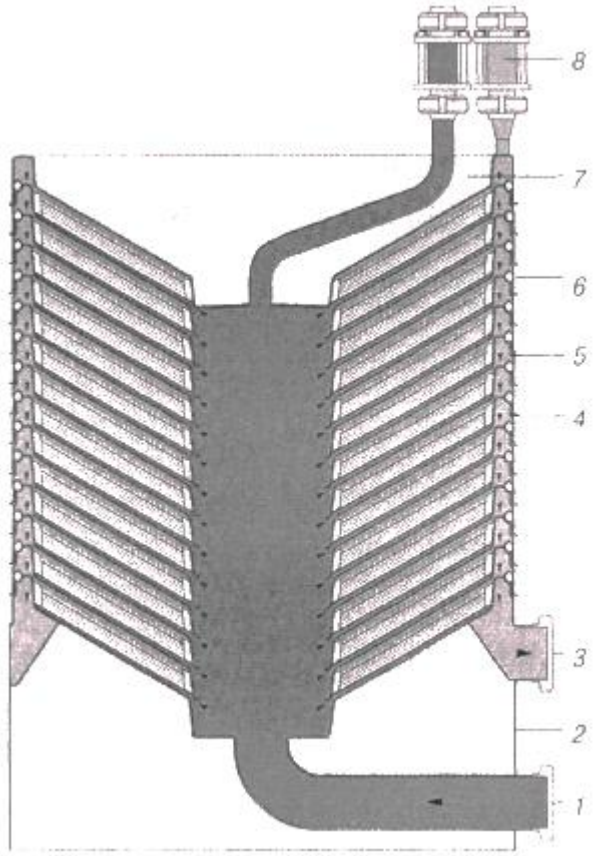


ნახ.1.4. ფირფიტებიანი ფილტრ-წნეხი

შემცველობით და გამაუვნებელმყოფი ფილტრაციისათვის იყენებენ ფირფიტებიან ფილტრ-წნეხს ან მემბრანულ ფილტრებს. ფირფიტებიანი ფილტრ-წნეხის ქვეშ იგულისხმება(ნახ.1.4) ფილტრი, რომელსაც მონალექი ფილტრ-წნეხისაგან განსხვავებით არ აქვს ჩარჩოები და შესდგება მხოლოდ ფირფიტებისაგან. ამ ფირფიტებს შორის თავსდება მფილტრავი ფენა (ფილტრმუყაო), რომლის გავლითაც ხდება ფილტრაცია. ლუდი შედის ზემოდან და ქვემოდან ყოველ მეორე ფირფიტაზე, გაივლის ფილტრმუყაოს და გამოდის მეზობელი ფირფიტიდან. მაშასადამე თითეულ ფირფიტას შორის განლაგებულია მფილტრავი ფენა. საკმაოდ ხშირად გამოიყენება მონალექი ჩარჩოიანი ფილტრ-წნეხი და ფირფიტებიანი ფილტრ წნეხი შეერთებული ერთ აგრეგატად და გაყოფილი ტიხარით შუაზე.

ყველაზე ხშირად ლუდსახარშ საწარმოებში იყენებენ ფილტრებს, შესაძლებლობით უზრუნველყონ სხვადასხვა ხარისხის ფილტრაცია. ამ სახის მოწყობილობის მაგალითად ითვლება ფირმის Handtmann/Biderach მოწყობილობა "Multi-Micro-System-Filter". ამ სისტემაში მფილტრავი მოდულების განსაზღვრული რაოდენობა იდება ვერტიკალურად განლაგებულ ფილტრში (ნახ. 1.5) [51]. საფილტრაციო მოდულები შედგებიან ცელულოზისა და კიზილგურისაგან,

რომლებიც ჩაწნეხილია 5 სმ სისქის კონუსურ ფენად. კიზილგურში გაფილტრული ლუდი ქვემოდან ხვდება ფილტრის ცენტრში, მიიყვანება თითთეულ მფილტრავ მოდულთან, იფილტრება მისი გავლით და გამოდის ფილტრიდან. გამოყენების მხარისაგან დამოკიდებულებით შემოთავაზებულია მფილტრავი მოდულები ფილტრაციის სხვადასხვა ხარისხით გამაუსნებოვნებელ ფილტრაციამდე.



ნახ. 1.5. ფილტრაციის პროცესი სისტემაში მულტი-მიკრო:

1-ლუდის მიწოდება; 2-საყრდენი ფირფიტა; 3-გაფილტრული ლუდის გამო-სასვლელი; 4- მფილტრავი ელემენტიდან ლუდის ჩამოსასვლელი; 5-მფილტრავი მოდული; 6 - მფილტრავი ელემენტი უჟანგავი ფოლადიდან; 7 - ზედა ფირფიტა; 8-დეაერაცია

მართალია ყველა წარმოდგენილი მოწყობილობის სახე უზრუნველჰყოფენ ფილტრაციის პროცესზე წაყენებულ მოთხოვნებს, უზრუნველჰყოფენ მაღალ ხარისხს და ლუდის შენახვის ხანგრძლივ ვადას, მაგრამ აქვთ რიგი უარყოფითი მხარე:

- დიდი საწარმოო ხარჯები დამხმარე მასალებზე, ფილტრმუყაო, წყლის მოხმარება;
- კონსტრუქციის და შესაბამისად რემონტის სირთულე;

- მომსახურების შრომატევადობა;
- მგრძნობელობა მაღალ ბაქტერიულ დაბინძურებაზე და გასაფილტრ ლუდში მყარი ნივთიერებების კონცენტრაციაზე;
- ლუდის შედარებით მაღალი დანაკარგი [12,15,51,60].

1.4.გაყოფის მემბრანული მეთოდები

1.4.1.მემბრანების მასალები და სტრუქტურა

ნახევრადგამტარი მემბრანა - გამყოფი ფაზა, მოთავსებული ორ სხვა ფაზას შორის და მოქმედი როგორც აქტიური ან პასიური სელექციური ბარიერი ამ ფაზებს შორის ნივთიერების გადატანის პროცესში. მემბრანებმა ბარომემბრანული პროცესებისათვის უნდა უზრუნველჰყონ შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები [6,8,33,34,35,52]:

დიდი კუთრი მწარმოებლობა;

-მაღალი გაყოფის უნარი;

- მექანიკური თვისებები: სიმტკიცე (რღვევაზე, მსხვრევაზე, გაჭიმვაზე, ფენებად დაყოფაზე);
- თვისებების სტაბილურობა დროის მიხედვით;
- ქიმიური მდგრადობა;
- ბიოლოგიური მდგრადობა;
- დაბალი ღირებულება;
- თერმული მდგრადობა;
- ჰიგიენური მოთხოვნები (სანიტარული);
- სპეციალური მოთხოვნები (მდგრადობა ჟანგვაზე, კონსერვანტებზე, ეროზიაზე, კომპონენტების გამორეცხვაზე, მდგრადობა ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებაზე, არ ხდება ნარევის კომპონენტების მშობლიურ ბუნებაზე ზემოქმედება, ელექტროგამტარებლობა, გაჯირჯვება გამხსნელებში};
- სტაბილურობა ხანგრძლივი შენახვის დროს;
- უტილიზირება მუშაობის რესურსის გასვლის შემდეგ.

მემბრანების კლასიფიკაციის ერთიანი მეთოდი არ არსებობს. ამიტომ მემბრანების იდენტიფიკაციისათვის იყენებენ რამოდენიმე ნიშანს, რომელთა ერთობლიობა იძლევა მემბრანების სრულ აღწერას. ეს ნიშნები შემდეგია: პროცესი რომელშიაც მემბრანა გამოიყენება; მემბრანის მასალები; მემბრანის მიღების მეთოდი; მემბრანის ფორმა; შიგა სტრუქტურა [33,35,87].

პროცესი, რომელშიც მემბრანა გამოიყენება - ფარდობითი ნიშანია. ამიტომ უნდა უჩვენოთ მემბრანის საწყისი პირდაპირი დანიშნულება. თხევადი ნარევების გაყოფა - ბარომემბრანული, ელექტრომემბრანული, დიფუზიური, თერმოდიფუზიური, შერეული.

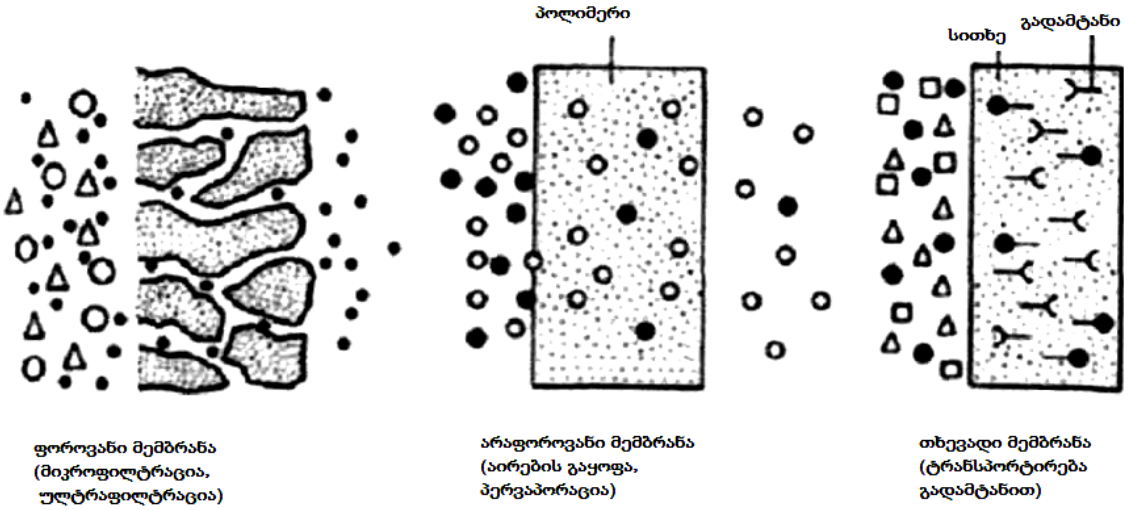
მემბრანის მასალა - ეს ძირითადი მიზეზია მათი მრავალფეროვნების. მცენარეული წარმოშობის პოლიმერები - ცელულოზა, აგრეთვე ცელულოზა ქიმიური მოდიფიცირებით. ლითონები - სუფთა და შენადნობები. მინები, გრაფიტი და ნახშირბადიანი მასალები. კერამიკა - ლითონების ოქსიდები, ჰიტრიდები, კარბიდები და სხვა. თხევადი მემბრანები - მატარით და მის გარეშე, ეკსტრაგენტები, ზედაპირულ აქტიური ნივთიერებები, კომპლექსონები და სხვა. კომბინირებული ან შედგენილი - შესაძლებელია ნებისმიერი შერწყმა (პოლიმერზე - ჰიდროჟანგის ფენა, პოლიმერი - პოლიმერი, პოლიმერზე - ლითონი და ა.შ.).

მიღების მეთოდი კიდევ უფრო ამრავალფეროვნებს მემბრანებს. თითეული მასალისათვის - თავისი მეთოდია. პოლიმერები - დასხმა (სხვადასხვა ქვესადებზე) განალღობიდან და ხსნარიდან, გამოწნეხვა, გამოწელვა, ამოვლება, გახერხვა, პოლიმერიზაცია, პოლიკონდენსაცია, ინოკულაცია, აქტივირება, მოდიფიკაცია. ლითონები - გაგლინვა, გამოწელვა. კერამიკა - ფორმირება სუსპენზიიდან და გამოწვა. ბირთვული მემბრანები - დასხივება დამუხტული ნაწილაკებით და გამოტუტვა. თხევადი მემბრანები - საყრდენზე დატანა, ნაკადი, გაჟღენთვა. კომბინირებული მემბრანები - ფენების შეერთების ძალიან ბევრი მეთოდი: ოკუტივანიე, პოლიმერიზაცია ხსნარიდან ზედაპირზე, შეწებება, მორწყვა, დინამიური მემბრანები, მექანიკური შეერთება, პლაზმური დატანა და ა.შ.

მემბრანის ფორმა. აქ მნიშვნელოვანია არა მემბრანული ელენენტის, არამედ სახელდობრ მემბრანის, მიღებულის, როგორც დამოუკიდებელი ელემენტის. ზოგჯერ მემბრანას აფორმებენ უკვე მზა საფუძველზე - in situ formation (ამოვლება,

დინამიური მემბრანები, დასხურება, დალექვა და ა.შ.). მაგრამ მათ ხშირად ამზადებენ მემბრანული ელემენტის კონსტრუქციული კომპონენტებისაგან, და მაშინ შეიძლება გამოვყოთ: ბრტყელი მემბრანა - რულონი, ფურცელი, ლენტა; მილისებრი მემბრანა - ცილინდრები; კაპილარული მემბრანა - წვრილი მილაკები; ბოჭკოვანი მემბრანები - ღრუტანიანი ბოჭკოები [9,33,35,86].

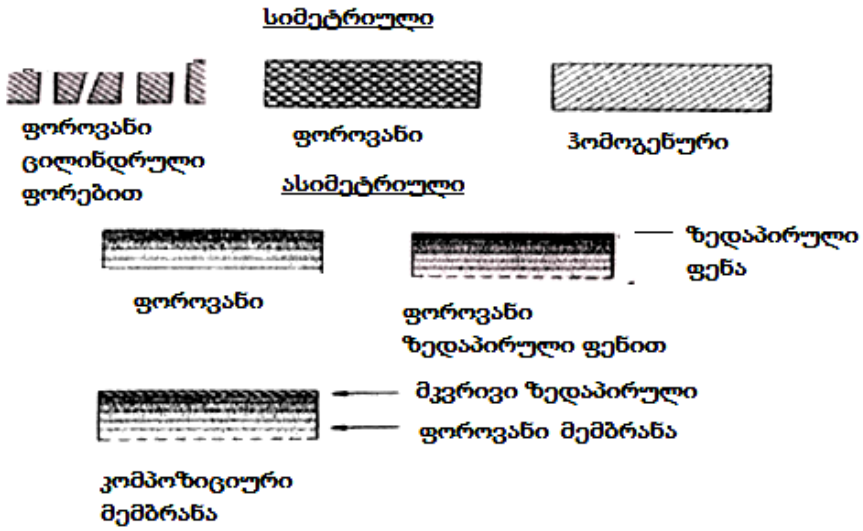
მემბრანის შიგა სტრუქტურა. ამ ნიშნის მიხედვით შეიძლება გამოვყოთ მემბრანის სამი ტიპი: ფოროვანი, არაფოროვანი (მასიური) და საბორნე გადამზიდავი ეფექტით (carrier) (ნახ. 1.6)



ნახ. 1.6. მემბრანული სტრუქტურის სამი ტიპის სქემატური გამოსახვა

სხვადასხვა მემბრანული სტრუქტურის სქემატური გამოსახვა ნაჩვენებია ნახ. 1.6. ბევრ შემთხვევაში მემბრანის სტრუქტურა მჭიდროდაა დაკავშირებული მემბრანული პროცესის ტიპთან. ფოროვანი მემბრანები - ულტრაფილტრაცია, მიკროფილტრაცია, მემბრანული დისტილაცია. სელექციურობა განისაზღვრება მოლეკულის ზომებს შორის განსხვავებებში. მასიური მემბრანები - დიალიზი, აირების გაყოფა, პერვაპორაცია. სელექციურობა განპირობებულია ხსნადობაში და დიფუზიის კოეფიციენტებში განსხვავებით.

ფოროვანი მემბრანები მიღებულია დავყოთ იზოტროპიულად და ანიზოტროპიულად, ე.ი. რომელსაც აქვს სხვადასხვა სიმკვრივე ფირის სისქეზე. აქედან გამომდინარეა სისქის მნიშვნელობა, მემბრანის აქტიური ფენის ფოროვანი მახასიათებლების სტრუქტურისთვის.



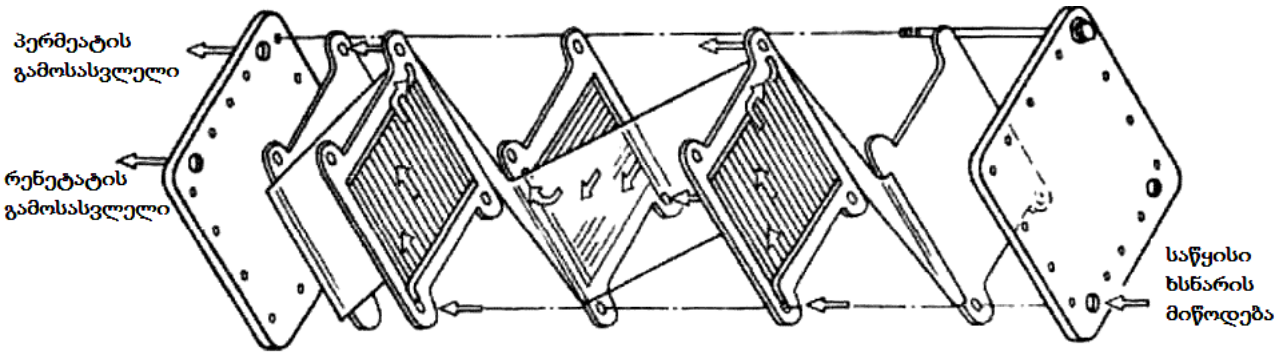
ნახ.1.7. სხვადასხვა მემბრანული სტრუქტურის სქემქტური გამოსახვა

მემბრანის მარკა, როგორც წესი პირველი ხუთი ნიშნის გარდა შეიცავს რიცხვით პარამეტრებს, ზოგჯერ ეს უბრალოდ ქმნილების რიგითი ნომერია, დარგობრივი ან საფირმო ინდექსაცია, ჯოგჯერ საპასპორტო მახასიათებლები.

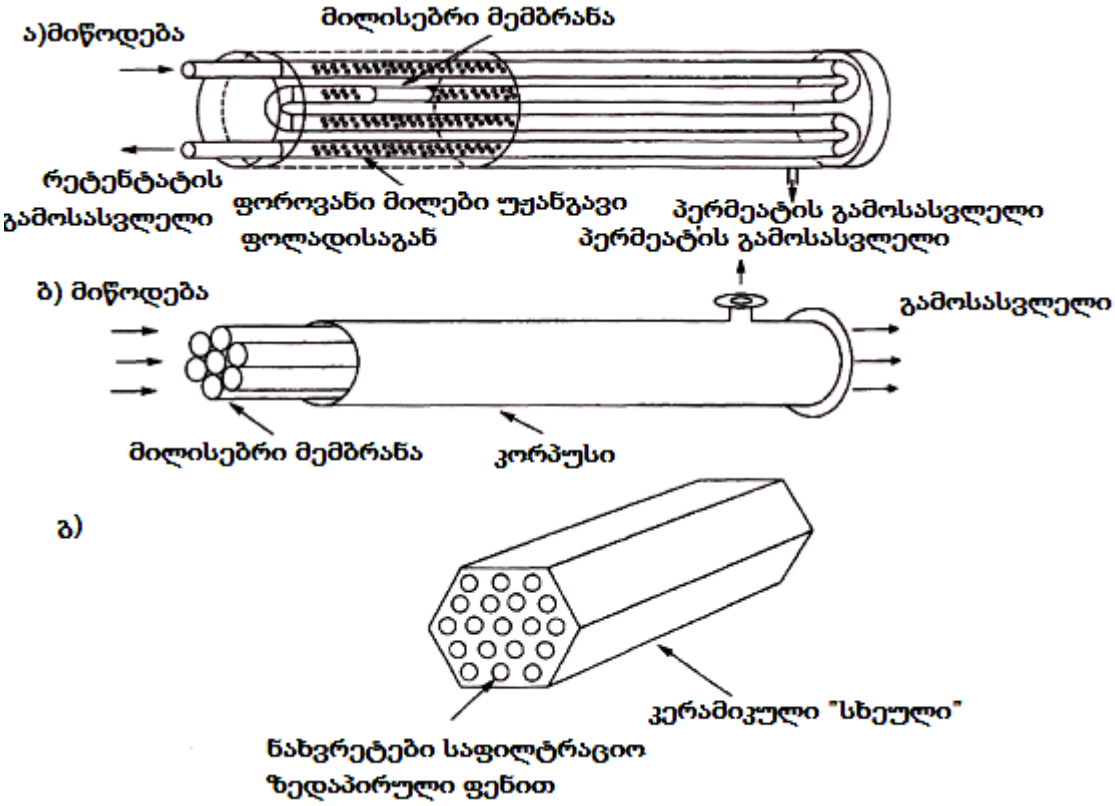
1.4.2.მემბრანული მოდულები

მემბრანებს კრებენ მოდულებში, რომლებიც ადვილად კომპანდება სისტემებში. მოდულური კონსტრუქციის მთავარი მიზანია - მცირე მოცულობაში მემბრანების დიდი ფართის მოთავსება, წნევაზე და ტანგენციალური (მხები) ნაკადის სიჩქარეზე უკუქმედებისათვის. მსგავსი მოდულების ჩვეულებრივი კონფიგურაციაა ბრტყელი ფირფიტები, რულონები, წვრილი ღრუტანიანი ბოჭკოები და სპირალები.

ფირფიტებიან მოდულებში (ნახ.1.8) ორი მემბრანული ფირფიტა განცალკევებულია საყრდენი ფირფიტით, რომელსაც აქვს არხები პერმეატისთვის. მემბრანებისაგან შემდგარი ასეთი „სენდვიჩები“ გაყოფილია ბრტყელი გამბრჯენით, რომელსაც აქვს არხები გასაფილტრი ნაკადის მისაწოდებლად. მემბრანების და ფირფიტების სხვადასხვა ფენა იკრიბება ერთად და მაგრდება ჭანჭიკებით. ასეთ მოდულს შეუძლია დიდი წნევის ატანა, მაგრამ ის სწრაფად ბინძურდება შეწონილი ნაწილაკებით [1,7,9,35,113].



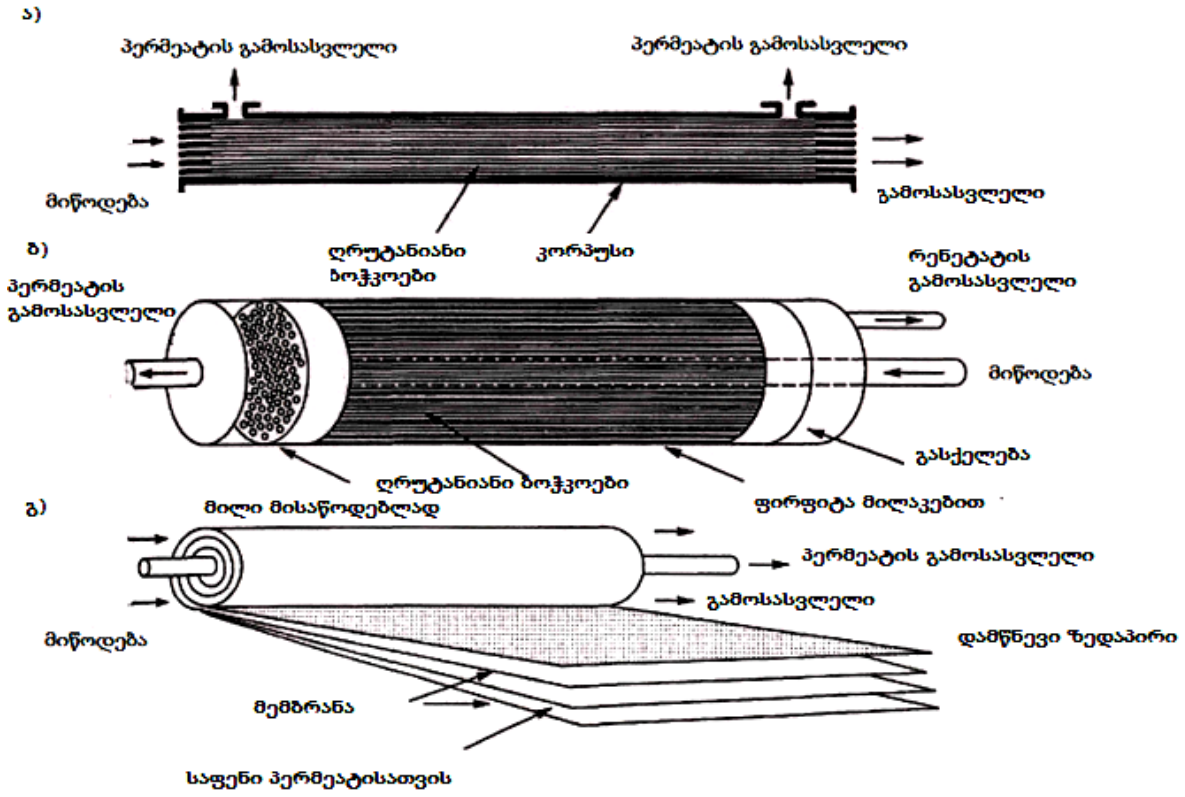
ნახ. 1.8. ფირფიტებიანი მემბრანული მოდული



ნახ. 1.9. მემბრანული მოდულები ა)მილისებრი (შემაკავებელი გარედან) მემბრანული მოდული; ბ)მილისებრი (თვითდამჭერი) მემბრანული მოდული; გ) მილისებრი (მონოლითური) მემბრანული მოდული

მილისებრი (რულონური) მოდული (ნახ.1.9) [12], შედგება რულონად დახვეული მემბრანებისაგან (ჩვეულებრივ დიამეტრით 6-25 მმ), რომელიც არის ძირითადად სამი ტიპის. თვითდამჭერი რულონური მოდული შედგება მემბრანების რამოდენიმე რულონისაგან ერთიან ბლოკში, რომელიც შეერთებულია პერმეატისა და

რენეტატის საერთო რეზერვუართან. ტიპიური მოდული შედგება 17 ან 19 რულონისაგან. მოდულის მოცემული ტიპი შეზრუდულია თავისი სტრუქტურული სიმტკიცით დაბალ წნევაზე; დამჭერი გარე მილისებრი მემბრანული მოდული შედგება რულონური მემბრანებისაგან, რომლებიც განლაგებულია ცალკეული დამჭერი ფოროვანი მილების შიგნით. რამოდენიმე ასეთი მილი დაკავშირებული პერმეატისა და რენეტატის საერთო რეზერვუართან ქმნის მოდულს, რომელსაც შეუძლია აიტანოს დიდი წნევა და შესაბამისად გამოიყენება აგრეგატებში, რომლებიც მუშაობენ უკუოსმოსის პრინციპზე; მონოლითურ მილიუსებრ მოდულში რამოდენიმე მილისებრი არხი ადგენს მასალის ფოროვან ბლოკს, ხოლო მემბრანული ფენა ფორმირდება მილების შიგნით. ყველა ტიპის მილისებრ მოდულებს შეუძლია შეწონილი ნაწილაკების შეკავება.



ნახ. 1.10. მემბრანული მოდულები: ა)მოდული ღრუტანიანი ბოჭკოებით; ბ) ღრუტანიანი მოდული წვრილი ბოჭკოებით; გ)სპირალური მოდული

ღრუტანიან ბოჭკოებიანი მოდული (ნახ.1.10), რომელიც შედგება ღრუტანიანი ბოჭკოების (ჩვეულებრივ დიამეტრით 0,5-3მმ) კონისაგან, რომლებიც ჩალუქულია

პლასტიკურ პაკეტებში და მოთავსებულია კორპუსში. ნაკადი გადის ცენტრალური ნახვრეტის გავლით, ხოლო პერმეატი გროვდება გარე კორპუსში. ღრუტანიანი ბოჭკოები არიან თვითდამჭერი და შესაბამისად შეიძლება გამოყენებულ იქნან დაბალ წნევებზე. მოდულები ღრუტანიანი წვრილი ბოჭკოებით შედგებიან 50-100 მკმ დიამეტრის კონებისაგან. U-ს მაგვარი ბოჭკოების კონა ქმნის ერთიან თავურას, თვითონ კონა თავსდება მილში. მიწოდებული სითხე იმყოფება ბოჭკოების გარეთ, ხოლო პერმეატი შედის მათში. ასეთი მოდული იტანს დიდ წნევას, მაგრამ ძალიან მგრძნობიარეა შეწონილი ნაწილაკებით დაბინძურების მიმართ.

სპირალურ მოდულებს (ნახ.1.10გ) ღებულობენ მემბრანის ორ ფენას შორის პლასმასის ბადის მოთავსებით, რომელიც ასრულებს პერმეატის სადრენაჟო არხის როლს, რომელსაც დახურული აქვს სამი მხარე. ამ „სენდვიჩის“ მეოთხე მხარე უერთდება პერმეატის მილს. სხვა პლასტიკური ბადე მოქმედებს, როგორც მიმწოდებელი არხი და განლაგებულია მის ზემოდ და ყველა ერთად შემოხვევულია ცენტრალური მიმწოდებელი მილის ირგვლივ.

სხვადასხვა მასალა და მოდულების სახე მემბრანული ტექნოლოგიური პროცესებისათვის იძლევიან შესაძლო კომბინაციების დიდ რიცხვს. მემბრანული სისტემების კონსტრუირების პირველ ეტაპს წარმოადგენს მემბრანის ტიპისა და მასალის შესაბამისი კომბინაციის შერჩევა [9,18,53,54].

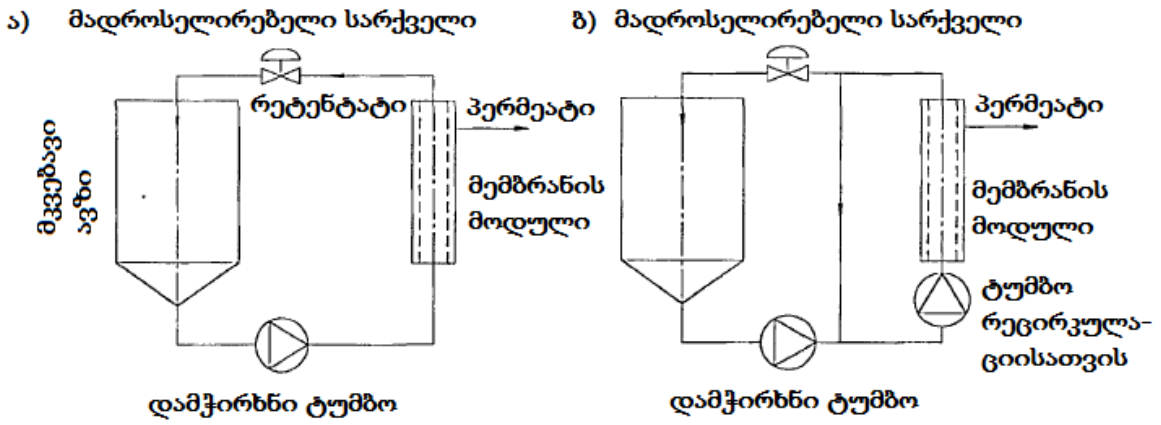
1.4.3.მემბრანული სისტემების კლასიფიკაცია

მემბრანული სისტემების სამ მეტად ტიპიურ კონფიგურაციას მიეკუთვნებიან „ულუფიანი სისტემა“, სისტემა „ჩატვირთვა-გამოტვირთვა“ და „ერთგასასვლელიანი“ სისტემები [12,33,35,75].

„ულუფიანი“ სისტემები - მეტად მარტივია კონსტრუქციულად და მოცემულ დროში საჭირო კონცენტრაციის მისაღწევად ითხოვენ მემბრანის უმცირეს ფართობს. ამავე დროს საწარმოებში უწყვეტი საწარმოო ციკლით მათთვის საჭიროა ბუფერული ავზი. ამას გარდა მსგავს კონფიგურაციას აქვს უდიდესი შეკავების დრო.

ულუფიან სისტემაში (ნახ.1.11ა) სრული რეცირკულაციის მექანიზმით მიწოდებისათვის და ტანგენციალური სიჩქარის შესანარჩუნებლად გამოიყენება მხოლოდ ერთი დამჭირხნი ტუმბო. ასეთი კონფიგურაცია ოპტიმალურია დაბალი

წნევის ოპერაციისთვის,სადაც მუშა წნევა იმყოფება სიდიდის იმ დიაპაზონში, რაშიც მემბრანული მოდულის გასწვრივ წნევათა ვარდნა (ასეთი გვხვდება მიკროფილტრაციის სისტემებში).

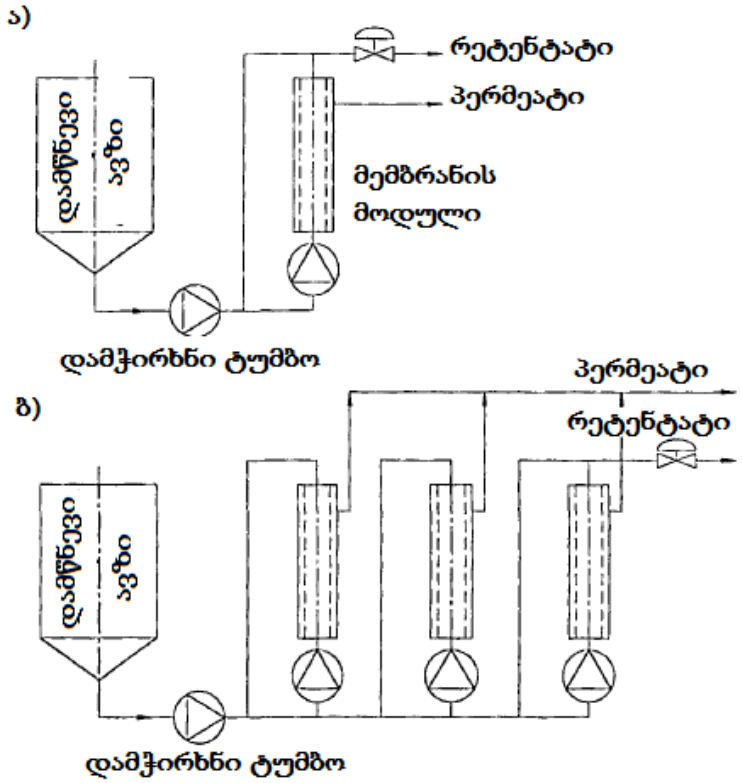


ნახ.1.11. „ულუფიანი“ მემბრანული სისტემები: ა)სრული რეცირკულაციით; ბ)ნაწილობრივი რეცირკულაციით

ულტრაფილტრაციისათვის, სადაც წნევა სისტემაში მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე მისი ვარდნა მოდულის გასწვრივ, რეცირკულაციისათვის უფრო ეკონომიურია გამოვიყენოთ ცალკე ტუმბო. ასეთ ულუფიან სისტემას უწოდებენ ნაწილობრივი რეცირკულაციით (ნახ.1.11ბ).

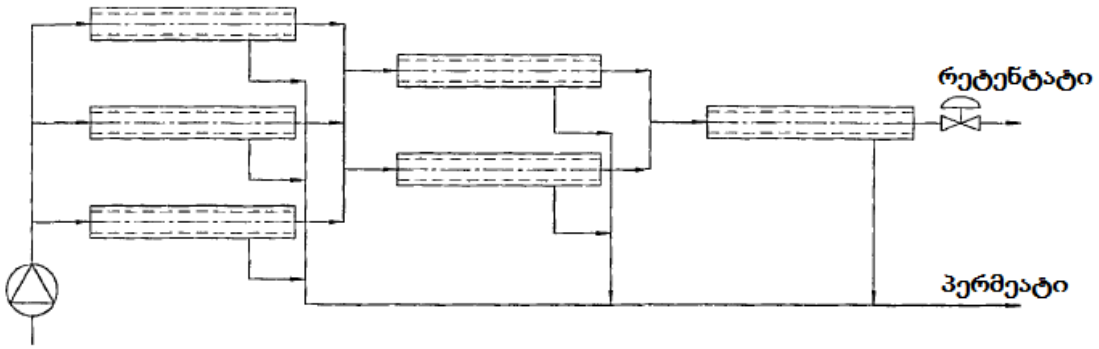
სისტემაში „ჩატვირთვა-გამოტვირთვა“ დამწნევი ნაკადი კონცენტრირდება დასაბრუნებელ კონტურში და მისი ნაწილი უწყვეტად გადის მემბრანაში. „ახალი“ დამწნევი ნაკადი იჭირხნება ამ კონტურში რეტენტატისა და პერმეაციის სიჩქარის გასათანაბრებლად (ნახ.1.11ა). ვინაიდან მოცემულ სისტემაში კვება და გაფილტვრა ხდება უწყვეტად, ასეთი სისტემები არიან უწყვეტი.

„ჩატვირთვა-გადმოტვირთვის“ კონფიგურაციაში მემბრანაზე უდიდესი კონცენტრაცია ჩვეულებრივ შეესაბამება უმცირეს ხარჯს. შესაბამისად მემბრანას აკეთებენ შესაძლო მაქსიმალური ზედაპირის ფართით. მემბრანაზე ნაკადის ყოფნის დრო ვარირდება ძალიან ფართოდ. მრავალსაფეხურიანი კონფიგურაციის დროს რამოდენიმე მიმდევრობით ჩართული კონტურის სახით (1.12ბ) მემბრანის ფართი მკვეთრად მცირდება. სამი ან ოთხი კონტურის დროს მემბრანის ზედაპირის ფართი უახლოვდება „ულუფიან“ კონფიგურაციას.



ნახ.1.12. სისტემა „ჩატვირტვა-გამოტვირთვა“: ა)ერთკონტურიანი სისტემა; ბ)მრავალკონტურიანი სისტემა

კვების მრეწველობაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება ტიპიური კონფიგურაციის მრავალკონტურიანი სისტემა „ჩატვირთვა-გამოტვირთვა“. ასეთ კონსტრუქციას აქვს ის უპირატესობა, რომ ტანგენციალური ნაკადის სიჩქარის შენარჩუნება ხდება სისტემის სხვა პარამეტრებისგან დამოუკიდებლად, რომლებიც შეიძლება იცვლებოდნენ დროზე ან წნევაზე დამოკიდებულებით. მაგრამ ეს სისტემა ყველაზე ძვირია ყველა სხვა შესაძლო კონფიგურაციიდან.



ნახ.1.13. „ერთსვლიანი“ სისტემა

„ერთსვლიანი“ კონსტრუქციის დროს ნაკადი მიეწოდება სისტემის ერთი ბოლოდან და გამოდის მეორედან, აღწევს რა სასურველ კონცენტრაციას ან პერმეატის რეგენერაციას. ეს ყველაზე მეტად ეკონომიური სისტემაა ყველა მემბრანულ სისტემას შორის მემბრანის არადიდი ფართის წყალობით, მაცირკულირებელი ტუმბოების არ ქონისა და ტექნიკური გადაწყვეტის სიმარტივის გამო.

პერმეატის რეგენერაცია მემბრანული მოდულის ერთხელ გავლის დროს დამოკიდებულია პერმეატის ნაკადის ტანგენციალურ სიჩქარესთან ფარდობაზე და პრაქტიკაში დიდი არ არის. შესაბამისად ასეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტა შეზღუდულია კონცენტრაციის მცირე პოლარიზაციით, რომელიც არ ითხოვს დიდ ტანგენციალურ სიჩქარეებს. მსგავსი სისტემები ხშირად გამოიყენება ჭუჭყიანი წყლის უკუოსმოსით დასამუშავებლად და მაღალი გაწმენდის ხარისხის მქონე წყლის მისაღებად.

1.4.4.კონცენტრაციული პალარიზაციის მოვლენა

მემბრანული პროცესების წარმართვის დროს ძირითადი პრობლემა - ეს არის ფილტრატის ნაკადის დროის მიხედვით შემცირება (ძირითადად დაჭუჭყიანების გამო). დაჭუჭყიანება გამოიხატება ნაკადის თანდათან შემცირებით, ამ დროს სხვა მუშა პარამეტრები - წნევა, ტემპერატურა, კონცენტრაცია, სიჩქარე და ა.შ. - რჩებიან უცვლელი [33,87,112,120,127,130,131].

ყველაზე იოლად ვლინდება მემბრანული მოდულების დაბინძურება შეწონილ ნაწილაკებიან ხსნარებთან მუშაობის დროს გამოიყენება მოდული ღრუტანიანი ბოჭკოებით და მსხვილმა ნაწილაკებმა შეიძლება დაბლოკოს ამ ბოჭკოებში შესასვლელი. სპირალურ მემბრანულ მოდულებში ნაწილაკები შესასვლელების ბლოკირების გარდა ხვდებიან მკვებავის ბადის უჯრედებში. მსგავს მოვლენებს ახლავს ნაკადის შემცირება და აგრეთვე მოდულის გასწვრივ წნევის ვარდნის გაზრდა, რაც შეიძლება ადვილად შევამჩნიოთ.

გაშვებიდან პირველი რამოდენიმე წამის განმავლობაში მემბრანის ზედაპირზე წარმოიქმნება კონცენტრაციული პოლარიზაციული ფენა (ეს გარდაუვალი, მაგრამ

შექცევადი მოვლენაა). ნაკადის შემცირება კონცენტრაციული პოლარიზაციის გამო შეიძლება შემცირებულ იქნას წნევის შემცირების გზით, სიჩქარის გაზრდით ან კონცენტრაციის შემცირებით, ამიტომ ასეთი მოვლენა არ ითვლება დაბინძურებად.

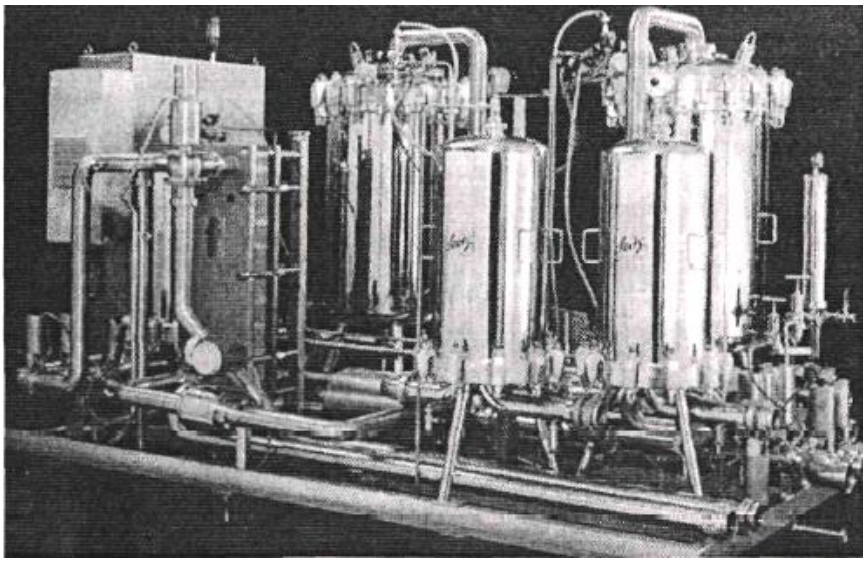
დაბიძურების მეორე სახე, რომელიც გვხდება მემბრანის ზედაპირზე, -ეს არის კონცენტრაციული პოლარიზაციის შედეგი. გახსნილი ნივთიერებები, დაგროვილი მემბრანის ზედაპირზე, დროის განმავლობაში განიცდიან შეუქცევად ცვლილებას და აფორმებენ მემბრანის ზედაპირზე მონალექ ფენას. ამ დროს გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია სასაზღვრო ფენაში მემბრანის ზედაპირთან იზრდება. კონცენტრაციის გაზრდა ხდება მანამდე, სანამ გახსნილი ნივთიერების დიფუზიური ნაკადი სასაზღვრო ფენიდან გასაყოფ ხსნარში არ გაუთანაბრდება ნაკადით მიტანილ გახსნილი ნივთიერებების რაოდენობას ეგრეთწოდებული დინამიური წონასწორობის დამყარებით. მემბრანის ზედაპირთან გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის ფარდობას გასაყოფ ხსნარში მის კონცენტრაციასთან უწოდებენ კონცენტრაციულ პოლარიზაციას.კონცენტრაციული პოლარიზაციის გავლენა მემბრანის მუშა მახასიათებლებზე უარყოფითია, რადგანაც ამ დროს ხსნარის ოსმოსური წნევის გაზრდის გამო მცირდება გაყოფის პროცესის მამოძრავებელი ძალა. ამას გარდა შესაძლებელია გამოლექვა და მემბრანის ზედაპირზე ძნელად ხსნადი მარილების დალექვა, მაღალმოლეკულური შენაერთების ლაბის წარმოქმნა, რაც ითხოვს მემბრანების წმენდას ან გამოცვლას. მონალექი ფენის წარმოქმნის მექანიზმი რეგულირდება ურთიერთქმედებებით „ზედაპირი - ქიმიური მოვლენები“, „მემბრანა - გახსნილი ნივთიერება“ და „გახსნილი ნივთიერება - გახსნილი ნივთიერება“. ტიპიური ნივთიერებები, რომლებიც აბინძურებენ ზედაპირს მიკრო- და ულტრაფილტრაციის დროს არიან ცილები, პექტინები და სახამებელი.

დაბინძურების მესამე სახე -ეს არის გახსნილი ნივთიერებების ადსორბცია, რაც იწვევს გამავალი ნახვრეტების ზომების შემცირებას. მათი დიამეტრის მცირედ შემცირებაც კი მნიშვნელოვნად ამცირებს ნაკადს, რადგანაც უკანასკნელი პროპორციულია დიამეტრის მეოთხე ხარისხის. ვთვლით,რომ მიკრო- და ულტრაფილტრაციის დროს დაბინძურების ძირითადი ნიშანია ცილების ადსორბცია გამავალი ნახვრეტების კედლებზე.

1.4.5.თხევადი საკვები არეების მემბრანული დამუშავების აპარატურული გაფორმება

თხევადი კვების პროდუქტების სპეციფიური თვისებები - ფიზიკო-ქიმიური თვისებების უსტაბილურობა, შემადგენლობის არაერთგვაროვნება, მიკრობიოლოგიურ ზემოქმედებაზე დაქვემდებარება, შეწონილი ნაწილაკების არსებობა, უნარი წარმოქმნან მაღალი მოლეკულური მასის შენაერთების კონცენტრაციული ფენა განსაზღვრავენ ზოგიერთ კონსტრუქციულ თავისებურებებს მემბრანული ტექნიკის დამუშავებისა და კონსტრუირების დროს. [96,110,118,121].

მემბრანულ აპარატებზე წაყენებული ძირითადი მოთხოვნებია განსაზღვრული მოწყობილობების არსებობა კონცენტრაციული პოლარიზაციის შესამცირებლად, უძრავი ზონების არქონა, ადვილად მოსახსნელი ბლოკები ადვილად მისადგომი მემბრანების შესაცვლელად, აგრეთვე ეფექტური რეცხვა და დეზინფექცია დაშლის გარეშე [5,33,89]. საწარმოო მემბრანული აპარატების აბსოლუტური უმრავლესობა, რომლებიც გამოდიან ამჟამად, შესრულებულია ამ მოთხოვნების შესრულების, დამზადების სიმარტივის და გამოშვებული მოწყობილობის დაბალ ღირებულებას შორის კომპრომისზე.



ნახ.1.14. კომპაქტური ავტომატური დანადგარი ტრაპ-ფილტრაციით, წინასწარი ფილტრაციით, სტერილური ფილტრაციით, აგრეთვე გასარეცხი წყლის და ტუტის ფილტრაციით.

წამყვანი ადგილი ბრტყელი მემბრანული ელემენტების საფუძველზე დამუშავებული მიკრობიოლოგიური წარმოშობის სითხეების დასამუშავებლად გამოყენებულ აპარატებს შორის წამყვანი ადგილი უკავია საზღვარგარეთის ფირმებს „DDS" (დანია), "Millipore" (აშშ), "Rhone Poulenk" (საფრანგეთი), „Sartorius" (გერმანია) , დსს „Владипор" (რუსეთი) [2,19,20,51,54,55,70,71,85,].

განვიხილოთ თანამედროვე მემბრანული დანადგარის კონსტრუქციის რამოდენიმე მაგალითი.

ნახ. 1.14. ნაჩვენებია კომპაქტური ავტომატური დანადგარი ტრაპ-ფილტრაციით, წინასწარი ფილტრაციით, სტერილური ფილტრაციით, აგრეთვე გასარეცხი წყლის და ტუტის ფილტრაციით.

დანადგარი შესდგება გასარეცხი წყლის და სარეცხი საშუალებების ფილტრაციის და პროდუქტის სამსაფეხურიანი ფილტრაციისაგან. წყლისა და სარეცხი საშუალებების ფილტრაციისათვის, აგრეთვე ლუდის ფილტრაციის პირველი ორი საფეხურისათვის გამოიყენებიან ადვილად რეგენერირებადი უკუგარეცხვას დაქვემდებარებული მფილტრავი სანთლები. მფილტრავი სანთლები Seitz-Precart PP II ამ მიზნისათვის არის იდეალური მფილტრავი ზედაპირი. ამ ტიპის სანთლების მაჩვენებელი არის 5000 და შეიძლება დახასიათებული იქნას როგორც აბსოლიტური ფილტრი.Seitz-Precart PP II ხასიათდება მაღალი მექანიკური, თერმიული და ქიმიური მდგრადობით. სანთლები ექვემდებარებიან უკუ გარეცხვას და ადვილად რეგენერირდებიან. დამასრულებელი ფილტრაცია მესამე ეტაპი ხდება მემბრანულ საფილტრ სანთლებზე. მემბრანული სანთლები დამასრულებელი ფილტრაციისათვის Seitz-Membracart PS II იტანენ მაღალ თერმიულ, ქიმიურ და მექანიკურ დატვირთვებს.

ლუდის სამსაფეხურიანი ფილტრაცია აუცილებელი იყო, ვინაიადან ლუდი წინასწარ იფილტრებოდა მხოლოდ კიზელგურის, PVPP და ტრაპ-ფილტრის (ფილტრი დახვეწილი გაწმენდისათვის) დახმარებით. ორმაგი საფეხურიანი წინასწარი ფილტრაციით გაუმჯობესებულია ისეთი მაჩვენებლები როგორიცაა მემბრანულ საფილტრ სანთლებზე დგომის დრო და მათი რენტაბელურობა.

საფილტრაციო დანადგარი აღჭურვილია ფილტრების Seitz-Velacart ორი A და S ტიპით. ტიპით Seitz-Velacart A ინსტალირების დროს სანთელი განლაგებულია ვერტიკალურად. ფილტრის ეს სახე დაყენებული იქნა წყლის, სარეცხი საშუალებების

და ლუდის პირველი საფეხურის ფილტრაციისათვის. ფილტრის მეორე ტიპი Sგათვალისწინებული იყო ფილტრაციის მეორე ეტაპისათვის და მემბრანული ფილტრაციისათვის. ამ ტიპის ფილტრისათვის სანთლებს არ აქვს ხისტი დამაგრება და ფილტრების ასეთი ტიპები უპირატესად გამოიყენებიან პროდუქტის წინასწარი და საბოლოო ფილტრაციისათვის. ფილტრების ასეთ კონსტრუქციას აქვს შემდეგი უპირატესობა:

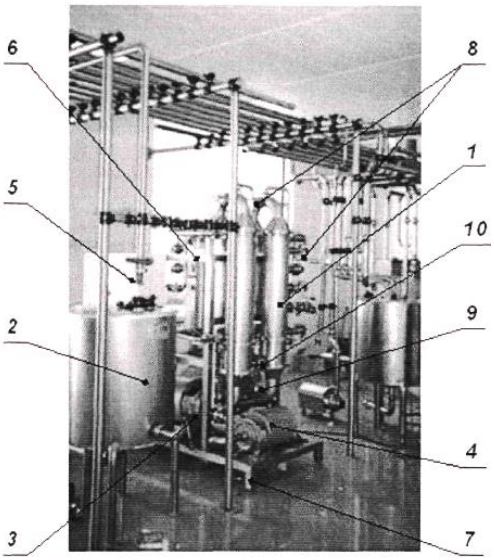
- სისტემიდან ჰაერის სწრაფი გამოდევნა, მაშასადამე გაშვების მომენტში ჟანგბადის მოხვედრის დაბალი პროცენტი;
- თითოეული სანთლის ადვილი კონტროლი სიმთლიანეზე ტესტის ჩატარების დროს;
- თანაბარი გადინება და ამით უკეთესი რეგენერაცია უკუ გარეცხვის დროს.

მოცემული აპარატი მუშაობს შემდეგი სახით. ექსპლუატაციის დასაწყისში სანთლებს თავიდან ალბობენ, შემდეგ ირეცხება მთელი დანადგარი, სტერილდება და კვლავ ცივდება.შემდეგ სანთლები ავტომატურად მოწმდება სიმთელეზე. თუ ტესტის შედეგი დადებითია დანადგარი გადაირთვება მოლოდინის რეჟიმში „stand-by“. საწარმოო პროგრამის დასაწყისში ლუდი გადის ფილტრაციის სისტემიდან ბუფერული ტანკის გარეშე პირდაპირ ჩამოსხმაზე. პროცესის დასრულების შემდეგ მანუალურად ირთვება გაწმენდის პროგრამა, რომელიც დაკავშირებულია არსებულ სადგურთან CIP.გაწმენდილი რეგენირებული საფილტრაციო დანადგარიბოლოში მოწმდება სიმრთელეზე, ხოლო შემდეგ ივსება ნახშირორჟანგით და კვლავ მზადაა შემდეგი ფილტრაციისათვის.

ფილტრწნეხის მუყაოსაგან განსხვავებით, ტექნოლოგიურ სქემაში გამოყენებული ფილტროელემენტი შეიძლება რეგენერირდეს. ფილტროელემენტების მუშაობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია საწყისი პროდუქტის ხარისხზე და რაც მთავარია რეგენერაციის რეჟიმის დაცვაზე. რეგენერაციის ეფექტურობაზე პირდაპირ გავლენას ახდენს გარეცხვისათვის გამოყენებული წყლის ხარისხი. ლუდის ხარისხის გაუმჯობესების საკითხის გადაწყვეტაში ისე როგორც კლასიკური ტექნოლოგიის დროს მნიშვნელოვანი ასპექტია ნახშიროჟანგის, ჰაერის და ორთქლის სისუფთავის უზრუნველყოფა. მასტერიზებელი ფილტრაციის მოცემული ორსაფეხურიანი სქემა

უზრუნველჰყოფს არა მარტო მექანიკური მინარევებიდან ამ კომპონენტების გაწმენდას, არამედ უზრუნველჰყოფს მათ სტერილურობას.

ნახ. 1.15 და 1.16 [72,73] ნაჩვენებია საფილტრაციო სისტემები БИОКОН МФС-8 და УМС-2/80.წარმოდგენილი დანადგარები გამოიყენებიან მიკრობიოლოგიაში, კვების და ქიმიურ მრეწველობაში შემდეგი ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებლად: კულტურალური სითხეების გაწმენდისა და კონცენტრირებისათვის (კონცენტრირება ან ბაქტერიების მოცილება); სასმელების გაწმენდა და სტაბილიზაცია; სიროფების, წვენების და ექსტრაქტების გაკრიალება და გაწმენდა; მკვებავი არეებისა და წაქის გაწმენდა; ბიოლოგიური სითხეების გაყოფა; წყალსპირტის ნარევის ორგანული სორბენტებისგან გაწმენდა; ლიქიორარყის პროდუქციის ფინალური ფილტრაცია.



ნახ. 1. 15. მიკროფილტრაციის სისტემა МФС-8 (1- საფილტრაციო მოდული АРТ-2, 2-ჭურჭელი, 3-საცირკულაციო ტუმბო (50 $м^3$/სთ, 3,2 ატმ., 7 კვტ), 4-მკვებავი ტუმბო, 5-მართვის პულტი, 6-თბომცვლელი, 7-ჩარჩო, 8-წნევის მგრძნობიარე ელემენტი, 9-ხარჯმზომი, 10-ტემპერატურის მგძნობიარე ელემენტი)

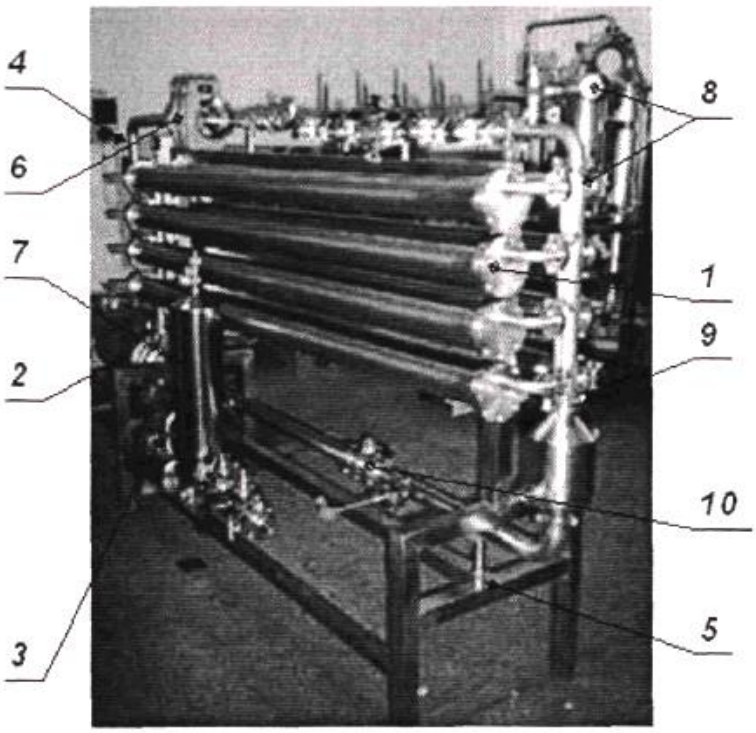
დანადგარი МФС-8 შედგება კასკადად თანმიმდევრულად შეერთებული საფილტრაციო მოდულებისაგან და მიეკუთვნება ტანგენციალური ტიპის მემბრანული ფილტრაციის სისტემების კლასს. ე.ი. გასაფილტრი სითხე მუდმივად მოძრაობს მფილტრავ მემბრანულ ზედაპირზე. წნევის მოქმედებით სითხის ნაწილი გადის მემბრანაში (ფილტრატი) და გამოიდევნება დანადგარიდან. კონცენტრატი

თანმიმდევრობით გაივლის ყველა საფილტრაციო მოდულს, თითეული მოდულიდან ფილტრატის მოცილებით. უკანასკნელი მოდულიდან კონცენტრატი ხარჯის მარეგულირებელის გავლით მიეწოდება მომხმარებელს. მართვის სისტემა საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ დანადგარის ექსპლოატაცია ავტომატურ რეჟიმში.

დანადგარის МФС-8 ტექნიკური დახასიათება:

- ფორების ზომა - 0,8 მკმ;
- ბაქტერიების შეკავება 99,5-99,99 %;
- კუთრი მწარმოებლობა 800-2000 ლ/მ^{3}სთ;
- გაბარიტული ზომები: 1,5მ X 1,1მ X 2,2მ.

ულტრაფილტრაციული სისტემა УМС-2/80 (ნახ.1.16) მიეკუთვნება აგრეთვე ტანგენციალური ტიპის საფილტრაციო სისტემებს, სადაც საფილტრაციო მოდულებიАРС-10 შეერთებული არიან კასკადად პარალელურად და განლაგებული არიან ვერტიკალურად.



ნახ. 1.16 ულტრაფილტრაციის სისტემა УМС-2/80 (1-საფილტრაციო მოდული АРС-10, 2-საცირკულაციო ტუმბო, 3-მკვებავი ტუმბო, 4-მართვის პულტი, 5-ჩარჩო, 6-ხარჯმზომი, 7-დონის მგრძნობიარე ელემენტი, 8-წნევის მგრძნობიარე ელემენტები, 9-ტემპერატურის მგრძნობიარე ელემენტი, 10-დამწნევი არმატურის ნაკრები).

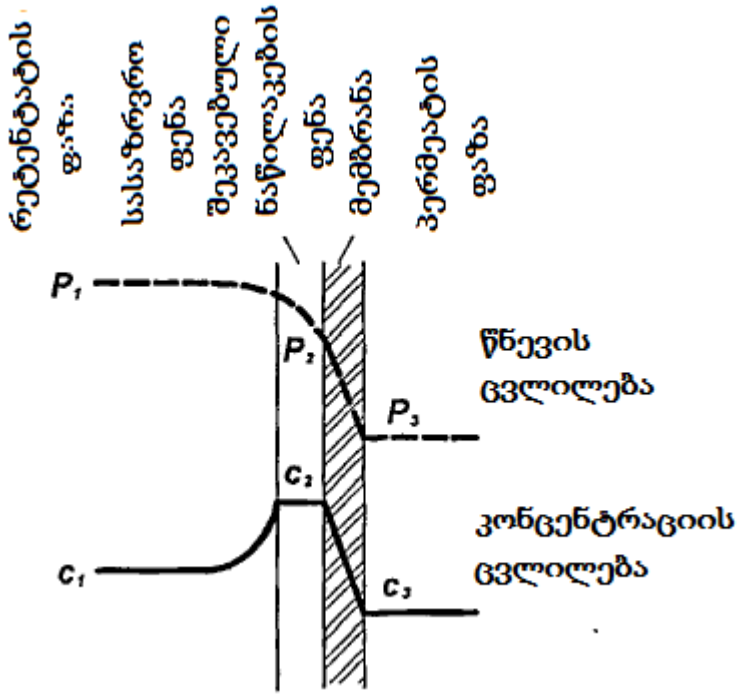
ულტრაფილტრაციის სისტემის УМС-2/80 ტექნიკური დახასიათება:

- ულტრაფილტრაცია: შეკავების ზღუდე - 5,10,20,50 კდა, კუთრი მწარმოებლობა 7-18 ლ/მ^{2}სთ;
- ნანოფილტრაცია: შეკავების ზღუდე -500 და, კუთრი მწარმოებლობა 3-7 ლ/მ^{2}სთ;
- გაბარიტული ზომები: 2,9მ X 0,7მ X 1,8მ.

წარმოდგენილი მემბრანული დანადგარები შეიძლება გამოყენებულ იქნან ლუდის გამაუვნებელმყოფელი ფილტრაციისათვის სეპარატორებზე წინასწარი გაკრიალებისა და კიზელგურის ფილტრებზე დახვეწილი ფილტრაციის შემდეგ და ამით უზრუნველვჰყოფთ ლუდის ბიოლოგიურ და და ნაწილობრივ კოლოიდურ მდგრადობას - მოცემულმა მეთოდმა („ცივი“ ჩამოსხმა) ჰპოვა ფართო გავრცელება საზღვარგარეთის ქვეყნებში, რადგან მის დროს მიიღწევა ისეთივე ეფექტი, როგორიც ნაკადში პასტერიზაციის დროს, მხოლოდ ლუდის თავდაპირველი თვისებების შენარჩუნებით და ენერგიის მნიშვნელოვანი ეკონომიით. ხოლო კითხვა მემბრანული სისტემების გამოყენებაზე, უხეში, გამაკრიალებელი და დახვეწილი ფილტრაციისათვის რჩება ღიად.

1.4.6. მიკრო ფილტრაციის პროცესის მათემატიკური აღწერა.

მიკროფილტრაცია გულისხმობს მიკრონული ზომის მცირე ნაწილაკების (ჩვეულებრივ 0,1 დან 10 მკმ მდე) მოცილებას. ოსმოსური წნევა აქ თამაშობს უმნიშვნელო როლს, ვინაიდან ნაწილაკები შედარებით დიდია, ხოლო მათი რაოდენობა მოცემულ მოცულობაში მცირე. ნაწილაკები, რომლებიც არ გადის მემბრანაში გროვდება მის ზედაპირზე, წარმოიქმნება მკვრივი ფენა. ამ ფენის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა სითხის კონვექციური ნაკადის მიმართ ხდება არსებითი [12,32,33].



ნახ. 1.17. გადატანის მოდელი მიკროფილტრაციის დროს

გადატანის მოდელი მიკროფილტრაციის დროს იგება მემბრანის გავლით სითხის ნაკადის (1.1), შეკავებული ნაწილაკების ფენის გავლით სითხის ნაკადის (1.2) და გახსნილი ნივთიერების სასაზღვრო ფენის გავლით გადატანის (1.3) განტოლებების საფუძველზე. ვინაიდან გახსნილი ნივთიერება არ გადის მემბრანაში განტოლება მისი ნაკადისათვის და უწყვეტობის განტოლება არ გვჭირდება:

$$J = \frac{1}{r_m}(P_2 - P_3); \tag{1.1}$$

$$J = \frac{1}{r_b}(P_1 - P_2); \tag{1.2}$$

$$S = -D\frac{dc}{dy}. \tag{1.3}$$

გახსნილი ნივთიერების დიფუზიური ნაკადი სასაზღვრო ფენის ნებისმიერი კვეთის გავლით (1.3) ტოლია გახსნილი ნივთიერების ნაკადის საპირისპირო მიმართულებით საერთო ნაკადის მოქმედებით; სასაზრვრო ფენის სისქეზე δ ინტეგრებით, მივიღებთ:

$$J = \frac{D}{\delta} ln \frac{c_2}{c_1}. \tag{1.4}$$

ვინაიდან სასაზრვრო ფენის სისქის δ განსაზღვრა იწვევს სიძნელეებს, ჩვეულებრივ ფარდობას $\frac{D}{\delta}$ ცვლიან β-თი :

$$J = \beta ln \frac{c_2}{c_1}. \qquad (1.5)$$

იმ ნაწილაკების კონცენტრაცია, რომელიც არ გადის ფილტრში, მიკროფილტრაციის პროცესებში მემბრანის ზედაპირთან სწრაფად აღწევს გაჯერების დონეს. ამ პირობის შესრულების დროს c_2 ცვლიან კონსტანტით c_c (კონცენტრაცია მონალექ ფენაში).

$$J = \beta ln \frac{c_c}{c_1}. \qquad (1.6)$$

მიღებულია აგრეთვე განტოლებების (1.1) და (1.2) შეჯამება, რომ გამოვრიცხოთ P_2 რაც გვაძლევს:

$$J = \frac{1}{r_b + r_m}(P_1 - P_3). \qquad (1.7)$$

განტოლება (1.7) განტოლებებთან (1.5) ან (1.6) ერთად წარმოქმნიან მიკროფილტრაციის პროცესებში გადატანის მათემატიკურ მოდელს. განტოლება (1.5) გამოიყენება მაშინ, როცა არ ხდება შეკავებული ნაწილაკების ფენის გათვალისწინება, ხოლო გათვალისწინების შემთხვევაში (1.6). მოცემულ მოდელში ხდება მემბრანის ერთი მახასიათებლის გათვალისწინება და სასაზრვრო ფენის ან შეკავებული ნაწილაკების ფენის სამი მახასიათებლის. მემბრანის ერთადერთი მახასიათებელი r_m, r_b (სასაზღვრო ფენის მახასიათებელი) შედარებით პრაქტიკულ პირობებში ხდება არაარსებითი, ამიტომ მიკროფილტრაციის პროცესი თითქმის მთლიანადაა დამოკიდებული სასაზღვრო ფენის მახასიათებლებზე [12,122].

გადატანის მოდელი შეიცავს ოთხ პარამეტრს (r_m, r_b, β *და* c_c), რომლებიც აუცილებელია პერმეატის ნაკადის პროგნოზირებისთვის.

მემბრანის წინააღმდეგობა r_m ადვილად შეიძლება განვსაზღვროთ ექსპერიმენტალურად სუფთა წყლის გამოყენებით და ფარდობის „ნაკადი-წნევა“ მრუდის დახრის გაანგარიშებით. მემბრანის წინააღმდეგობა ფორის ზომების ცნობილი განაწილებით იანგარიშება აგრეთვე კაპილარული ნაკადის ხაგენ პუაზიელის განტოლების დახმარებით:

$$r_m = \frac{128\mu b}{\pi \sum[n_p d_p^4]}. \quad (1.8)$$

შეკავებული ნაწილაკების ფენის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა r_b თუ ეს ფენა უკუმშვადია, შეიძლება განსაზღვრულ იქნას კარმენ-კოზენის ფორმულის დახმარებით, რომელიც მოცემულია (1.9) განტოლებით. თუ ხისტი სფერული ზედაპირებისთვის S_c ტოლია $\frac{3}{r_s}$, მაშინ შემთხვევით ფორმირებული ფენისათვის ε - დაახლოებით 0,4. კოეფიციენტი K დაახლოებით ტოლია 5.

$$r_c = \frac{K(1-\varepsilon)^3 S_c^2 \delta_c}{\varepsilon^3}. \quad (1.9)$$

მასაგაცემის კოეფიციენტი β შეიძლება შეფასებული იქნას ლევეკის ხსნარის დახმარებით, რომელიც გამოიყენება ანალოგიურ ამოცანაში მილში ლამინარული ნაკადის დროს თბოგადაცემის გასაანგარიშებლად [33]. β საშუალო მნიშვნელობა L სიგრძის მილში ფორმირებად ლამინარულ ნაკადში:

$$\beta = 0{,}807 \left\langle \frac{\gamma_\omega D^2}{L} \right\rangle^{1/3}. \quad (1.10)$$

განტოლებაში (1.10) გამოყენებული გახსნილი ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტის D მნიშვნელობა სადისკუსიოა. დიფუზიის კოეფიციენტი, გამოსახული სტოქს-ეინშტეინის განტოლებით, გაანგარიშების დროს იძლევა β შემცირებულ მნიშვნელობებს პერმეატის ნაკადის შედეგად [30,33]; დიფუზიის კოეფიციენტი ძვრის დროს (განტოლება 1.11), როგორც გამომდინარეობს ლიტერატურიდან უფრო ეთანხმება ექსპერიმენტალურ მონაცემებს [33].

$$D = 0{,}0075\, d_p^2 \gamma_\omega. \quad (1.11)$$

მასაგაცემის კოეფიციენტი დიფუზიის გათვალისწინებით გამოისახება განტოლებით (1.12), რომლის დახმარებითაც შეიძლება ვიწინასწარმეტყველოთ მკაცრი ხაზოვანი დამოკიდებულება და შესაბამისად ხდება უფრო მეტი კორელაცია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან.

$$\beta = 0{,}078 \left(\frac{d_p^4 \gamma_\omega^3}{16L}\right)^{1/3} \quad (1.12)$$

ნაწილაკების, რომლებიც არ გადის მემბრანაში კონცენტრაცია c_c ფენაში აღწევს თეორიულად მაქსიმალურ მნიშვნელობას 0,74 ექვსკუთხედებად კომპანებული ხისტი სფეროებისათვის. მიუხედავად ამისა მოქნილი ნაწილაკებისათვის შეიმჩნეოდა მისი მნიშვნელობა 0,9. მაკრომოლეკულურ ხსნარებში (მაგალითად ცილებში და სახამებელში) შეიმჩნევა უფრო დაბალი მნიშვნელობები 0,2- დან 0,4-მდე.

მიკროფილტრაციის დროს პერმეატის ნაკადის პროგნოზირებისთვის მათემატიკური მოდელის გამოყენება გაძნელებულია, მოდელის პარამეტრების ზუსტი შეფასების სირთულის გამო. მიუხედავად ამისა ეს მოდელი შეიძლება გამოვიყენოთ მუშა პარამეტრების ანალიზისთვის, რაც მნიშვნელოვნად სასარგებლოა მიკროფილტრაციის პროცესის გასაგებად [112,114,119].

1.5. ძირითადი დასკვნები და კვლევის ამოცანების დასმა

ლუდის ბიოლოგიური მდგრადობის გასაზრდელად მრავალრიცხოვან თანამედროვე დამუშავებებს შორის მრავლისმომცემია მემბრანული ფილტრები. მემბრანების გამოყენების დროს ცუდი ლუდი პრაქტიკულად არ რჩება. სპეციალისტების აზრით მემბრანების საშუალებით ლუდის ფილტრაციის ტექნოლოგია უკვე უახლოეს წლებში საბოლოოდ „მიიყვანება“ და ჩაერთვება საწარმოო ნაკადში. ფასები მათზე უფრო ხელმისაწვდომი უნდა გახდეს. მემბრანების დასამზადებლად გამოიყენება პლასტიკური ან ფოროვანი კერამიკული მასალა. მემბრანული ფილტრები თავისი აგებულებით მსგავსია კიზელგურის „პეროგის“. უხეში, საშუალო და წვრილი კიზელგური მოილექება მიმდევრობით ფენებად - რომ შეაკავოს ყველაფერი, რაც შესაძლებელია და რაც შეიძლება დიდხანს შეინარჩუნოს ფენის მუშაობის უნარი. პირველი ფენა იკავებს ყველაზე მსხვილ ნაწილაკებს, საშუალო - უფრო წვრილს, მესამე ყველას, რაც დარჩა. ამ პრინციპითვეა ფორები განლაგებული მემბრანულ ფილტრში. გერმანიაში ლუდისმხარშველებს მემბრანული ფილტრაცია საშუალებას აძლევს მიიღონ ლუდის გამოსავლის ძალიან მაღალი პროცენტი პრაქტიკულად დანაკარგების გარეშე. ძლიერი მემბრანული ფილტრი საოცნებოა მრავალი სამამულო ლუდის მხარშველისთვის, მაგრამ ჩვენთვის ასეთი ფილტრი ჯერ ძვირია. ამას გარდა მემბრანული ფილტრი იძლევა კარგ შედეგს

ეკონომიური თვალსაზრისით მხოლოდ ლუდის ხარშვის ტექნოლიგიის ზუსტი დაცვის პირობებში. ეს წინაპირობა შესამჩნევად ამცირებს მასზე ინტერეს საქართველოს ბევრ ლუდსახარშში.

ლუდის მემბრანული გაყოფის პროცესების კვლევა ტექნოლოგიისა და მოწყობილობების შექმნის მიზნით, უკანასკნელ წლებში სწარმოებს რუსეთშიც. უნდა აღვნიშნოთ სამეცნიერო მუშაობა იუ.ი. დიტნერსკის, მ.ტ. ბრიკის, ს.ფ. ტიმაშევა, ვ.მ. აბრიშევის, ბ.ნ. ფედორენკოს, ა.ნ. ჩერკასოვის, აგრეთვე ტ. ბროკის, ს. ხოფმანის, ვ. კუნცეს, რ. შლენკერის მემბრანული ტექნოლოგის დარგში და მისი გამოყენება ლუდსახარშ საწარმოებში.

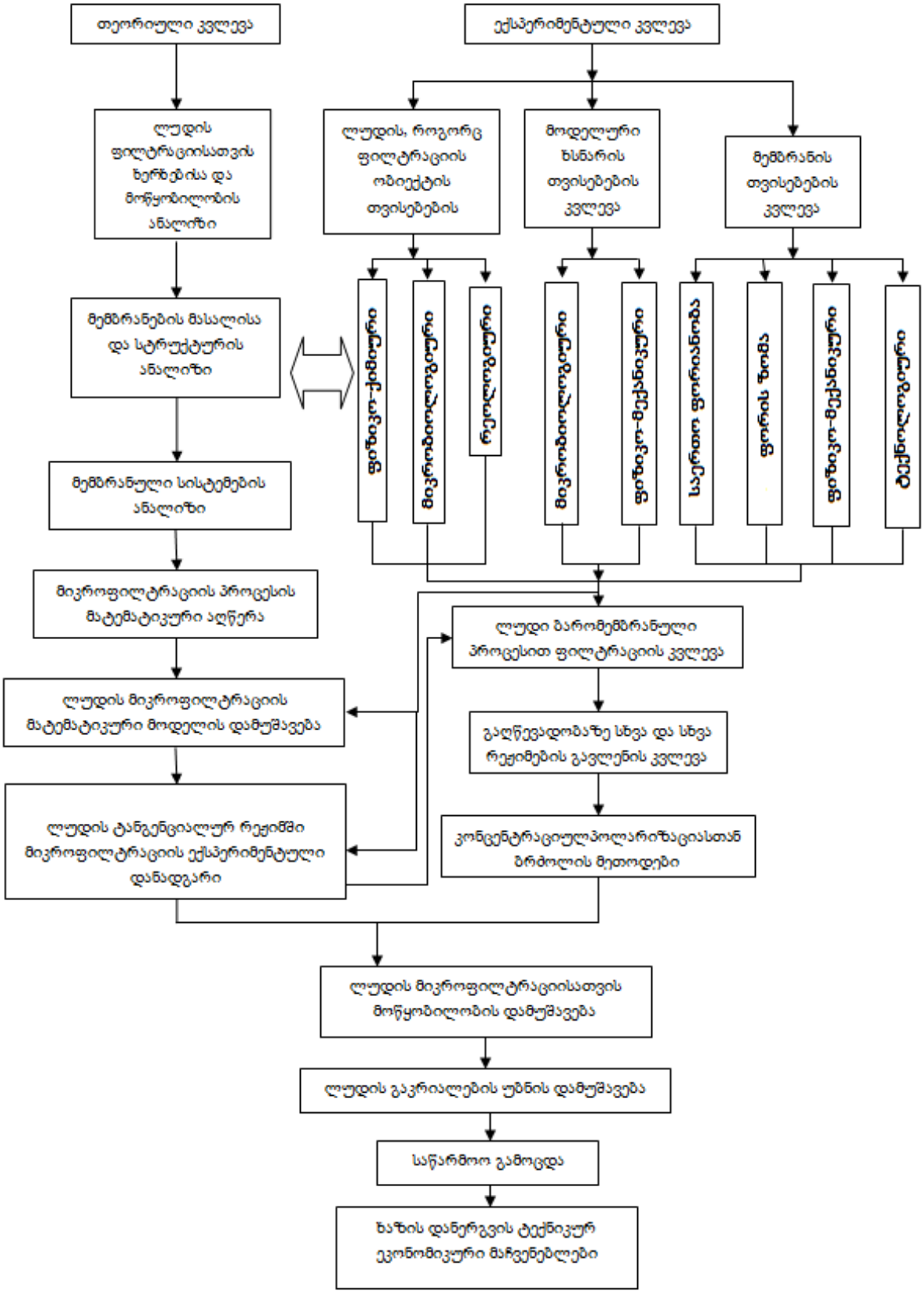
მიუხედავად ამისა ლიტერატურაში არსებული მონაცემები საშუალებას არ გვაძლევს ჩავთვალოთ ლუდის მემბრანული გაყოფის პროცესები საბოლოოდ გამოკვლეულად და გადაწყვეტილად. არასაკმარისაი მონაცემები ლუდის მემბრანული დამუშავების თავისებურებებზე და მისი გავლენა პროდუქტის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. არ არის დასაბუთებული ლუდის მიკროფილტრაციის პარამეტრები, მემბრანის ფორის ზღვრული ზომები, რომლებიც უზრუნველჰყოფს პროდუქტის სტაბილურ ხარისხს. არ არის შესწავლილი ლუდის მიკროფილტრაციის კინეტიკა და ჰიდროდინამიკა მისი ორგანიზების სხვადასხვა ხერხების შემთხვევაში. არ გვაქვს ლუდის მიკროფილტრაციის დანადგარების საწარმოო ექსპლოატაციის მონაცემები.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე წინამდებარე სამუშაოს ამოცანები შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი სახით:

- ლუდის როგორც კვლევის ობიექტის ძირითადი თვისებების განსაზღვრა;
- მემბრანების შერჩევის დასაბუთება და მათი თვისებების შესწავლა;
- ბარომემბრანული მეთოდით ფილტრაციის პროცესის კინეტიკისა და ჰიდროდინამიკის კვლევა;
- სუსპენზიის ნახევრად გაღწევად ტიხრებში ფილტრაციის პროცესის მატემატიკური მოდელის დამუშავება და ანალიზი, გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდიკის შექმნა;

- კონცენტრაციულ პოლარიზაციასთან ბრძოლის მეთოდების კვლევა და მათი პრაქტიკაში რეალიზება;
- ინოვაციური მოწყობილობისა და ტექნოლოგიის დამუშავება ლუდის ეფექტური გაკრიალებისთვის.

დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად დამუშავებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის მეთოდიკა ნაჩვენებია ნახ. 1.18.



ნახ.1.18 თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის სქემა

თავი 2. მემბრანისა და ლუდის, როგორც ფილტრაციის ობიექტების თვისებების კვლევა

ფილტრაციის პროცესის წარმატებით ჩასატარებლად მნიშვნელოვანია არამარტო როგორი ტექნიკა იქნება გამოყენებული, არამედ საწყისი პროდუქტის და მფილტრავი საშუალებების ხარისხი. ლუდის, როგორც ფილტრაციის ობიექტის ხარისხი ხასიათდება მისი ფილტვრადობით - ლუდის თვისებით დახუროს ფორები ფილტრაციის დროს. მებრანების, როგორც მფილტრავი საშუალებების ძირითად თვისებებად ითვლება ფორის ზომები, ფიზიკო-მექანიკური თვისებები, ტექნოლოგიური თვისებები (კუთრი მწარმოებლობა და შეკავების უნარი) [4,33,37,51,61].

2.1. ფილტრაციის ობიექტის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებები

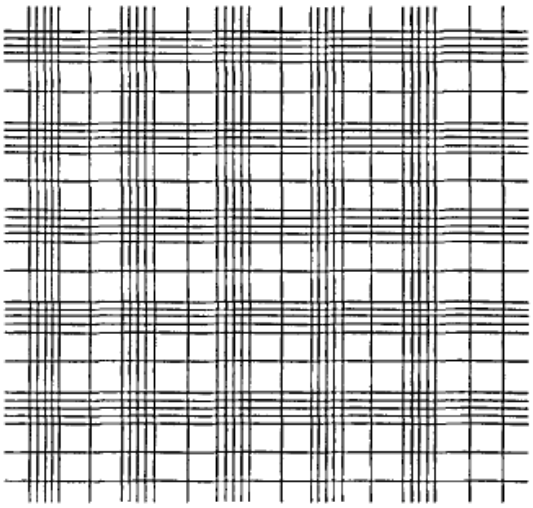
ცდების ჩატარების დროს საკვლევ პროდუქტად ვიყენებდით გაუფილტრავ ლუდს „ჟიგული“ (ტი 9184-103 2007), სინჯის აღება ხდებოდა უშუალოდ ცკტ-დან. როგორც ლიტერატურულ მიმოხილვაში იყო ნაჩვენები, ფილტრაციის პროცესი დამოკიდებულია ლუდის ფილტვრადობაზე, ხოლო ფილტვრადობა თავის მხრივ დამოკიდებულია ნაწილაკების ზომებზე და ლუდის ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებზე. ლუდის ფილტვრადობის შესაფასებლად იყენებენ შემდეგ მეთოდებს [4,46]:

- მიკროორგანიზმების შემცველობის განსაზღვრა;
- pH სიდიდის გაზომვა;
- სიცივე-ალკოჰოლური ტესტი (ხაპონის მიხედვით);
- მემბრანულ-ფილტრაციული ტესტი (ესსერის მიხედვით).

ლუდის ცუდი ფილტვრადობის ერთ ერთი მიზეზი არის მასში მიკროორგანიზმების შემცველობა. ამასთან დაკავშირებით ლუდში ამოწმებენ საფუვრების კონცენტრაციას და საერთო მიკრობულ რიცხვს. საფუვრის უჯრედების კონცენტრაციას საზღვრავენ გორიაევის საკანში, მიკროორგანიზმების საერთო რაოდენობას გაფილტრულ ლუდში -მემბრანული ფილტრაციის მეთოდით.

ბაქტერიების რიცხვის განსაზღვრისათვის იყენებენ მემბრანულ ფილტრებს ფორების ზომით 0,45 მკმ, საფუვრების განსაზღვრისათვის - 0,8 მკმ.

ხ. შაუბი თვლის, საფუვრის უჯრედების რაოდენობა ლუდის ფილტრაციის წინ არ უნდა აღემატებოდეს 0,4-0,5 მილ. უჯრედს/მლლ, მაშინ როცა როგორც გ. ანემიუ-ლერი უშვებს საფუვრების კონცენტრაციას ლუდში მისი ფილტრაციის წინ 1-3 მილ. უჯრ./მლლ.



ნახ.2.1. გორიაევის ბადიანი საკანი

გორიაევის სათვლელ საკანს აქვს (ნახ. 2.1) ფართი 9 მმ^2, საკნის მოცულობა 0,9 მმ^3. სათვლელი საკნის ბადე დაყოფილია 225 დიდ კვადრატად (15 რიგი 15 კვადრატით). ითვლიან მიკროორგანიზმების რაოდენობას ხუთ დიდ კვადრატში დიაგონალზე ან ბადის კუთხეებში და ცენტრში. ვინაიდან გორიაევის ერთ საკანში გვაქვს ორი ბადე (ცენტრალური ნაწილის ზემოთ და ქვემოთ), ამიტომ ამზადებენ ორ პრეპარატს: პირველში თვლიან უჯრედების რაოდენობას ორივე ბადის ხუთ დიდ კვადრატში, მეორეში - მხოლოდ ერთ ბადეზე. მაშასადამე დათვლას აწარმოებენ სამ ბადეზე და ითვლიან უჯრედების საშუალო მნიშვნელობას. ვინაიდან ბადე შედგება 225 დიდი კვადრატისაგან, ერთი კვადრატის მოცულობა ტოლია [10,38,39]:

$$\frac{0,9 \text{ მმ}^3}{225} = 0,004 \text{ მმ}^3.$$

მაშასადამე, თუ ერთ კვადრატში (ან 0,004 მმ^3) აღმოჩენილია a უჯრედი, მაშინ 1 მლლ (ან 1000 მმ^3) მათი რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$x = \frac{a.1000}{0,004}$$=a·250 000.

ჩვენი შემთხვევისთვის ერთ ბადეში უჯრედების საშუალო რაოდენობა გვექნება 21,4, მაშინ 1 მლლ-ში:

x =21,4·250 000=5360000უჯრ./მლლ.

მიკროორგანიზმების საერთო რაოდენობას ვსაზღვრავდით მემბრანული ფილტრაციის მეთოდით.

მიკროფილტრები (ან მემბრანული ფილტრები) წარმოადგენენ ნიტროცელულოზის ფირებს, რომლებიც განსხვავდებიან ნომრით ფორების ზომისაგან დამოკიდებულებით.

უკანასკნელ დროს დაიწყეს მემბრანული ფილტრების დამზადება უფრო მსხვილი ნახვრეტებით - 3 მკმ -მდე, რომლებსაც უწოდებენ „წინასწარს“ ან აღნიშნავენ №6.

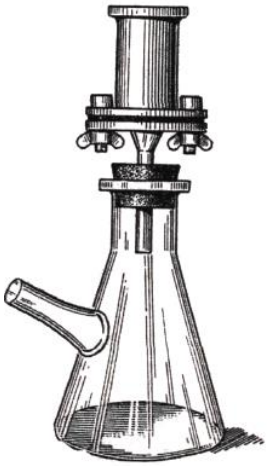
ცხრილი 2.1

ესსერის მიხედვით მემბრანულ-ფილტრაციული ტესტის მემბრანული ფილტრების ნომრები

ფილტრის ნომრები	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
შეკავების ზღურბლი, მკმ	0,35	0,,5	0,7	0,9	1,2

მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სითხის მიერ ფილტრის გავლისას მიკროორგანიზმები კავდება ზედაპირზე ან მემბრანული ფილტრის ფორებში. ამ მეთოდით მუშაობის დროს საჭიროა აგრეთვე საფილტრაციო ხელსაწყო, ამ მიზნით იყენებენ ზეიცის ფილტრს (ნახ.2.2).

მასალის დაბინძურებაზე დამოკიდებულებით ანალიზისათვის იღებენ 1-დან 500 მლლ-მდე სითხეს. თუ ის შეიცავს ბევრ მიკროორგანიზმს, მაშინ აკეთებენ რაოდენობრივ განზავებას სტერილურ წყალში. მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ ყველაზე მცირერიცხოვანი ინფექციაც კი, ფილტრზე დიდი მოცულობების გატარებით.



ნახ. 2.2. ზეიტცის საფილტრაციო ხელსაწყო

ულტრაფილტრაციის მეთოდი გამოიყენება არა მარტო ლუდის მიკრობიოლოგიური ანალიზისთვის არამედ წყლისაც. ლუდს ფილტრავენ 20-100 მლლ მოცულობით.

ჩვეულებრივ მემბრანულ ფილტრს აქვს დაახლოებით 3 სმ^2 ფილტრაციის ზედაპირი. ფილტრაცია უნდა ვაწარმოოთ იმნაირად, რომ ფილტრზე გაიზარდოს არა უმეტეს 50 კოლონიისა.

გამოსაკვლევ ნიმუშს საჭირო მოცულობით ასხამენ საფილტრაციო ხელსაწეყოსი სტერილურობის წესების დაცვით და მიმღებ ჭურჭელში (კოლბაში) ქმნიან გაიშვიათებას წყალჭავლური ან ზეთის ტუმბოს საშუალებით.

ფილტრაციის დამთავრების შემდეგ ხსნიან ხელსაწყოს ჭიქას და სტერილური პინცეტით გადააქვთ მემბრანულ ფილტრში მკვებავი არის ზედაპირზე. ლამბაქებს აყოვნებენ თერმოსტატში 25-30 °C ტემპერატურაზე დღე ღამეების განმავლობაში, რის შემდეგაც ლუპის დახმარებით ითვლიან კოლონიების რაოდენობას. მიღებულ შედეგს გადაიანგარიშებენ 1 მლლ ან 1 გ პროდუქტზე ან წყალზე [61,69].

კვლევა ჩავატარეთ მიკრობიოლოგიის ლაბორატორიაში. ლუდის მიკრობიოლოგიურ დასნებოვნებაზე ანალიზის შედეგი - 5,68 მილიონი უჯრედი/მლლ.

ფილტრაციის ობიექტის ფიზიკო-ქიმიური თვისებების განსაზღვრა.

კონტროლი pH სიდიდის მიხედვით.

pH სიდიდის 4,1-4,5 ფარგლებში ლუდის დადუღების დროს ხდება ცილოვან-მთრმილავი კომპლექსების ინტენსიური გამოყოფა, რაც დადებითად აისახება ლუდის ფილტრაციის პროცესზე. მნიშვნელოვანია რომ სიდიდე pH<4,5 მიღწეულ იქნა ჯერ კიდევ ლუდში საფუვრის კონცენტრაციის 5 მილ.უჯრ./მლლ დროს. ამ შემთხვევაშისაფუვრების დალექვის დროს დუღილის შემდეგ მოცილდება უჯრედებზე ადსორბირებული ცილოვან-მთრმილავი კომპლექსები.

მჟავიანობის განსაზღვრისათვის ვიყენებდით ფენოლფტალეინით ტიტრომეტრულ მეთოდს. ანალიზის დროს ვიყენებდით: თერმომეტრს, ცილინდრს, კონუსურ კოლბას ტევადობით 100 და 500 სმ^3, ბიურეტკას ტევადობით 25 სმ^3, ლაბორატორიულ მინის საწვეთარას, ნატრიუმის ჰიდროქსიდს კონცენტრაციით 0,1 მოლი/დმ^3, რეკტიფიცირებული ეთილის სპირტი, ფენოლფტალინის სპირტ ხსნარი კონცენტრაციით 10 გ/დმ^3 [38,61,69].

200 სმ^3 ლუდს ვასხამდით 500 სმ^3 ტევადობის კოლბაში, ვახურავდით და პერიოდულად ვხსნიდით მას მანამ, სანამ არ შეწყდება შიგნიდან წნევის შეგრძნება. ანალიზის წინ ნახშირორჟანგის მოსაცილებლად 50 სმ^3 გაფილტრულ ლუდს ვაყოვნებდით 30 წთ კონუსურ წვრილყელიან კოლბაში 40°C, პერიოდულად ვანჯღრევდით. შემდეგ ლუდს ვაცივებდით 20±0,5°C-მდე.

გაუმჭირვალე ლუდს წინასწარ ვფილტრავდით ქაღალდის ფილტრში. 10 სმ^3 ლუდი, გაზომილი პიპეტით შეგვქონდა 100 სმ^3 ტევადობის კონუსურ კოლბაში, ვამატებდით 40 სმ^3 წყალს და 3...4 წვეთ ფენოლფტალეინის ხსნარს. კოლბაში მოთავსებულ ნარევს ვტიტრავდით 0,1% ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარით სუსტი ვარდისფერი შეფერილობის მიღებამდე, რომელიც ინახებოდა 30 წმ განმავლობაში.

ლუდის მჟავიანობას (X) ვანგარიშობდით ფორმულით [36,37]:

$X=V_p \cdot K_1 \cdot K_2$

X=4,3·1,02·1=4,38

სიცივე-ალკოჰოლური ტესტი ხაპონის მიხედვით.

ეს ტესტი გულისხმობს სიმღვრივის გაზომვას 25°C დეგაზირებული ლუდის 1 სთ დაყოვნების შემდეგ -8°C და ნიმუშში ეთანოლის 6-დან 8% -მდე შემცველობის დროს. ეთანოლის დამატება ეწინააღმდეგება ცილა-მთრმილავი კომპლექსების გახლეჩვას, აჩქარებს სიმღვრივის წარმოქმნას და ეწინააღმდეგება ლუდის გაყინვას. ამ ტესტის თანახმად ლუდს, რომელსაც აქვს სიმღვრიე 70 ერთ. EBC მეტი გაიარა არა საკმაოდ კარგი დალექვა არასტაბილური ცილოვან-მთრმილავი ნივთიერებების და მოხდება გართულება ფილტრაციის დროს.

ლუდის სიმღვრივეს ვსაზღვრავდით ტურბიდიმეტრით 2100P TURBIDIMETR HACH - შედეგად გაუფილტრავი ლუდის სიმღვრიე 78 ერთ. EBC.

მემბრანულ-ფილტრაციული ტესტი ესსერის მიხედვით [38,51].

ფილტვრადობის ტესტი ესსერის მიხედვით გულისხმობს ლუდის ფილტვრადობის განსაზღვრას 0°C 0,2 მკმ მემბრანების გამოყენებით. ამ ტესტის თანახმად ლუდის ფილტვრადობა არადამაკმაყოფილებელია.

გაუფილტრავი ლუდის წარმოებული ანალიზების შედეგად დავადგინეთ: საფუვრის უჯრედების კონცენტრაცია 5,,36 მილ.უჯრ./მლლ, pH სიდიდე 4,38, სიმღვრიე 78 ერთ. EBC - გაკეთდა დასკვნა, რომ ლუდის ფილტვრადობა არადამაკმაყოფილებელია.

ცუდი ფილტვრადობა ჩვენთვის არ იყო ნეგატიური ფაქტორი, ვინაიდან თუ ექსპერიმენტის შედეგები იქნებოდა დადებითი, არ უნდა აღიძვრეს კარგი ფილტვრადობის მქონე ლუდის ფილტრაციის პრობლემა.

ლუდის ფილტვრადობის შესაფასებლად ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა ახალი მეთოდი.

ლუდის, ღვინოების, ყურძნის და სხვა ხილის წვენების კოლოიდური სუსპენზიების მიკროფილტრაციისათვის მემბრანების შესარჩევად და საწარმოო მიკროფილტრაციის პროცესის ეფექტურობის პროგნოზირებისათვის დამუშავებულია ხსნარების მემბრანებზე ფილტრაციის უნარის გამოკვლევა. შედეგები ძირითადად წარმოგვიდგება მუდმივების სახით, რომლებიც გაანგარიშებულია სხვა და სხვა დროის შუალედში მიღებული პერმეატის რაოდენობიდან გამომდინარე.

უკეთ, რომ განგვესაზღვრა ამ სახის კვლევის გამოყენების სფერო, ჩვენ შე-ვისწავლეთ მუდმივ წნევაზე აცეტატცელულოზის მემბრანებზე დაკალიბრებული ლატექსის კოლოიდური სუსპენზიების მიკროფილტრაცია [125].

ფილტრაცია მუდმივ წნევაზე აღიწერება ოთხი სხვა და სხვა კანონით [41]:

სუფთა დაცობა $$k_b V = Q_0[1 - exp(-k_b t)] \quad (2.1)$$

შუალედური შემთხვევა $$k_t V = ln[1 + k_t Q_0 t] \quad (2.2)$$

სტანდარტული კანონი $$k_s t = \frac{2t}{V} - \frac{2}{Q_0} \quad (2.3)$$

ფილტრაცია ნალექის წარმოქმნით $$k_c v = \frac{2t}{V} - \frac{2}{Q_0} \quad (2.4)$$

სადაც: V –პერმეატის მოცულობა

t- დრო

k_b–სუფთა დაცობის მუდმივა;

k_i–ფილტრაციის შუალედური კანონის მუდმივა;

k_c –ნალექის ფენის გავლით ფილტრაციი კანონის მუდმივა;

k_s –მუდმივა სტანდარტული კანონით ფილტრაციისათვის;

Q_0–საწყისი ხარჯი.

(პირობითად მიკროფილტრაციისთვის გამოვიყენებთ ტერმინს ფილტრაცია)

თითოეული ეს განტოლება გამოდის ფილტრაციის ფიზიკური მოდელიდან.

სუფთა დაცობა მიღებულია დაშვებიდან, რომ მემბრანა შედგება პარალელური ფორებისგან და თითოეული ნაწილაკი რომელიც აღწევს მემბრანის ზედაპირს ბლოკირებას უკეთებს ფორებს.

შუალედური კანონი მიღებულია დაშვებიდან,რომ ნაწილაკი შეიძლება დაედოს სხვა ნაწილაკს, რაც ზრდის ფორის დახშობის ალბათობას.

სტანდარტული კანონი მიღებულია დაშვებიდან, რომ ფორების მოცულობა მცირდება პერმეატის მოცულობის პროპორციულად, მათ კედლებზე ნაწილაკების დალექვის შედეგად.

სპეციალისტებისათვის უფრო ნაცნობია ფილტრაცია ნალექის წარმოქმნით, რომელიც მართალია ზრდის მემბრანის წინააღმდეგობას ნაწილაკების დაგროვებით

ნალექის წარმოქმნის შედეგად, მაგრამ ნაკადის ჰიდროდინამიკით იგი შეიძლება შევინარჩუნოთ მინიმალურ დონეზე და ამისათვის ეფექტურია ჩვენს მიერ შემოთავაზებული პულსირებული წნევის გამოყენება.

რომ განვსაზღვროთ ექსპერიმენტალური მრუდისთვის უფრო შესატყვისი განტოლება, დამუშავებულია პროგრამა კომპიუტერზე გასაანგარიშებლად, რომლებიც იძლევა მუდმივებს k და Q_0 ოპტიმალურს თითოეული მოდელისათვის. შემდეგ ვადარებთ ოპტიმალურ მნიშვნელობებს ექსპერიმენტის მონაცემებს. თუ ჩვენ განვიხილავთ ექსპერიმენტალურ მნიშვნელობებს (t_i,Vi) და (t_i) ორ წყვილს, პერმეატის მოცულობებს გაანგარიშებულს განტოლებებით (1), (2), (3) და (4) k_b , k_t , k_s , k_c ოპტიმალური მნიშვნელობებისთვის, რომლებიც მიღებულია კომპიუტერის საშუალებით, შეიძლება ვიანგარიშოთ

$$\Delta = \sum_{i=1}^{N} \left(f(t_i - V_i) \right)^2 \qquad (2.5)$$

სადაც: N-ექსპერიმენტალური წერტილების რაოდენობა;

V_i-t_i დროის მომენტისათვის შეგროვილი პერმეატის მოცულობა.

მაშასადამე, მოდელებიდან უკეთესი იქნება ის, რომელიც მოგვცემს

$$e = \frac{\sqrt{\Delta}}{N} \qquad (2.6)$$

მინიმალურ მნიშვნელობას, რაც წარმოადგენს თითეულ ექსპერიმენტალურ წერტილში განსახილველი მოდელის საშუალო კვადრატულ გადახრას.

გამოკვლევას ვაწარმოებდით მესამე ტიპის ექსპერიმენტალურ დანადგარზე [124]. ვაფიქსირებდით დროის მიხედვით პერმეატის რაოდენობას. შემდეგ მიღებულ მრუდს ვამუშავებდით კომპიუტერზე და ვსაზღვრავდით ფილტრაციის მოდელს, რომელსაც უფრო უახლოვდებოდა.

2.2. მოდელური ხსნარი და მისი თვისებები

მუშა წნევის და კუთრი მწარმოებლობის წინასწარი განსაზღვრისათვის გამოსაკვლევი პროდუქტის დიდი ხარჯის გამო ვიყენებდით მოდელურ ხსნარს.

მოდელური ხსნარის შესაქმნელად ვიყენებდით წყლისა და ლუდის „ჟიგული“ წარმოების პროცესში ნარჩენი საფუვრების ნარევს. საფუვრების ბადაგში შეტანის

ნორმა 20-30 მილიონ უჯრედი/მლლ, ე.ი. 0,6 ლ სქელი საფუვრის/ჰლ ბადაგში (სქელი საფუარი - 3.10^9 უჯრედი/მლლ). ჩვენ შემთხვევაში საფუვრის უჯრედების კონცენტრაცია გაუფილტრავ ლუდში 5,36 მილიონი უჯრედი/მლლ, მაშინ ნარჩენი საფუვრების შესატანი მოცულობა:

1 ლ-30 მილიონი.უჯრედი/მლლ;

$V_{ნს} - 5,36$ მილიონი.უჯრედი/მლლ.

$V_{ნს} = \frac{5,36.1}{30}$=0,179 ლ საფ./ჰლ წყალი.

ლუდისა და მოდელური ხსნარის შედარებითი ანალიზისათვის ვსაზღვრავდით მიღებული ხსნარის ისეთ ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს, როგორებიცაა სიმკვრივე და სიბლანტე.

ფარდობითი სიმკვრივის განსაზღვრისათვის ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა ვისკოზიმეტრი ВПЖ-1 (სიბლანტის განსაზღვრის უფრო დაწვრილებითი მეთოდიკა აღწერილია 2.5 პარაგრაფში) [37,39,48].

მოდელური ხსნარის ფარდობით სიბლანტეს ვსაზღვრავდით მასების ექსტრაქტულობაზე დამოკიდებულებით, %-ში (გ 100 გ-ზე0 [37]. ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაციის განსაზრვრისათვის ვიყენებდით არეომეტრ-შაქრის მზომს სკალით 0...8, 8...16, 16...24 % მნ. 20°C ტემპერატურაზე მოდელური ხსნარით შევსებულ ცილინდრს ვათავსებდით ჰორიზონტალურ ქვედზე და მდოვრედ ვუშვებდით მასში შაქრის მზომს. ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაციის ათვლას ვაწარმოებდით 2-3 წთ შემდეგ ზედა მენისკის მიხედვით.

კვლევის შედეგების მიხედვით: ხსნარის სიმკვრივე 1009 კგ/მ^3, სიბლანტე μ=0,72.10^{-3} პა.წმ. ვინაიდან ხსნარის ფიზიკო მექანიკური თვისებები ახლოა ლუდის თვისებებთან, გამოტანილი იქნა დასკვნა მისი მოდელურ ხსნარად გამოყენების შესაძლებლობაზე.

2.3. მემბრანების შერჩევის დასაბუთება

მემბრანის შერჩევის ქვეშ იგულისხმება მისი მასალისა და ფორმის შერჩევა. ამჟამად ბაზარზე წარმოდგენილია მემბრანების შემდეგი სახეები: რულონური მემბრანები ისეთი მასალებისაგან, როგორიცაა აცეტატცელულოზა და სხვადასხვა

პოლიმერები (პოლისულფონი, პოლიამიდი, პოლივინილქლორიდი, ფტოროპლასტი, პოლისულფონამიდი და სხვა) ღრუტანიან ბოჭკოიანი მემბრანები პოლიმერების საფუძველზე და მილისებრი მემბრანები - ლითონური, კერამიკული, პოლიმერული, მიკროფოროვანი მინა და გრაფიტი. [8,33,35].

ჩავატაროთ ყველა წარმოდგენილი მემბრანის შედარებითი ანალიზი, გავარჩიოთ მათი უპირატესობა და უარყოფითი მხარე.

მემბრანებს აცეტატცელულოზიდან აქვთ საშუალო გაღწევადობა და ყველაზე დაბალი ფასი, მაგრამ მათ აქვთ დაბალი ქიმიური და თერმული მდგრადობა, ისინი არ არიან მდგრადი მექანიკური ზემოქმედების მიმართ და არ ექვემდებარებიან რეგენერაციას, ამიტომ მათი გამოყენება არ არის რაციონალური [98,106].

მინისაგან დამზადებული მემბრანების უპირატესობა არის მათი ქიმიური მდგრადობა, მაღალი სიმტკიცე და სისალე, მაგრამ მათ აქვთ დაბალი ფორიანობა და გაღწევადობა, აგრეთვე მათ ძირითად ნაკლს წარმოადგენს სიმყიფე.

ლითონურ მემბრანებს აქვთ მაღალი კუთრი მწარმოებლობა, მდგრადობა მექანიკური, ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ზემოქმედების მიმართ, მაგრამ ესენი ყველაზე ძვირი მემბრანებია. აგრეთვე ფოროვანი სტრუქტურის ფორმირების შემდეგ ხდება მემბრანის ზედაპირის მოდიფიცირება ნიკელით, თუთიით, სპილენძით, კობალტით, პლაზმური დაფარვით, ხოლო ფილტრაციის ობიექტის მოცემულ ლითონებთან კონტაქტი შეუძლებელია.

გრაფიტიდან (ან მისი შენაერთებისაგან) დამზადებული მემბრანების ძირითადი უპირატესობაა, მათი მაღალი ქიმიური მდგრადობა, ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში მუშაობა, მაგრამ ისინი ჩამორჩებიან კერამიკულ და ლითონურ მემბრანებს სიმტკიცეში. ძირითადი უარყოფითი მხარეა დაბალი ფორიანობა და აქედან გამომდინარე დაბალი გაღწევადობა.

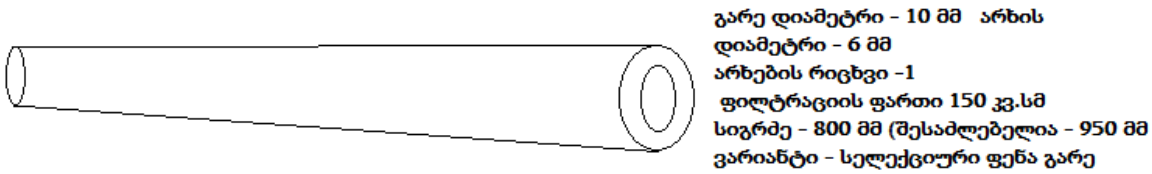
პოლიმერულ მემბრანებს აქვთ რღვევაზე მაღალი სიმტკიცე, მაღალი ფორიანობა, მაგრამ ისინი მყიფეა. ქიმიური მდგრადობა დამოკიდებულია გამოყენებულ პოლიმერზე და დამზადების ხერხსზე [115].

კერამიკული მემბრანების დადებით მხარეებად ითვლება [101,106]: მდგრადობა მექანიკური, ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ზემოქმედების მიმართ, მაღალი

გამტარუნარიანობა, დიდი სამსახური ვადა. ამავე დროს კერამიკულ მემბრანებს აქვთ ზოგიერთი წარმოების ტექნოლოგიით განპირობებული ნაკლი: დამზადების პირობებიგან გამომდინარე კერამიკულ მემბრანებს, როგორც წესი გვთავაზობენ მილისებრი მემბრანების სახით, რომლებსაც აქვთ ფილტრაციის აქტიური ზედაპირის და მოთხოვნილი ფართის ცუდი თანაფარდობა (პოლიმერულ მემბრანებთან შედარებით); კერამიკული მემბრანები ძვირია სხვა მასალებით დამზადებულ მემბრანებთან შედარებით.

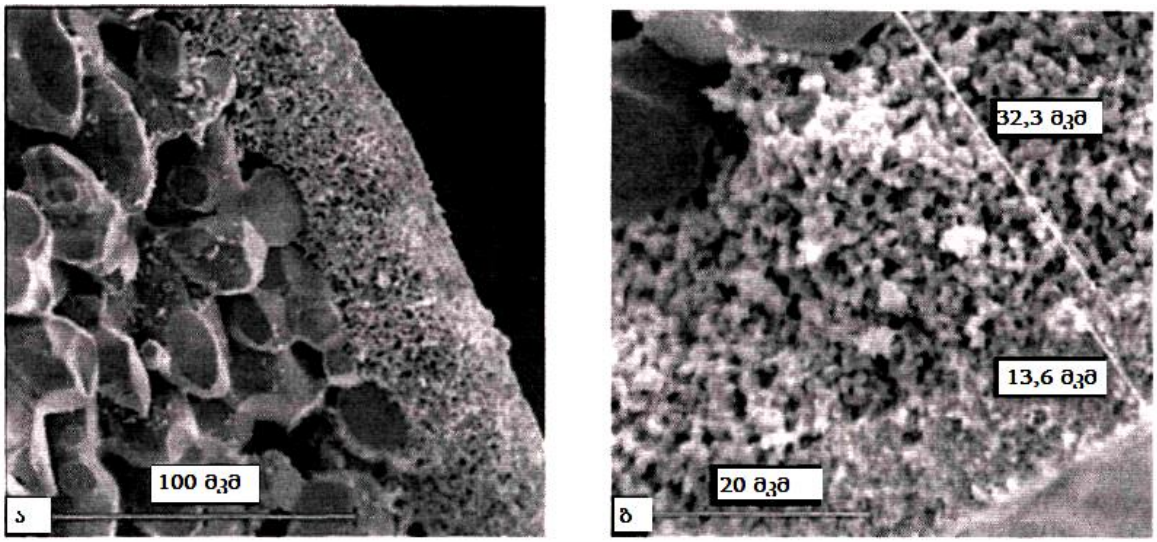
მემბრანების შერჩევის დროს პირველ რიგში უნდა გამოვიდეთ იქედან, რომ მას ჰქონდეს მაქსიმალური კუთრი მწარმოებლობა იმ სელექციურობის დროს, რომელიც უზრუნველჰყოფს პერმეატის ხარისხის (შესაბამისობა სანიტარულ ნორმებთან, გახსნილი ნივთიერებების დანაკარგი დასაშვებია და ა.შ.) მოთხოვნებს. გარდა ამისა მემბრანას უნდა ჰქონდეს მაღალი ქიმიური და მიკრობიოლოგიური მდგრადობა გასაყოფი ხსნარის მიმართ და იმ რეაგენტების მიმართ, რომლებიც გამოიყენებიან ექსპლოატაციის პროცესში მემბრანის ზედაპირზე გასაყოფი ხსნარიდან გამოყოფილი ნალექების გასახსნელად. აგრეთვე ეკონომიკური მოსაზრებიდან ყურადღება უნდა მივაქციოთ მემბრანის ღირებულებას [33,109]

ყველა წარმოდგენილი დადებითი და უარყოფითი მხარეების გაანალიზებით გავაკეთეთ დასკვნა, რომ ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესისათვის უფრო მეტად მისაღებია კერამიკული მილისებრი მემბრანული მოდულები ან მოდულები პოლიმერის საფუძველზე დამზადებული ღრუტანიანი ბოჭკოებისაგან. კერამიკული მემბრანებისა და ბოჭკოვანი მემბრანების კონსტრუქციული და ეკონომიური ნაკლების შედარებით (მაღალი ტანგენციალური სიჩქარე, სტერილიზების შეუძლებლობა, არა დიდი ქიმიური მდგრადობა) შევჩერდით მილისებრი კერამიკული მემბრანების შერჩევაზე [72,73,105].



ნახ.2.3.კერამიკული მემბრანული ფილტრის КМФЭ ტიპზომა

გამოვიკვლიეთ რა მემბრანული მოწყობილობისა და მემბრანების ბაზარი ჩვენ შევირჩიეთ КМФЭ ტიპის მილისებრი კერამიკული მემბრანები, რომლებიც აკმაყოფილებენ ყველა წარდგენილ მოთხოვნებს. ისინი წარმოადგენენ 800 მმ სიგრძის მილაკებს შიგა 6 მმ და გარე 10 მმ დიამეტრებით შესაბამისად (ფილტრაციის ზედაპირის ფართი 150 სმ^2), დამზადებულია ფოროვანი ალუმინის ოქსიდისაგნ, რომლის შიგა ზედაპირზე დატანილია სელექციური ფენა სილიკონის კარბიდის (კრისტალების სისქეა დაახლოებით 0,1 მკმ) ძაფისმაგვარი კრისტალებისაგან.



ნახ.2.4. კერამიკული მემბრანების КМФЭ შემადგენლობა და მიკროსტრუქტურა: ა)მემბრანის მატარის ნახვრეტები და ფრაგმენტი ჭრაში; ბ)ორშრიანი მემბრანის ფრაგმენტი

მოცემულ მემბრანებს აქვთ შემდეგი უპირატესობები:

- მემბრანების მაღალი გამტარუნარიანობა, შესაბამისად მწარმოებლობის მაღალი მაჩვენებლები, გაზომილი დროის ერთეულში ან ფართზე;
- მაღალი ფორიანობა (90÷ 95%) და ბზარების მიმართ მდგრადობა;
- ქსპლოატაცია მაღალ (1-1,5 მპა) პირდაპირ და უკუ წნევებზე;
- ექსპლოატაციის ტემპერატურა 900°C მდე, კარგად იწმინდება ორთქლით 130°C ტემპერატურაზე - იძლევიან ორთქლით სტერილიზაციის საშუალებას;

- მდგრადობა გამწმენდი საშუალებების მიმართ, ისეთების როგორებიცაა დეტერგენტები, მჟავები, ტუტეები pH-ით 0-13 (გამონაკლისია ფოსფორმჟავა);
- ეროზიული ნაკადების (სიჩქარეებით 5÷ 10 მ/წმ) მიმართ მდგრადობა;
- სამსახურის დიდი ვადა;
- მექანიკურ ზემოქმედებაზე და ხახუნზე მდგრადობა (გარე ზემოქმედებაზე);
- მდგრადობა მიკრობიოლოგიური ზემოქმედების მიმართ;
- შექმნილი სტრუქტურული ფორების სტაბილურობა და მემბრანების წარმოების პროცესში მათი აქტიური მართვის შესაძლებლობა.

ცხრილი 2.2

კერამიკული მემბრანული ფილტრების პარამეტრები

შეკავების ზღვარი	0,05	0,2	0,4	0,8	1,2
გაღწევადობა წყალზე, 20°C ტემპერატურაზე $м^3/м^2$სთ	1	4	10	17	20
დასაშვები წნევა, მპა	გარანტირებული არა ნაკლებ 1				
pH დასაშვები დიაპაზონი	0-დან 13-მდე ხანგრძლივად 13-ზე მეტი ხანმოკლედ				
სელექციური ფენის სისქე, მკმ	10 დან 45 მდე				

ჩამოთვლილი უპირატესობების ხარჯზე კერამიკული მემბრანების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ საექსპლოატაციო ხარჯები (ძირითადად სამსახურის დიდი ვადის ხარჯზე), შევამციროთ გაბარიტები და მფილტრავი დანადგარის წონა, რაც აგრეთვე შეამცირებს კაპიტალური დანახარჯების სიდიდეს [33,94,99].

2.4. მემბრანული სისტემების კონფიგურაციის შერჩევის დასაბუთება

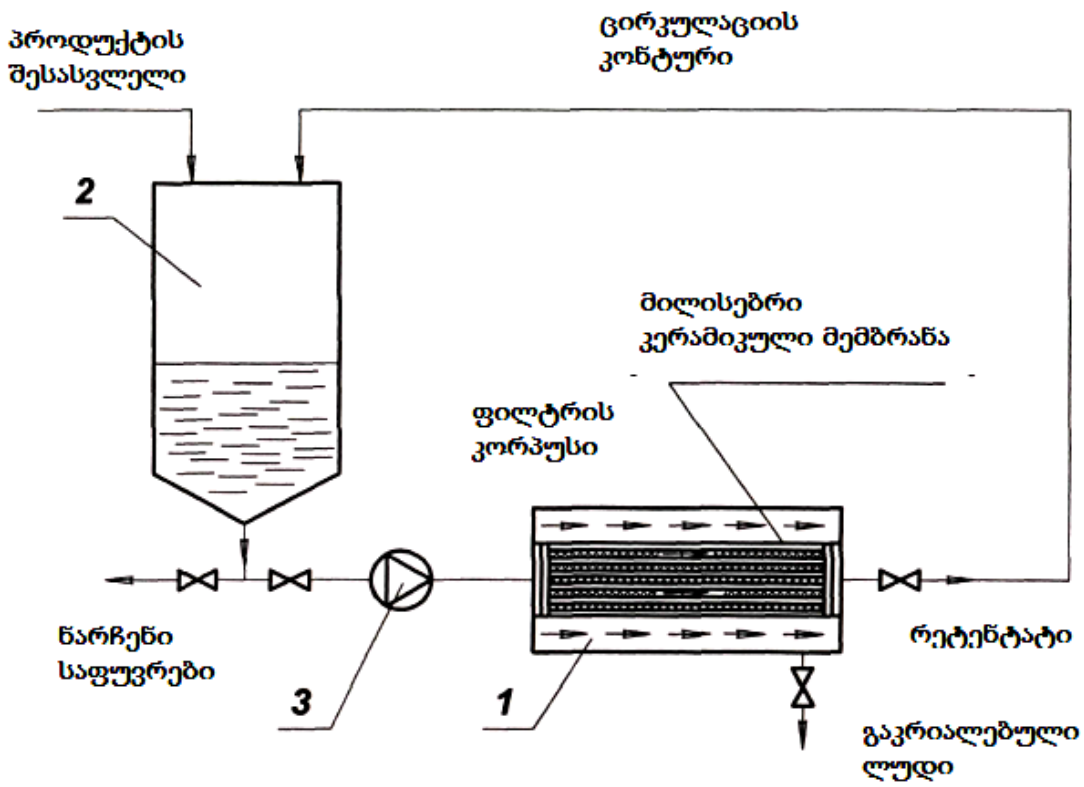
როგორც ზემოდ იყო ნაჩვენები, მემბრანული გაყოფის პროცესებში გამოიყენებიან შემდეგი კონფიგურაციები: „ულუფიანი სისტემა“, სისტემა „ჩატვირთვა-გადმოტვირთვა“ და „ერთსვლიანი“ სისტემები [12,95,104].

„ერთსვლიანი“ კონსტრუქცია ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესისთვის არ გამოდგება, რადგან მოცემული პროცესი მიმდინარეობს კონცენტრაციული პოლარიზაციის მაღალი დონით. ლიტერატურულ მონცემებზე დაყრდნობით ლუდის ფილტრაცია ერთსაფეხურად შეუძლებელია, ამიტომ საჭირო ხდება განსხვავებული გაყოფის ზღუდის მემბრანების გამოყენება, ხოლო მათ სხვადასხვა მუშა წნევა აქვთ. „ერთსვლიანი“ კონსტრუქციის სისტემის დროს არ შეიძლება შევქმნათ განსხვავებული წნევები თანმიმდევრულად განლაგებულ მოდულებში.

სისტემა „ჩატვირთვა-გადმოტვირთვა“ - ეს არის ყველაზე ძვირი სისტემა შესაძლო კონფიგურაციებიდან, სარეცირკულაციო ტუმბოების გამოყენების, ტექნიკური გადაწყვეტის სირთულისა და მემბრანების დიდი ფართის გამო.

„ულუფიანი სისტემა“, ნაწილობრივი რეცირკულაციით ხშირად გამოიყენება ულტრაფილტრაციისათვის, სადაც წნევა სისტემაში მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე წნევის ვარდნა მოდულის გასწვრივ, ამიტომ მისი გამოყენება ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესში არ არის მიზანშეწონილი.

ამიტომ არჩევანს შევაჩერებთ უფრო მარტივ „ულუფიან“ სისტემაზე სრული რეცირკულაციის მექანიზმით. მასში მისაწოდებლად და ტანგენციალური სიჩქარის შესანარჩუნებლად გამოიყენება მხოლოდ ერთი დამჭირხნი ტუმბო, ასეთი კონფიგურაცია ოპტიმალურია დაბალი წნევის ოპერაციისათვის, სადაც მუშა წნევა იმყოფება სიდიდეთა იმ დიაპაზონში, რაშიც წნევის ვარდნა მემბრანული მოდულის გასწვრივ (ამგვარი გვხდება მიკროფილტრაციის სისტემაში) და მოცემულ დროში საჭირო კონცენტრაციის მისაღწევად საჭიროა მემბრანების უმცირესი ფართობი [12,102,111].



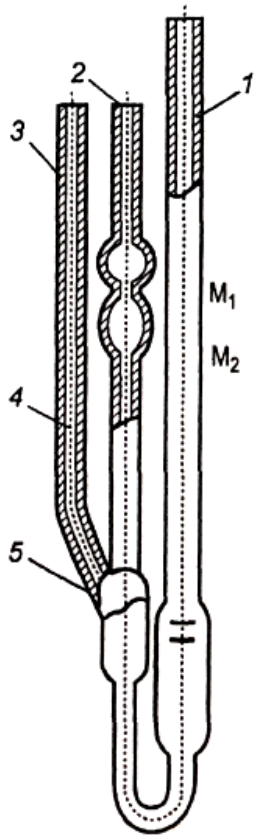
ნახ.2.5. ექსპერიმენტალური დანადგარის სქემა:

1- მემბრანული მოდული, 2-შუალედური ჭურჭელი, 3-ცენტრიდანული ტუმბო

ნახ. 2.5 წარმოდგენილია „ულუფიანი“ სისტემა სრული რეცირკულაციის მექანიზმით, გამოყენებული ექსპერიმენტული დანადგარის პროექტირების დროს.

2.5. ლუდის სიბლანტის დამოკიდებულება მასში საფუვრის უჯრედების შემცველობაზე

„ულუფიანი“ სისტემის სრული რეცირკულაციის მექანიზმით კონცენტრირებული საფუვრის ხსნარი მუდმივად ბრუნდება ბუფერულ ჭურჭელში, ამიტომ საფუვრის უჯრედების კონცენტრაცია ლუდში, რომელიც მიეწოდება მემბრანულ მოდულში თანდათან გაიზრდება, შესაბამისად მოიმატებს საწყისი პროდუქტის სიბლანტე, რაც უეჭველად იმოქმედებს მემბრანის გაღწევადობაზე. ამიტომ დიდ ინტერესს იწვევს ლუდის „გერმანული“ სიბლანტის დამოკიდებულება მასში საფუვრის უჯრედების შემცველობაზე.



ნახ.2.6. სიბლანტის მზომი ВПЖ-1

ფარდობითი სიბლანტის განსაზღვრისათვის ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა ვისკოზიმეტრი ВПЖ-1 (ნახ.2.6) [37,38,74]. მასში სიბლანტის გაზომვა დაფუძნებულია ერთი და იგივე მოცულობის დისტილირებული წყლის და შემდეგ გამოსაკვლევი ლუდის გამოდინების დროის განსაზღვრაზე. რომ გამოვრიცხოთ ტემპერატურული რხევის გავლენა სითხეების გამოდინების სიჩქარეზე განსაზღვრას ვახდენდით 20°C ტემპერატურაზე და ამიტომ ვისკოზიმეტრს ვათავსებდით ამ ტემპერატურის წყლის აბაზანაში.

სიბლანტის განსაზღვრამდე ვისკოზიმეტრს გულმოდგინედ ვრეცხავდით აცეტონით და ვაშრობდით. შემდეგ 5...6 სთ ვასხამდით ქრომის ხსნარს, ვავლებდით დისტილირებულ წყალს და ვაშრობდით.

ცხრილი 2.3

გაუფილტრავი ლუდის ფარდობითი სიბლანტის განსაზღვრისათვის

საფუვრის უჯრედების რაოდენობა, მილ.უჯრედი/მლლ	0	3,6	5,6	13,1	24,2	34	44	48
ლუდის გამოდინების დრო t_2, წმ	116,2	117,8	119,4	122,6	126,5	134,5	138,5	139,7
ფარდობითი სიბლანტე μ, მპა.წმ	1,46	1,48	1,5	1,54	1,59	1,69	1,74	1,755

ანალიზის ჩატარება. სითხის გამოდინების სიჩქარის განსაზღვრისათვის მილაკზე 2 ვაცვამდით რეზინის შლანგს. ვისკოზიმეტრში წყალს ან ლუდს ვასხამდით კაპილარული ძაბრით ან ვიქცეოდით შემდეგნაირად. მუხლს 5 ვაწვებით თითით, გადავაბრუნებთ ვისკოზიმეტრს, მუხლ 1-ს ჩავუშვებთ სითხიან ჭურჭელში და შეიწოვენ მას (რეზინის მსხლის საშუალებით) რეზერვარის ნიშნულამდე M_2, ისე, რომ სითხეში არ წარმოიშვას ჰაერის ბუშტები. როცა სითხის დონე მიაღწევს რეზერვარის M_2 ნიშნულს, ვისკოზიმეტრს ვიღებთ ჭურჭლიდან და სწრაფად გადავაბრუნებთ ნორმალურ მდგომარეობაში. მუხლი 1-ის გარე მხრიდან ვაცილებთ ჭარბ სითხეს და მასზე ვაცვამთ რეზინის მილაკს. ვისკოზიმეტრს ათავსებენ თერმოსტატში ისე რომ რეზერვარი 2 იმყოფებოდეს თერმოსტატში სითხის დონის დაბლა. მოცემულ ტემპერატურაზე 15 წთ გაჩერების შემდეგ სითხეს შეიწოვენ მუხლში 1 დაახლოებით რეზერვარის 2 1/3 სიმაღლეზე. მუხლ 1-ს უკავშირებენ ატმოსფეროს და განსაზღვრავენ სითხის მენისკის M_1 ნიშნულიდან M_2 ნიშნულამდე დაშვების დროს.

ლუდის ფარდობით სიბლანტეს μ, ე.ი. ლუდის სიბლანტის წყლის სიბლანტესთან ფარდობას ვსაზღვრავთ ფორმულით:

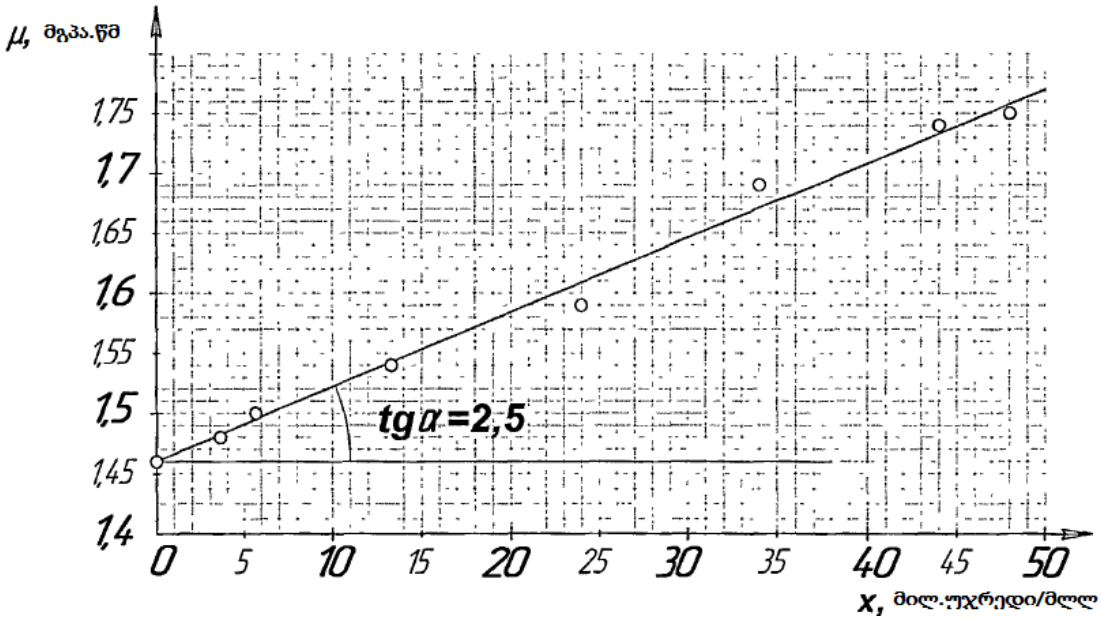
$$\mu = \frac{t_2.d}{t_1} \qquad (2.7)$$

სადაც t_1-წყლის გამოდინების დრო, წმ;

t_2- ლუდის გამოდინების დრო, წმ;

d - ლუდის ფარდობითი სიმკვრივე.

წყლის გამოდინების დრო 83,1 წმ, ლუდის ფარდობითი სიმკვრივე 1,0442 ექსტრაქტულობა 11% [37]. ფარდობითი სიბლანტის განსაზღვრის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.3. მიღებული მონაცემებით აგებული იქნა დამოკიდებულების $\mu = f(x)$ გრაფიკი - ნახ. 2.7.



ნახ.2.7. ლუდის სიბლანტის დამოკიდებულება საფუარის უჯრედების კონცენტრაციაზე

სუსპენზიის სიბლანტის, მყარი დისპერსიული ნაწილაკების მოცულობით კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების აღწერისათვის პოპულარობით სარგებლობს მუნის ნახევრად ემპირიული ფორმულა [12,14,81]:

$$\mu = \mu_s . exp\left(\frac{2,5.x}{1-\frac{x}{x^*}}\right) \qquad (2.8)$$

მოცემული განტოლება ცუდად არ აღწერს მრავალ ექსპერიმენტალურ მონაცემს შუალედური კონცენტრაციის არისათვის და - რაც ძალიან მნიშვნელოვანია - ის წინასწარმეტყველებს სიბლანტის შეუზღუდავი ზრდის ეფექტს რაღაც კრიტიკულ x^* კონცენტრაციასთან მიახლოებისას. ამ სიდიდეს აქვს აზრი მოცულობის მყარი ნაწილაკებით ზღვრულად შესაძლებელი მაქსიმალური ხარისხით შევსების და დამოკიდებულია ნაწილაკების ფორმაზე და მათი ჩალაგების ხერხზე. ასე მაგალითად თუ მყარი სფერული ნაწილაკები წარმოქმნიან ჰექსაგონალურ ანუ კუბურ მოცულობით დაცენტრებულ სტრუქტურას, მაშინ x^* =0,74. ჩვენს შემთხვევაში

შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ კრიტიკული კონცენტრაციის მნიშვნელობა ტოლია 3000 მილ.უჯრედი/მლლ - სქელი საფუვრების კონცენტრაცია. ძალიან მცირე კონცენტრაციის ფარგლებში, ჩვენი შემთხვევა, მუნის განტოლება ბუნებრივი სახით გადადის ეინშტეინის განტოლებაში, რომელიც ადეკვატურად აღწერს კონცენტრაციის მიღებულ გრაფიკს საფუარის უჯრედების კონცენტრაციამდე x=50 მილ.უჯრედი/მლლ [12]:

$$\mu = \mu_s.(1 + 2{,}5.x) \qquad (2.9)$$

სადაც μ- სუსპენზიის სიბლანტე;

x-მყარი დისპერსიული ნაწილაკების კონცენტრაცია;

μ_s- თხევადი ფაზის სიბლანტე (დისპერსული არის).

2.6. მემბრანების სტრუქტურისა და თვისებების განსაზღვრა

2.6.1. საერთო ფორიანობა

ფორიანობა Π –მყარი სხეულის მოცულობის ნაწილი, რომელიც არ არის შევსებული მისი მასალით [9,35,117,126].

$$\Pi = \frac{V_c}{V} = 1 - \frac{V_t}{V} \qquad (2.10)$$

სხვა ნიშანი, რომლის მიხედვითაც მყარი სხეული მიეკუთვნება ფოროვან სისტემებს, - ეს არის თავისუფალი მოცულობის დისკრეტულობა. სხვა სიტყვებით თავისუფალი მოცულობა გაყოფილია მარტივ სტრუქტურულ ელემენტებად - ზომებით, ფორმით, ერთმანეთთან კავშირის ხასიათით განსხვავებულ ფორებად. ხშირად ფორები აფორმებენ უწყვეტ მემბრანის ფარგლებში გახსნილ ფოროვან სტრუქტურას, ზოგჯერ ფორები ერთმანეთისგან იზოლირებულია.

რეალურ მემბრანაში ფორები შეიძლება იყვნენ გამჭოლი, ჩიხური და ღრუ [33,97,109].

გენეზისის მიხედვით ყველა ფოროვანი მასალა და აგრეთვე მემბრანები, იყოფიან შეკრების სისტემებად (კორპუსკულიარული სტრუქტურა) და გამოკლების სისტემებად (ღრუბლოვანი სტრუქტურა). პირველების წარმოქმნა ხდება

სტრუქტურის ცალკეული ელემენტების დიდი რიცხვის შეკრებით (ქსოვილის, ქაღალდის, კერამიკის, ნახშირბადის, ლითონის). გამოკლების სტრუქტურის განვითარება - არის გარდაქმნის შედეგი, მყარი სხეულის კომპონენტების (ფოროვანი მინები, პოლიმერული მემბრანები, ბირთვული მემბრანები და სხვა) პიროლიტური დაშლა, გამოტუტვა და ა.შ.

ფორები შეკრების სისტემებში წარმოადგენენ შუალედებს ნაწილაკებს შორის, რომლებიც შეერთებულია ერთმანეთის გადამკვეთი, ცვლადი დიამეტრის კლაკნილა არხებით. მემბრანების ანიზოტროპია განპირობებულია მხოლოდ ნაწილაკების სხვა და სხვა ზომით [9,33,35].

გამოკლების სისტემაში ფორები წარმოადგენენ მყარი ფაზის კრისტალებს, შორის არხების ლაბირინთულ ქსელს. მემბრანების ანიზოტროპია განპირობებულია ფორების რიცხვით, ორიენტაციით და ზომებით.

განვიხილოთ ფოროვანი სტრუქტურის შეფასების ხერხები. მისი შეფასება ხდება მასალის დანიშნულებაზე დამოკიდებულებით, რიგი პარამეტრების მიხედვით: ჯამური მოცულობით, საერთო ფორიანობით, კუთრი ზედაპირით, ფორების საშუალო ან მაქსიმალური ზომებით და ფორების ზომების მიხედვით განაწილებით.

საერთო ფორიანობა გამოისახება პროცენტებით და ხშირად არ კოლერირდება მემბრანების სატრანსპორტო თვისებებთან, დახურული და ჩიხური ფორების ქონის გამო. ამიტომ მემბრანისათვის ზოგჯერ შემოაქვთ „ეფექტური“ ფორიანობის ცნება. ეფექტური ფორიანობის ექსპერიმენტული განსაზღვრა ძაან გაძნელებულია. ფასდება ირიბი მეთოდებით. საერთო ფორიანობა Π შეიძლება გაანგარიშებული იქნას, თუ ცნობილია მემბრანის ელემენტური შემადგენლობა [36,94,116]:

$$\Pi = \left[1 - \frac{m}{V}\left(\frac{a}{\rho_1} + \cdots + \frac{a_n}{\rho_n}\right)\right].100\% \qquad (2.11)$$

Π გაზომვის ყველაზე მარტივი ხერხია - ნიმუშის გაჟღენთვა აბსოლუტურად დასველებადი სითხით და მისი მასის განსაზღვრა გაჟღენთვამდე და მის შემდეგ.

$$\Pi = \frac{m_k - m_0}{V.\rho_k}.100\% = \frac{\frac{m_k - m_0}{\rho_k}}{\frac{m_k - m_0}{\rho_k} + \frac{m_0}{\rho_m}}.100\% \qquad (2.12)$$

სხვა და სხვა გაყოფის ზღუდის მქონე მემბრანების ფორიანობის განსაზღვრის შედეგები შევიტანოთ ცხრილში.

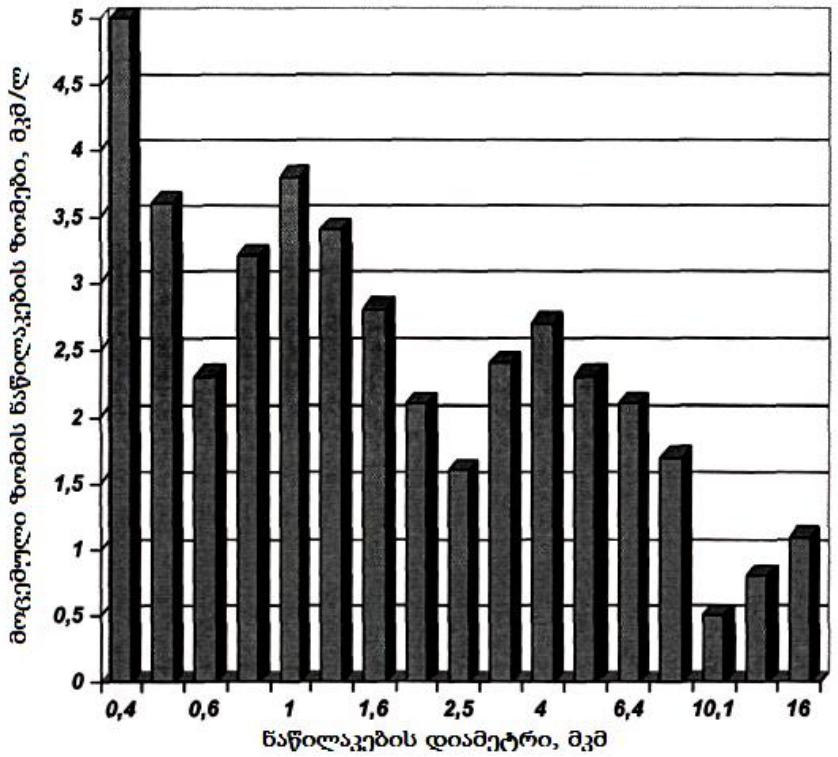
ცხრილი 2.4

სხვა და სხვა გაყოფის ზღუდის მქონე კერამიკული მემბრანების КМФЭ ფორიანობა

ფორის ზომა. მკმ	0,2	0,4	1,2	3	5	7
ნიმუშის მასა გაჟღენთვამდე, გ	116,2	116,4	116,7	117,4	121	126
ნიმუშის მასა გაჟღენთვის შემდეგ, გ	139	162	189	201	214	221
მემბრანის ფორიანობა	64	66	72	78	82	84

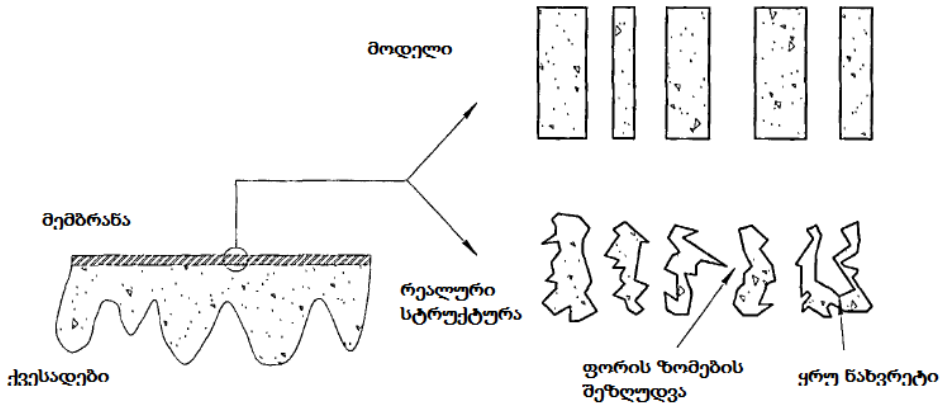
2.6.2. ფორის ზომები

მემბრანების გაყოფის ზღუდის შერჩევის დროს ვხელმძღვანელობდით ლიტერატურული წყაროების მონაცემებით [5,11,51] და გამოსაკვლევი პროდუქტის მახასიათებლებით, სახელდობრ ლუდის ნაწილაკების (ცილები, მარილები, მთრმილავი ნივთიერებები, ამინომჟავები, საფუარები, ბაქტერიები) ფარდობითი ზომებით. სხვა და სხვა სამუშაოებში [110,121,123] ნაჩვენებია გაყოფის სხვა და სხვა ზღუდე საფუარის უჯრედებისა და ბაქტერიების (0,1 მკმ- დან 0,5 მკმ-მდე) მოსაცილებლად. ლუდის გაკრიალების დროს სცილდებიან შემდეგი ნივთიერებები: მექანიკური მინარევები (1 -60 მკმ), საფუვრები (1 -13მკმ), ბაქტერიები (0,2-0,5 მკმ) და კოლოიდური ნაწილაკების ნაწილი ($\geq$ 0,1მკმ). კოლოიდური მაღალმოლეკულური ხსნარების გაყოფის დროს ნაწილაკების დიამეტრების განსაზღვრა საკმაოდ რთულია. მაღალმოლეკულური შენაერთები წარმოადგენენ ხაზოვან ან დატოტვილ მაკრომოლეკულებს არა ხისტი სივრცითი სტრუქტურით. განსაზღვრული პირობების დროს ასეთი მაკრომოლეკულების ეფექტური ზომები შეიძლება გაიზარდოს ან შემცირდეს; ამ დროს შესაბამისად მცირდება ან იზრდება მემბრანის გავლის უნარი. ლუდში მიკროსკოპული ნაწილაკების რაოდენობის მათ ზომებზე დამოკიდებულების შეფასება შეიძლება ნახ.2.8 ნაჩვენები დიაგრამის მიხედვით.

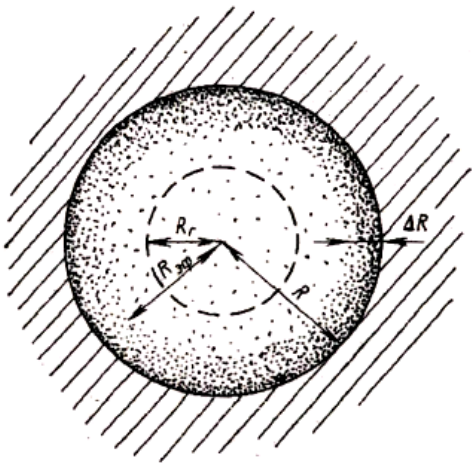


ნახ. 2.8.ლუდში სხვადასხვა ზომის მიკროსკოპული ნაწილაკების რაოდენობა

ნებისმიერ შემთხვევაში არ უნდა დავივიწყოთ, რომ რეალური ფორები (ნახ. 2.9) ძალიან ძლიერად განსხვავდებიან იდეალიზირებული ფორებისაგან, რომლებიც უდევთ საფუძვლად მემბრანების განსხვავებულ მოდელებს.



ნახ. 2.9. ფოროვანი მემბრანის გამყოფი ფენის იდეალური და რეალური სტრუქტურის შედარებითი ანალიზი



ნახ. 2.10. ფორის კვეთის სქემატური გამოსახულება

ამას გარდა დამტკიცებულია უძრავი ან მცირედმოძრავი ფენის არსებობა მემბრანის ფორებში (2.10), ე.ი. მემბრანის სელექციურობა დამოკიდებული იქნება გასაყოფ სისტემაში ნაწილაკების r და ფორების R რადიუსების თანაფარდობაზე [33,35,109]. სელექციურობის φ≈1 (ახლოა 100%-თან) მისაღწევად საჭიროა გასაყოფ სისტემაში რამოდენიმე მკმ დიამეტრის ნაწილაკების არსებობის დროს, პირობის R/r≤3 არა საკმარისად შესრულება. ამ თანაფარდობამ საშუალება მოგვცა პირველი მიახლოებით შევარჩიოთ მემბრანის ფორების რაციონალური ზომები მიკროფილტრაციისათვის, r ცნობილი მნიშვნელობების დროს.

ამიტომ გამოვიტანეთ დასკვნა, რომ არამიზანშეწონილია 0,1 მკმ ნაკლები შეკავების ზღუდით მემბრანების გამოყენება, რადგანაც შეიძლება მოცილდეს ცილოვანი შენაერთები და სხვა ნივთიერებები, რომლებიც აფორმებენ ლუდის ფიზიკო-ქიმიურ და ორგანოლეპტიკურ მაჩვენებლებს. ამიტომ ექსპერიმენტის საწყის სტადიაში ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა მემბრანები ფორის ზომით 0,2 და 0,4 მკმ.

2.6.3. მემბრანების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

მემბრანების ფიზიკო-მექანიკურ მახასიათებლებს მიეკუთვნებიან: მემბრანის სისქე, მექანიკური სიმტკიცე და მემბრანის ანიზოტროპია [33,35].

მემბრანის სისქე მოწმდება მისი დამზადების პროცესში და განისაზღვრება თვით მასალის ბუნებით და მემბრანის დამზადების პირობებით. მზა მემბრანის სისქეს ზომავენ სპეციალური პრეციზიული მიკრომეტრით.

ფირის სისქე, თუ ის მუშაობს როგორც მემბრანა, არ ახდენს არსებით გავლენას მის ტექნოლოგიურ თვისებებზე, ბარომემბრანულ პროცესებში ანიზოტროპიის არსებობის დროს. მაგრამ ის ძალიან მნიშვნელოვანია დიფუზიურ პროცესებში სადაც ანიზოტროპია არ იქმნება.

უმეტესი ფოროვანი მემბრანის სისქე იმყოფება 50-150 მკმ ინტერვალში. ბირთვული მემბრანები უფრო თხელია - 50-100 მკმ. КМФЭ მემბრაანების ბადისმაგვარი სტრუქტურის სელექციური ფენა შედგებიან ზეწვრილი (< 0,1მკმ) კერამიკული ბოჭკოებისგან SiC (სელექციური ფენის სისქე 10-დან 45 მკმ-მდე), დაკავშირებულის კერამიკული ქვესადებით (ფხვნილოვანი - Al_2O_3) კერამიკული დამაკავშირებლით ZrO_2 (ცირკონიუმი) საფუძველზე [73].

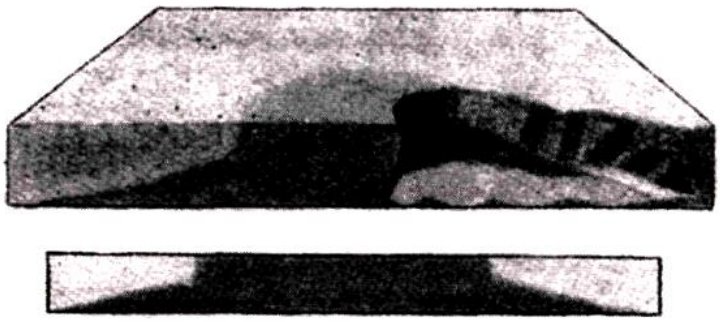
როგორც წესი, ექსპლოატაციის შემდეგ მემბრანის სისქე მცირდება (დაჯდომა). ეს ხდება სტრუქტურის რაღაც დროში შეუქცევადი დეფორმაციით. ამ დროს იცვლება მემბრანის ტექნოლოგიური თვისებები, ძირითადად ეცემა კუთრი მწარმოებლობა. ეს უნდა გავითვალისწინოთ გაანგარიშებებში და სამეცნიერო ექსპერიმენტებში. სასურველია წინასწარ მოვახდინოთ მემბრანის დაჯდომა წნევის ქვეშ დაყოვნებით.

შემდეგ არა ნაკლებ მნიშვნელოვან მახასიათებლად ითვლება მემბრანის მექანიკური სიმტკიცე.

ამ თვისების რაოდენობრივ მახასიათებლს წარმოადგენს მოდული ან რღვევის დაძაბულობა. ნიმუშების გამოცდას აწარმოებენ სპეციალურ მრღვევ მანქანებზე. ამ დროს განისაზღვრება ფარდობითი დრეკადი დეფორმაციაც. მემბრანის ამ მახასიათებლის გაუმჯობესების კარდინალურ მეთოდად ითვლება მათი არმირება. სამწუხაროდ, პროსპექტებში არ ხდება მემბრანის მოდულის ან რღვევის დაძაბულობის მითითება, და უპირველეს ყოვლისა მეთოდებისა და ხელსაწყოების უნიფიკაციის არ ქონის გამო. გამოკვლეული КМФЭ მემბრანების ცხად ნაკლს წარმოადგენს მსხვრავადობა [73].

ყველაზე ხშირად შეისწავლიან მემბრანების მდგრადობას ორღერძული დეფორმაციის მიმართ. შესწავლას აწარმოებენ ხელსაწყოებზე, რომელთა მოქმედების

პრინციპი დაფუძნებულია რეზინის ნაჭერთან ერთად პერიმეტრზე დამაგრებული მემბრანის გამოსაკვლევი ნიმუშის აირით ან წყლით გაჭიმვაზე. სიმტკიცე ხასიათდება ან რღვევის წნევით, ან რღვევამდე ჩაღუნვით. ხშირად განსაზღვრავენ ძალას, რომელიც აუცილებელია წინასწარ დასერილი ნიმუშის გასარღვევად. მემბრანების სიმტკიცის ზღვარი ორღერძული დატვირთვის დროს გარანტირებულია არანაკლებ 14 მპა, რაც ახასიათებს მემბრანის მაღალ მექანიკურ სიმტკიცეს [73].



2.11. ანიზოტროპიის მაღალი ხარისხის მქონე მემბრანის განივი კვეთის ფართი

მემბრანების ისეთი თვისება როგორიცაა ანიზოტროპია ფასდება ანიზოტროპულობის ხარისხით (ახ), ე.ი. ქვესადებზე და გამყოფ ფენაზე ფორების საშუალო ზომის ფარდობით. უხეშად ეს შეიძლება შევაფასოთ მემბრანის ორივე მხრიდან საღებავიანი კაპილარის მიდების დროს წარმოქმნილი საღებავის ლაქების ზომით. ძლიერ ანიზოტროპულ მემბრანებს ახ $\gg 5$. შესწავლილ მემბრანებს აქვთ ანიზოტროპიის მაღალი ხარისხი. ნახ. 2.11 წარმოდგენილია მელნით შეღებილი მემბრანის განივი კვეთები (სისქით 0,45მკმ) ანიზოტროპიის მაღალი ხარისხით [33,35].

2.6.4. მემბრანების ტექნოლოგიური თვისებები

მემბრანების ტექნოლოგიურ თვისებებს მიეკუთვნებიან კუთრი მწარმოებლობა (გაღწევადობა) წყლის J_0 (ეს მახასიათებელი იზომება შემდეგ ერთეულებში: კგ/მ^2.წმ, მოლი/მ^2.წმ, მ^3/მ^2.წმ, ლ/მ^2.სთ და ა.შ.) და მემბრანის შეკავების უნარი (სელექციურობა) φ, % [33,35,116].

მემბრანების მოცემული მახასიათებლები განსაზღვრულ იქნა ექსპერიმენ-ტალურ ნაწილში, ექსპერიმენტული დანადგარის დამუშავებისა და შექმნის შემდეგ.

ქვემოდ აღწერილია მემბრანების ტექნოლოგიური მახასიათებლების და პარამეტ-რების განსაზღვრის მეთოდიკა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ პარამეტრების სიდიდეზე.

კუთრი მწარმოებლობა ძალიან მგრძნობიარეა კვლევის ჩატარების პირობების, დამოკიდებულია უჯრედის კონსტრუქციაზე, მემბრანის ზედაპირზე ხსნარის სიჩქარეზე, სადრენაჟე ქვესადების მასალასა და მახასიათებლებზე [9,33,35]. კუთრი მწარმოებლობა დამოკიდებულია მემბრანების წინასწარ დამუშავებაზეც - გარეცხვაზე და განსაკუთრებით ჰიდროფილიზაციაზე (სპირტებით ან ხსნარებით).

მემბრანების საპასპორტო მახასიათებლები - ეს ყოველთვის არის საწყისი მწარმოებლობა, ე.ი. დაჯდომის გათვალისწინების გარეშე, რაც აუცილებლად უნდა გვქონდეს მხედველობაში. მემბრანების დაჯდომა განისაზღვრება მხოლოდ მისი სტრუქტურით და მასალის თვისებებით. უნდა გავითვალისწინოთ, რომ მემბრანის დაჯდომა დამოკიდებულია მოდებული წნევის სიდიდეზე მასალის წნევის მიმართ წინააღმდეგობის გამო. ზოგჯერ ამით სარგებლობენ დაჯდომის რაოდენობრივი შეფასების მისაღებად - მემბრანების სტაბილურობის კოეფიციენტი $K_{სტ.}$ [9,33,35]:

$$K_{სტ.} = \frac{G_{P1}}{G_{P2}} = \frac{\Delta P_1 - \Delta\pi}{\Delta P_2 - \Delta\pi} \qquad (2.13)$$

მემბრანის მუშაობის საერთო დროს უწოდებენ მუშაობის რესურს. იგი დამოკიდებულია ხსნარის დაბინძურებაზე, მემბრანების ქიმიურ მდგრადობაზე და მათ დაჯდომაზე.

შეკავების უნარი φ, % [9,33,35]:

$$\varphi = \frac{c_0 - c_1}{c_0} 100\% \qquad (2.14)$$

მიკროფილტრაციის მემბრანებისათვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ სხვა პარამეტრებიც.

ფილტრაციის დახვეწილობა (ფდ)- უნარი შეაკავონ გარკვეული ზომის ნაწილაკები. შეიძლება ვილაპარაკოთ აბსოლიტურ ფდ - ეს არის ნაწილაკის მინიმალური ზომა, რომელიც მთლიანად შეკავდება მემბრანით. შეიძლება

ნომინალურ ფდ - ეს ნაწილაკების ზომაა , რომლებიც შეკავდებიან განსაზღვრული ხარისხით (განთესვის კოეფიციენტი).

გარკვეული ზომის ნაწილაკების მიხედვით განთესვის კოეფიციენტი:

$$K_0 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 0{,}95 \div 0{,}97 \qquad (2.15)$$

სადაც n_1 და n_2 - გარკვეული ზომის ნაწილაკების რაოდენობა საწყის ხსნარში და პერმეატში.

მემბრანების შეკავების უნარს ზოგჯერ აფასებენ არეკვლის კოეფიციენტით:

$$\beta = \frac{ln\frac{c_0}{c_1}}{\frac{w_0}{w_1}} \qquad (2.16)$$

სადაც w_0- საწყისი ნარევის ნაკადი, w_1-პერმეატის ნაკადი.

მემბრანას (მასალა) უნდა ჰქონდეს მაღალი ნათესაობა გამხსნელის მიმართ (უმთავრესად წყალთან) და დაბალი ნათესაობა ხსნად კომპონენტთან. მემბრანების შერჩევა წინასწარ ხდება ნამდვილი სელექციურობის მიხედვით, რომლიდანაც შემდეგ გადადიან რეალურ მემბრანულ აპარატებში დადგენილზე კონცენტრაციული პოლარიზაციის გათვალისწინებით. მივიღოთ დაშვება, რომ გასაყოფი ხსნარის კონცენტრაციის მუშა დიაპაზონში მემბრანის სელექციურობა რჩება მუდმივი [33,35,94,97].

გაყოფის ამოცანისთვის მემბრანის ვარგისიანობის კრიტერიუმი, ე.ი. მისი მინიმალური დასაშვები სელექციურობა შეკავებული ნივთიერებების მიხედვით, შეიძლება განვსაზღვროთ განტოლებით:

$$\varphi_{min} = \frac{ln\left(\frac{c_k}{c_н}\right)}{ln\frac{c_k - \bar{c}_n}{c_н - \bar{c}_n}} \qquad (2.17)$$

სადაც $c_н$ და c_k-დამუშავებული ხსნარის საწყისი და საბოლოო კონცენტრაციები;

$\bar{c}_n$-ყველა მიღებული პერმეატის გასაშვალებული კუთრი კონცენტრაცია.

ჩვენს შემთხვევაში მინიმალური დასაშვები სელექციურობა ტოლი უნდა იყოს 100%, სხვაგვარად არავითარ მიკრობიოლოგიურ მდგრადობაზე არ შეიძლება საუბარი. აქვე აღვნიშნავთ, რომ საკმარისი არ არის გაფილტრულ ლუდში პერმეატის საბოლოო

კონცენტრაციის შემოწმება მიკროორგანიზმების საერთო რაოდენობის განსაზღვრისათვის, აუცილებელია გავზომოთ სიმღვრიე და ის არ უნდა აღემატებოდეს 0,5 ერთეულს.

საბოლოოდ საუკეთესო მემბრანა იქნება ის, რომელსაც აქვს უდიდესი კუთრი მწარმოებლობა შესარჩევ მემბრანებს შორის და რომლის გაყოფის უნარი არ არის φ_{min} ნაკლები. შესაბამისად ჩვენ შემთხვევაში საუკეთესო მემბრანა იქნება მემბრანა დიდი გაღწევადობით, რომელიც უზრუნველჰყოფს საფუვრის უჯრედების ბაქტერიების, მსხვილი ცილოვანი და კოლოიდური შენაერთების მოცილებას.

დასკვნები თავის მიხედვით

გამოკვლეულია გაუფილტრავი ლუდის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ლუდის ფილტრაციის პროცესზე - მიკროორგანიზმების შემადგენლობა, pH სიდიდე, სიმღვრიე.

დასაბუთებულია მემბრანისა და მემბრანული სისტემის კონფიგურაციის შერჩევა, რომლის საფუძველზეც დაგეგმარებული იქნა ექსპერიმენტული დანადგარი.

განსაზღვრულია ლუდის „გერმანული“ სიბლანტის დამოკიდებულება მასში საფუარის უჯრედების შემცველობაზე დამოკიდებულებით, შეფასებულია მიკროსკოპიული ნაწილაკების რაოდენობის დამოკიდებულება მათ ზომებზე, შესწავლილია მემბრანების სტრუქურა და თვისებები, რამაც საშუალება მოგვცა წინასწარ დავგეგმოთ ფორების რაციონალური ზომა და მემბრანების ექსპლოატაციის ტექნოლოგიური პირობები.

თავი 3. ტანგენციალურ რეჟიმში ლუდის მიკროფილტრაციის ექსპერიმენტალური კვლევა

3.1. ექსპერიმენტული კვლევის ტექნიკა და მეთოდიკა

3.1.1.კვლევის ობიექტები და მეთოდები

მეცნიერული კვლევისათვის ვიყენებდით გაუფილტრავ ლუდს „გერმანული“, მიღებულს რესტორნების ქსელის „ქალაქური“ ლუდსახარში საამქროს ბაზაზე, რომელიც შეესაბამება ნორმატიული საბუთების მოთხოვნებს. ნიმუშების აღებას ვაწარმოებდით ტანკიდან ლუდის მომწიფების პროცესის ბოლოს. სვა სახის ლუდის გამოყენება არ ჩავთვალეთ მიზანშეწონილად ბაზარზე მათი ფართო ასორტიმენტით წარმოდგენის გამო, ე.ი. ორი სამი სახეობის შერჩევით ვერ მოხდება აღვწეროთ პროცესი ყველა პროდუქციისათვის. ამიტომ კონკრეტულ სახეობაზე ექსპერიმენტალური კვლევის დადებითი შედეგების მიღების შემდეგ აუცილებელია სხვადასხვა ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლების ლუდის მონაცემთა ბაზის დაგროვება და მხოლოდ ამის შემდეგ არის შესაძლებელი ფილტრაციის პროცესის პროგნოზირება და მოდელირება. ამას გარდა საკვლევი ობიექტის ფილტვრადობა არადამაკმაყოფილებელია, ამიტომ როგორც ზემოდ ავღნიშნეთ, კარგი ფილტვრადობის ლუდისთვის გაკრიალების პრობლემა არ უნდა წარმოიშვას.

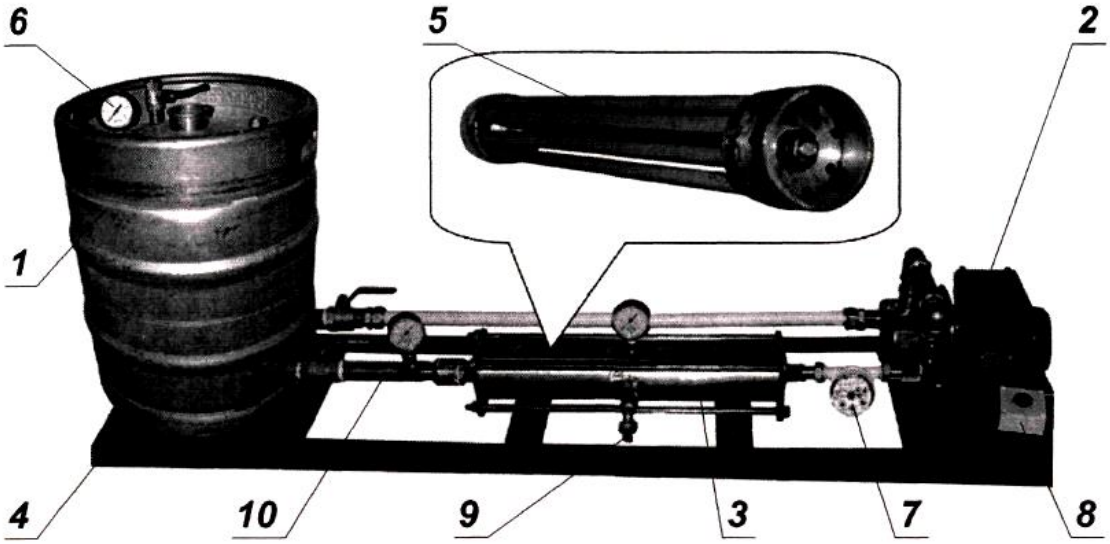
ლუდის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლების კვლევის დროს ვიყენებდით ანალიზის შემდეგ მეთოდებს:

- სიჯის აღება, გოსტი 12786 -80 [21];
- სპირტისა და ნამდვილი ექსტრაქტის შემცველობა, გოსტი 12787 -81 [22];
- მჟავიანობა, გოსტი 12788-87 [23];
- შეფერილობა, გოსტი 12789 – 87 [24];
- საფუარის უჯრედების კონცენტრაცია;
- სიმღვრიე;
- ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა, გოსტი 30060 – 93 [26];
- ბიოლოგიური მდგრადობის პროგნოზირება, გოსტი 12790 -81 [25].

მემბრანის ტექნოლოგიური თვისებების კვლევის მეთოდები აღწერილია წინა თავში.

3.1.2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

კვლევის დასმული მიზნებისა და ამოცანების შესაბამისად შერჩეული მემბრანული სისტემის კონფიგურაციის და მემბრანული მოდულის მიხედვით დავაგეგმარეთ ექსპერიმენტული დანადგარი ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის ტანგენციალურ რეჟიმში განსახორციელებლად, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 3.1., რომლს ძირითადი ელემენტებია: 1-ბუფერული ჭურჭელი, 2-ცენტრიდანული ტუმბო, 3-საფილტრაციო აპარატი, 4-ჩარჩო, 5-მემბრანული მოდული, 6-მანომეტრი, 7-ხარჯმზომი, 8-გამშვები, 9-მილყელი პერმეატის გამოსაყვანად, 10-რეტენტატის დასაბრუნებელი მილყელი.

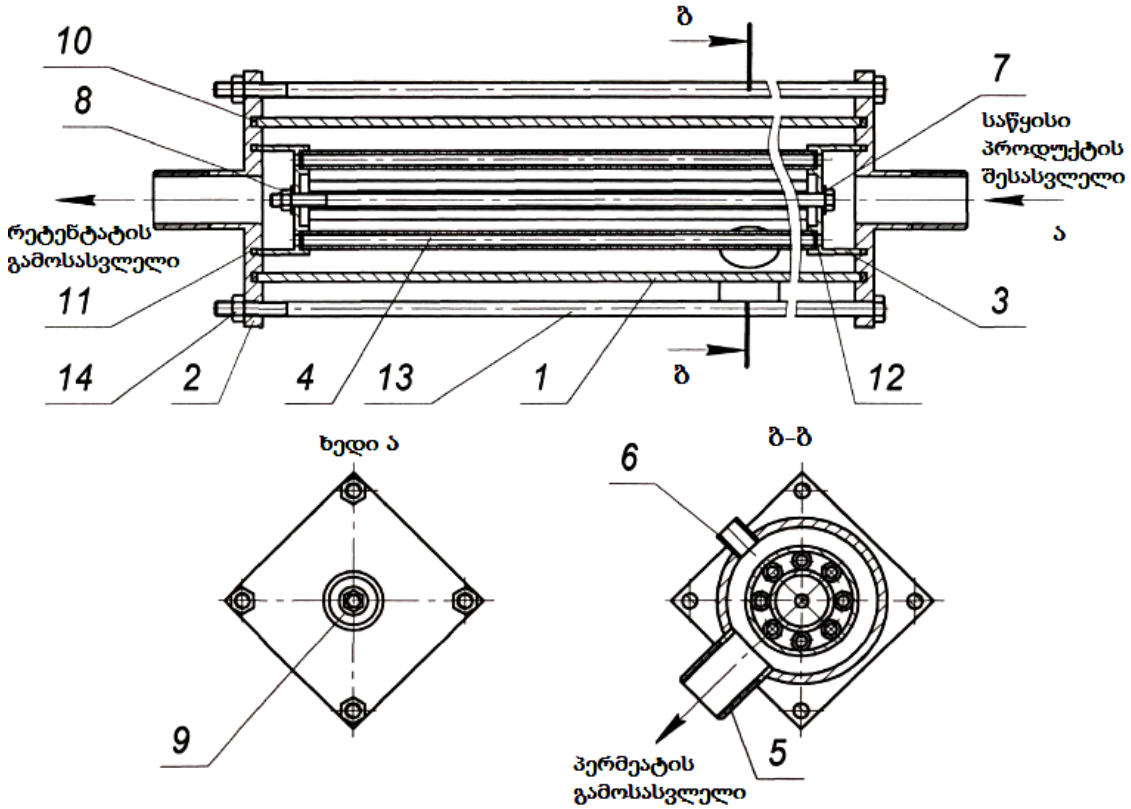


ნახ.3.1.ექსპერიმენტალური დანადგარი:

1- ბუფერული ჭურჭელი, 2-ცენტრიდანული ტუმბო, მფილტრავი აპარატი, 4-ჩარჩო, 5-მემბრანული მოდული, 6-მანომეტრი, 7-ხარჯმზომი, 8-გამშვები, 9-მილყელი პერმეატის გამოსაყვანად, 10-რეტენტატის დასაბრუნებელი მილყელი.

საფილტრაციო დანადგარის ძირითადი ელემენტებია: საცირკულაციო 50 ლ ჭურჭელი, ცენტრიდანული ტუმბო 2 მწარმოებლობით 0,6...3,6 $м^3$/სთ მაქსიმალური 0,6 მპა წნევის დროს, საფილტრაციო აპარატი 3 (ნახ. 3.2), რომლის შიგნითაც განლაგებულია მილებიანი მემბრანული მოდული 5, რომელიც შესდგება რვა ერთნაირი მემბრანული ფილტრისაგან, შემაერთებელი მილგაყვანილობა და მზომი მაკონტროლებელი ხელსაწყოები 6,7.

ექსპერიმენტული დანადგარის პროდუქტთან კონტაქტში მყოფი ყველა ელემენტი შესრულებულია უჟანგავი ფოლადისაგან. ყველა შეერთების ჰერმეტიზაციის შემდეგ ვაწარმოებდით დაწნეხვას შესაძლო მაქსიმალურ 0,6 მპა წნევაზე. ბუფერული ჭურჭელი აღჭურვილია მანომეტრით მასში წნევის საკონტროლოდ, მილყელით ნახშირორჟანგა გაზის მისაწოდებლად ჭარბი წნევის შესაქმნელად, რომ გამოვრიცხოთ აქაფება და დამცავი სარქველით.



ნახ.3.2. საფილტრაციო აპარატი:

1-კორპუსი, 2-სახურავი, 3-მესერი მილებისათვის, 4-მემბრანა, 5-პერმეატის გამოსასვლელი მილყელი, 6-მილყელი მანომეტრისთვის, 7,13- მოსაჭიმი ჭანჭიკი, 8,14-ქანჩი, 9,10,11.12 -საფენი

საფილტრაციო დანადგარი შესდგება ცილინდრული გარსაცმისგან 1, ორი სახურავისაგან 2, რომელთა აკრებვა და ჰერმეტიზაცია უზრუნველყოფილია ოთხი მომჭიმი ჭანჭიკით 13 და საფენებით 10. სახურავებზე 2 გვაქვს ღარები მილისებრი მემბრანული მოდულის ჩასასმელად, რომელიც შესდგება ორი მესერისაგან 3, რვა ერთნაირი მემბრანული ფილტრისაგან 4, დამწნეხი ჭანჭიკისაგან 7 და საფენებისაგან 9 და 12.

დანადგარი მუშაობს შემდეგი სახით. ბუფერული ჭურჭლის პროდუქტით შევსების შემდეგ, ვაღებდით მიწოდების ონკანს და გამოვდევნიდით ნახშირორჟანგს, რომლითაც შევსებული იყო სისტემა, აპარატის მანომეტრის მილყელიდან, ერთდროულად ვანხორციელებდით CO_2 მიწოდებას სისტემაში ჭარბი წნეევის შესანარჩუნებლად. პროდუქტი ტუმბოთი მიეწოდებოდა საფილტრაციო აპარატს 3. მილისებრ მემბრანულ მოდულში გაუფილტრავი ლუდი მოძრაობს ტანგენციალურად, ე.ი. მემბრანის მფილტრავი ზედაპირის პარალელურად, პერმეატი (გაფილტრული ლუდი) გამოდიოდა შტუცერიდან 5, ხოლო რეტენტატი (კონცენტრირებული პროდუქტი) ბრუნდებოდა ბუფერულ ჭურჭელში. საწყისი პროდუქტის ხარჯს განვსაზღვრავდი ხარჯმზომით 7. პროცესის მამოძრავებელ ძალას - წნევათა სხვაობა მემბრანის ორივე მხარეს, ვსაზღვრავდით საფილტრაციო აპარატის გამოსასვლელში და კორპუსზე დაყენებული მანომეტრების ჩვენებით. სიჩქარის და წნევის რეგულირებას ვაწარმოებდით პერმეატისა და რენეტატის გამოსასვლელი ონკანებით.

3.1.3. ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების მეთოდიკა

კვლევის მიზანი იყო ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესში, მისი პარამეტრების, მაღალი კუთრი მწარმოებლობის მემბრანის, რომელიც უზრუნველჰყოფდა საფუარის უჯრედებისა და ბაქტერიების სრულ მოცილებას, გაღწევადობასა და სელექციურობაზე გავლენის შესწავლა. მეტად მნიშვნელოვანი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ბარომემბრანულ პროცესებზე არიან [33,35,78]:

- პროცესის მუშა წნევა;
- ტემპერატურა;
- გახსნილი ნივთიერებები ბუნება და შემადგენლობა;
- დისპერსული არის კონცენტრაცია;
- მემბრანის ზედაპირზე გასაყოფი ნაკადის სიჩქარე;
- წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი (არის pH).

მიკროფილტრაციის ტანგენციალურ-ნაკადური რეჟიმის შესწავლის დროს კონტროლდებოდა და იზომებოდა პროცესის შემდეგი პარამეტრები [33,34]:

<u>მიკროფილტრაციის კუთრი სიჩქარე</u>. გამოსაკვლევი ფაქტორი არის მიკროფილტრაციის პროცესის ძირითადი პარამეტრი და განისაზღვრებოდა შემდეგი სახით J, $მ^3/მ^2$.სთ:

$$J = \frac{Q}{F.\tau} \qquad (3.1)$$

სადაც Q - გაფილტრული ლუდის მოცულობა, $მ^3$;

F - ფილტრაციის ზედაპირის ფართი, $მ^2$;

τ - ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ.

გაფილტრული ლუდის მოცულობის გასაზომად ვიყენებდით მზომ ცილინდრებს ტევადობით 0,5 ლ და დანაყოფის ფასით 1მლლ.

ფილტრაციის ეფექტური ფართობი მილისებრი მემბრანისათვის სიგრძით l=0,39მ, რადიუსით r=0,003 მ $F_{ეფექტ.მ}$ =2.π.r.l=2.3,14.0,003.039=0,0073 $მ^2$. ვინაიდან მილისებრ მოდულში არის რვა მემბრანა $F_{ეფექტ.}$=8.0,0073=0,058 $მ^2$.

ფილტრაციის ხანგრძლივობას ვსაზღვრავდით წამზომის საშუალებით წამის მეათედი სიზუსტით, რაც უზრუნველჰყოფდა მემბრანის გაღწევადობის დიდი სიზუსტით გაანგარიშებას.

ისმებოდა ამოცანა მიკროფილტრაციის პროცესის კუთრი სიჩქარის ცვლილების შემაშფოთებელი ფაქტორების (პროცესის მართვადი პარამეტრების) ზემოქმედებით.

<u>პროცესის ხანგრძლივობა.</u> მიკროფილტრაციის პროცესის გამოყენებით ლუდის გაკრიალების ექსპერიმენტი ჩავატარეთ 3 საათის განმავლობაში. ჩვენი აზრით ეს

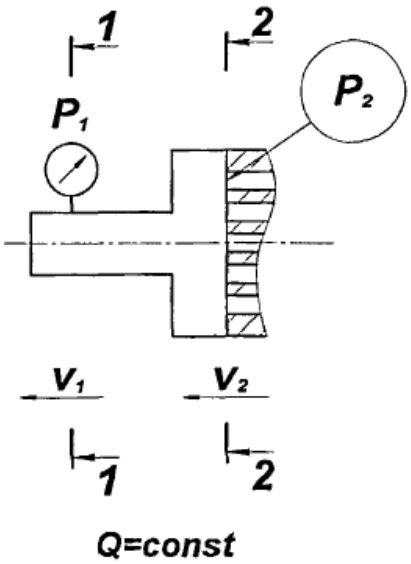
მეტად რაციონალური დროა დანადგარის მუშაობის მემბრანების რეგენერაციამდე (დეზინფექცია და სტერილიზაცია). ისმებოდა ამოცანა ეფექტური ფილტრაციის ხანგრძლივობის განსაზღვრის - იმ პერიოდის რომლის განმავლობაშიც უზრუნველყოფილია მემბრანების მაქსიმალური გაღწევადობა. თუ მემბრანების გაღწევადობა სწრაფად ეცემოდა - ექსპერიმენტს ვაჩერებდით.

<u>სელექციურობა.</u> მოცემულ ტექნოლოგიურ მახასიათებელს ვანგარიშობდით ფორმულით 2.9, სადაც c_0-საწყის პროდუქტში საფუვრის უჯრედების კონცენტრაცია, c_1-პერმეატში საფუვრის უჯრედების კონცენტრაცია.

<u>მუშა წნევა.</u> ლიტერატურული წყაროები გვაძლევენ ინფორმაციას მასზედ, რომ მემბრანული პროცესის მწარმოებლობა წნევის გაზრდით ასიმპტოტურად იზრდება და გარკვეული სიდიდის მიღწევის შემდეგ გამოვლინდება არაცხადი, ხოლო ზოგიერთშემთხვევაში უკუ დამოკიდებულება.

ამასთან დაკავშირებით, ისმოდა ამოცანა მუშა წნევის სიდიდის, როგორც ნაკადის ჰიდროდინამიკური პარამეტრის განსაზღვრის, რომლის გადაჭარბებაც არ იწვევდა მწარმოებლობის შესამჩნევ ზრდას.

ამიტომ ექსპერიმენტს ვიწყებდით ნიშნულიდან 0,05 მპა და ვზრდიდით ბიჯით 0,05 მპა თითოეულ მომდევნო ცდაში. წნევის სიდიდის ზრდის ზღვარი იზღუდებოდა შემდგომ ცდებში ფილტრატის დაახლოებით ტოლი რაოდენობის მიღებით.



ნახ. 3.3. სქემა მემბრანის ზემოთ წნევის განსაზღვრისათვის

ვინაიდან წნევა ისაზღვრებოდა არა მემბრანის ზედაპირზე, არამედ ბუფერულ ჭურჭელში ლუდის დასაბრუნებელ მილყელში (ნახ.3.3), იქმნებოდა აუცილებლობა მისი ბერნულის ფორმულით გადაანგარიშების:

$$P_2 = P_1 + \frac{\rho.v_1^2}{2} + h_{nom} - \frac{\rho.v_2^2}{2} \qquad (3.2)$$

წნევის ჯამური დანაკარგები შესდგება სიგრძეზე წნევის დანაკარგებისაგან ($h_1 \approx 0$, რადგანაც უბნების სიგრძეები უმნიშვნელოა) და ადგილობრივ წინააღმდეგობებში წნევის დანაკარგებისაგან $h_{ა.წ.}$ =0,05 მპა. ყველა დანარჩენი მნიშვნელობები განისაზღვრება ექსპერიმენტის მსვლელობის დროს.

<u>ტემპერატურა.</u> ტექნოლოგიის მიხედვით ფილტრაცია ხდება 2 – 4 °C ტემპერატურაზე კოლოიდური ნაწილაკების უფრო სრული მოცილების მიზნით, ამიტომ ექსპერიმენტაბის ჩატარების დროს ტემპერატურის შენარჩუნება ხდებოდა 0 – 8 °C ფარგლებში. ასეთი დიდი საზღვრები დაკავშირებულია იმასთან, რომ რადგან არ გვაქვს გამაცივებელი პერანგი ძნელი იყო გარკვეული ტემპერატურის შენარჩუნება, ხოლო 8°C ფარგლებში ლუდის სიბლანტე იცვლება უმნიშვნელოდ, რაც ძლიერად არ მოქმედებდა მემბრანების გაღწევადობაზე.

<u>დისპერსიული არის კონცენტრაცია.</u> საწყის ხსნარში და პერმეატში საფუვრის უჯრედების კონცენტრაციას განვსაზღვრავდით მეორე თავში აღწერილი მეთოდიკით, ამას გარდა ვამოწმებდით ხსნარის სიმღვრიეს.

<u>გასაყოფი ხსნარის სიჩქარე მემბრანის ზედაპირზე.</u> განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს გასაყოფი ნაკადის ტანგენციალური სიჩქარის გავლენა მის ჰიდროდინამიკურ მახასიათებლებზე, ხოლო ამის შედეგად კონცენტრაციული პოლარიზაციის დონეზე.

მილისებრ მემბრანულ აპარატში კონცენტრაციული პოლარიზაციის შესამცირებლად ავტორების [შ.რუხაძე, ვ. სტაროვი] ანლოგიურად, სადაც განხილულია პულსირებული წნევის მოქმედებით დინება ბრტყელ მემბრანულ არხში, ჩვენ განვიხილოთ სასაზღვრო აურევადი ფენის ცვლილება მილში სითხის წნევათა სხვაობის პერიოდული ცვლილებით. ასეთი რხევები შეიძლება განხორციელდეს დგუშის მოძრაობით ხან ერთ და ხან მეორე მხარეს. განვიხილოთ გრძელი მილი მრგვალი განივი კვეთით. ვთქვათ x არის კორდინატა მილის ღერძის გასწვრივ, ხოლო

r რადიალური დაცილება მილის შუიდან. შეიძლება მივიღოთ, რომ განხილული მოვლენა არ არის დამოკიდებული x კოორდინატზე, შესაბამისად x ზე არ არის დამოკიდებული სიჩქარის მილის ღერძის გასწვრივ მდგენელი u. ამ შემთხვევაში სხვა შემადგენელი სიჩქარეებიც ქრებიან და ნავიე-სტოქსის სამი განტოლების ნაცვლად ყოველგვარი გამარტივების გარეშე ჩვენ ვიღებთ მხოლოდ ერთ განტოლებას.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \lambda\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r}\right) \tag{3.3}$$

სასაზღვრო პირობებით$u = 0$ როცა r=R (ე,ი, მილის კედლებზე).

დავუშვათ წნევის გრადიენტი იცვლება ჰარმონიული კანონით, შესაბამისად

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = K\cos nt \tag{3.4}$$

სადაც K არის მუდმივი და ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილია შემოვიტანოთ კომპლექსური ფორმა ამ განტოლების ჩასაწერად; მაშინ მივიღებთ

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = Ke^{int} \tag{3.5}$$

სადაც ფიზიკური აზრი აქვს რათქმაუნდა კომპლექსური სიდიდის ნამდვილ ნაწილს.

შემდგომში სიჩქარისათვის მივიღოთ შემდეგი გამოსახულება:

$$u(r,t) = f(r)e^{int}. \tag{3.6}$$

თუ u-ს ამ გამოსახულებას ჩავსვამთ (3.3) განტოლებაში , ჩვენ მივიღებთ დიფერენციალურ განტოლებას ამპლიტუდის $f(r)$ განაწილებისათვის

$$f''(r) + \frac{1}{r}f'(r) - \frac{in}{\nu}f(r) = -\frac{K}{\nu}. \tag{3.7}$$

ამ განტოლების ამოხსნით ჩვენ ვიპოვით სიჩქარეთა განაწილებას

$$\mathrm{u}(r,t) = -\frac{K}{n}e^{int}\left[1 - \frac{J_0\left(r\sqrt{\frac{-in}{\nu}}\right)}{J_0\left(R\sqrt{\frac{-in}{\nu}}\right)}\right], \tag{3.8}$$

სადაც J_0 -არის ნულოვანი რიგის პირველი სახის ბესელის ფუნქცია. განტოლების (3.3) წრფივობის გამო ამოხსნები შეიძლება დაედოს ერთი მეორეს. ამოხსნის (3.8) გამოკვლევა ზოგადი შემთხვევისთვის, ე.ი. ნებისმიერი n სიხშირისთვის საკმაოდ გაძნელებულია კომპლექსურ არგუმენტიანი ბესელის ფუნქციის არსებობის გამო. ამიტომ ზღვრული შემთხვევები ძალიან მცირე და ძალიან დიდი სიხშირეებისთვის გამოიკვლევა მარტივად.

თუ უგანზომილებო სიდიდე $\sqrt{n/\nu R}$ ძალიან მცირეა (ზალიან ნელი რხევები), მაშინ ბესელის ფუნქციის ამონახსნის რიგად დაშლით და უკანასკნელში პირველი ორი წევრის დატოვებით, მივიღებთ

$$\mathrm{u}(r,t) = -\frac{K}{n}e^{int}\left[1 - \frac{1+\frac{in}{4\nu}r^2}{1+\frac{in}{4\nu}R^2}\right], \qquad (3.9)$$

ან თუ ისევ გადავალთ ნამდვილი საგნობრივი ფორმით ჩაწერაზე,

$$\mathrm{u}(r,t) = \frac{K}{4\nu}e^{int}(R^2 - r^2) = \frac{K}{4\nu}(R^2 - r^2)\cos nt. \qquad (3.10)$$

შესაბამისად წნევების ნელი რხევების დროს სიჩქარეების რხევები სრულდება წნევის რხევებთან ერთ ფაზაში და სიჩქარის რხევის ამპლიტუდა მილის დიამეტრის გასწვრივ იცვლება პარაბოლური კანონით, ე.ი. ისე, როგორც სტაციონალური დინების დროს.

თუ უგანზომილებო სიდიდე $\sqrt{n/\nu R}$ ძალიან დიდია (ძალიან სწრავი რხევები), მაშინ ბესელის ფუნქციის ასიმპტოტურად დაშლით და მხედველობაში მიღებით, რომ

$$J_0(z) \to \sqrt{\frac{2}{\pi z}}e^{iz}i^{-1/2}, \qquad (3.11)$$

ჩვენ მივიღებთ

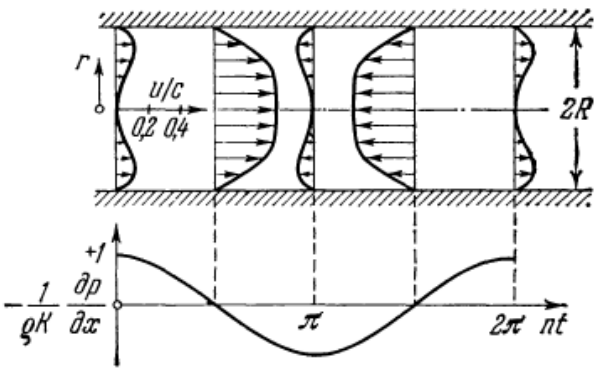
$$\mathrm{U}(r,t) = -\frac{iK}{n}e^{int}\left\{1 - \sqrt{\frac{R}{r}}exp\left[-(1+i)\sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right]\right\}, \qquad (3.12)$$

ან თუ გადავალთ ნამდვილი ფორმით ჩაწერაზე

$$u(r,t) = \frac{K}{n}\left\{\sin nt - \sqrt{\frac{R}{r}}exp\left(-\sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right)\sin\left[nt - \sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right]\right\}. \qquad (3.13)$$

$\sqrt{n/\nu R}$ გამოსახულების დიდი მნიშვნელობებისთვის მეორე წევრი ფიგურულ ფრჩხილებში კედლიდან დაცილების $R-r$ გაზრდით სწრაფად მცირდება, ამიტომ კედლიდან შორ მანძილზე გავლენას ახდენს მხოლოდ პირველი წევრი, რომელიც არაა დამოკიდებული კედლიდან დაცილებაზე. შესაბამისად ამოხსნას (3.13) აქვს სასაზღვრო ფენისათვის მახასიათებელი თვისებები. კედლიდან დიდ მანძილზე სითხის რხევები ხდება ხახუნის გარეშე და ფაზაში, რომელიც აღმგზნები ძალის რხევის ფაზისაგან დაძრულია პერიოდის ნახევარით.

ნახ. 3.4 გამოსახულია მილში ოსცილირებადი დინების სიჩქარეთა პროფილი ($\sqrt{n/\nu R} = 5$) საშუალო სიხშირის რხევების პერიოდის სხვადასხვა დროებში.



ნახ. 3.4. სიჩქარის განაწილება მილში სითხის პულსირებული დინების დროს რხევის სხვადასხვა პერიოდში.

წნევის გრადიენტი - $\partial p/\partial x = \rho K cos(nt); K = \sqrt{n/\nu R} = 5c = \frac{Kk^2}{8n} = 3{,}125\, K/n.$

ზემოთ გამოხაზული წნევის გრადიენტის დროის მიხედვით ცვლილების მრუდიდან ცხადად ჩანს მილის შუაში დინების ფაზის წინსწრება კედლის მახლობლობაში მდებარე ფენებთან შედარებით.

სიჩქარის ცვლილების კვადრატის საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც ძნელი არ არის დავინახოთ (3.13) ფორმულიდან, ტოლია

$$\overline{u^2(r)} = \frac{R^2}{2n^2}\left\{1 - 2\sqrt{\frac{R}{r}}exp\left[-\sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right]\cos\left[\sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right] + \frac{R}{r}exp\left[-2\sqrt{\frac{n}{2\nu}}(R-r)\right]\right\} \qquad (3.14)$$

თუ დაცილება კედლიდან $y = R - r$ მცირეა R რადიუსთან შედარებით, მაშინ ფარდობაR/rმიახლოებით ტოლია ერთის. თუ შემოვიღებთ კედლიდან დაცილების უგანზომილებო სიდიდეს

$$\eta = (R - r)\sqrt{\frac{n}{2\nu}} = y\sqrt{\frac{n}{2\nu}}, \qquad (3.15)$$

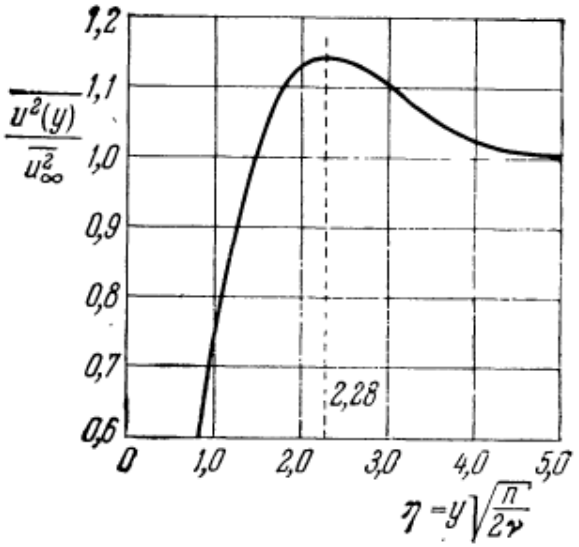
წინა ფორმულიდან მივიღებთ

$$\frac{\overline{u^2(y)}}{K^2/2n^2} = 1 - 2\cos\eta exp(-\eta) + exp(-2\eta)\,. \qquad (3.16)$$

ამ ფორმულით გამოთვლილი გასაშუალოებული სიჩქარის კვადრატის განაწილება ნაჩვენებია ნახ. 3.5.

ჩვენ ვხედავთ, რომ ამ საშუალოს მაქსიმუმი დევს არა დიდ მანძილზე კედლიდან (ე.ი. არა მილის ღერძზე)

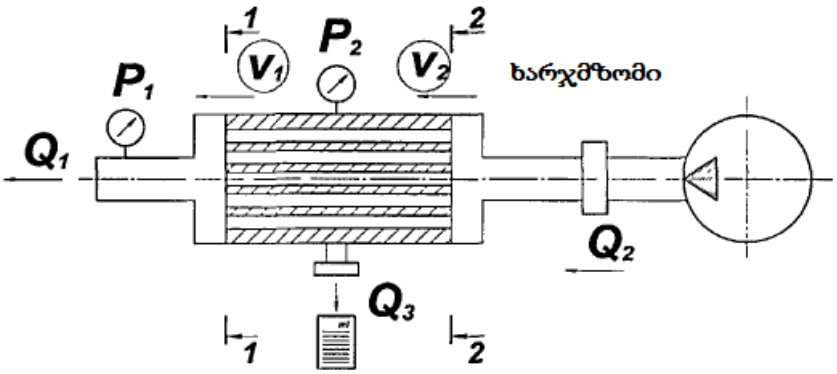
$$\eta = y\sqrt{\frac{n}{2\nu}} = 2.28 \qquad (3.17)$$



ნახ. 3.5. დროის მიხედვით სიჩქარის კვდრატის გასაშუალებული მნიშვნელობის განაწილება მილში სითხის პერიოდული დინების დროს. რხევის სხვა და სხვა პერიოდში.

y – დაცილება მილის კედლიდან; $\overline{u^2_\infty} = K^2/2n^2$-დროის მიხედვით გასაშუალოებული სიჩქარის კვადრატის მნიშვნელობა კედლიდან დიდ მანძილზე (ეგრეთ წოდებული

რიჩარდსონის ანულიარული ეფექტი). ეს თეორიული დასკვნა კარგად ემთხვევა ე.გ.რიჩარდსონის და ე.ტაილერის გაზომვების შედეგებს.



ნახ.3.6. სქემა მემბრანის ზემოთ გასაყოფი ნაკადის საშუალო სიჩქარის განსაზღვრისათვის

შესაძლებელია ნაკადის ზღვრული ტანგენციალური სიჩქარის განსაზღვრა, რომლის გადაჭარბება არ გამოიწვევს კონცენტრაციული პოლარიზაციის შესამჩნევ შემცირებას ნაკადის ფენის ჩამორეცხვის ხარჯზე. სიჩქარის გაანგარიშებას ვაწარმოებდით შემდეგი მეთოდიკით. ვიცოდით რა ხარჯები Q_2 და Q_3 მატერიალური ბალანსის თანახმად:

$$Q_1 = Q_2 - Q_3 \tag{3.18}$$

ნაკადის სიჩქარე 1 და 2 კვეთებში (ნახ.3.6), მ/წმ:

$$v_1 = \frac{Q_1}{F_{ეფ.}}; \quad v_2 = \frac{Q_2}{F_{ეფ.}} \tag{3.19}$$

კვეთის ფართი მილისებრი მემბრანული მოდულისთვის შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით $F_{ეფ.} = 8.\pi.\frac{d^2}{4} = 2.3{,}14.0{,}006^2 = 0{,}0002\ მ^2$.

მაშინ საშუალო სიჩქარე $\bar{v}$, მ/წმ:

$$\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2} \tag{3.20}$$

<u>მიღებული პროდუქტის ხარისხობრივი მაჩვენებლები.</u> პროდუქტის ხარისხობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრას ვაწარმოებდით მოცემული სახის ლუდის ტი 9184 – 103 2007 პირობებიდან გამომდინარე. დიდ პრაქტიკულ ინტერესს

წარმოადგენდა მიკროფილტრაციის დანადგარზე გაფილტრული ლუდის ბიოლოგიური მდგრადობისა და ორგანოლეპტიკური შეფასების პროგნოზირება [38,51,88].

3.1.4. პარამეტრების გაზომვის საშუალებები და გაზომვების ცდომილებების ანალიზი

გაზომვების ცდომილების განსაზღვრისათვის ვიყენებდით მის ფარდობით მნიშვნელობას, განსაზღვრულს ფორმულით [28,29,30,31]:

$$\delta_i = \left({}^{K_1}/_{K_2}\right), \qquad (3.21)$$

სადაც K_1 –ხელსაწყოს დანაყოფის ფასი;

K_2 –გაზომილი სიდიდის მინიმალური მნიშვნელობა.

სითხის მოცულობების განსაზღვრისათვის ვიყენებდით მზომ ცილინდრებს დანაყოფის ფასით 1 მლლ მოცულობით 1 ლ. K_2 მნიშვნელობა შეადგენს შესაბამისად: K_2 =1000 მლლ.

ამის შესაბამისად სითხის მინიმალური მოცულობის გაზომვის ფარდობითი ცდომილების სიდიდე შეადგენს:

$$\delta_0 = \left({}^{1}/_{1000}\right).100\% = 0{,}1\%;$$

შემამჭიდროებელი საფენებისა და მემბრანული არხის ხაზოვანი ზომების გასაზომად ვიყენებდით შტანგენფარგალს სიზუსტით 0,05 მმ.

შემამჭიდროებელი საფენების მინიმალური ზომა შეადგენდა $h = 1$მმ. უმცირესი ხაზოვანი ზომის გაზომვის ფარდობითი ცდომილება შეადგენდა სიდიდეს:

$$\delta_i = \left({}^{0{,}05}/_{1}\right).100\% = 5\%.$$

ცდომილება ხაზოვანი ზომების გაზომვის დროს:

$$\delta_l = \left({}^{0{,}05}/_{390}\right)100\% = 0{,}01\%,$$

სადაც a_{min} =390 მმ - მოდულის მემბრანული არხის მინიმალური ხაზოვანი ზომა.

$$\delta_l = \left({}^{0,05}/_{6}\right)100\%=0,8\%,$$

სადაც $d_{\partial} = 6$მმ - მილისებრი მოდულის მემბრანის შიგა დიამეტრი.

პროცესის ხანგრძლივობის გაზომვას ვაწარმოებდით საათის საშუალებით წამების ისრის დანაყოფის ფასით 0,1 წმ. მზომის შევსების მინიმალური დრო შეადგენდა $\tau = 7$წმ.

წნევის გასაზომად ვიყენებდით მანომეტრს დანაყოფის ფასით 0,01 მპა, ცდომილება წნევის გაზომვის დროს:

$$\delta_p = \left({}^{0,01}/_{0,1}\right) 100\% = 10\%$$

ფორმულის შესაბამისად, დროის მინიმალური მნიშვნელობის გაზომვის ცდომილება:

$$\delta_\tau = \left({}^{0,1}/_{7}\right) 100\% = 1,43\%.$$

მიკროფილტრაციის კუთრი სიჩქარის გაანგარიშების ცდომილებას ვსაზღვრავდით შემდეგი დამოკიდებულებიდან:

$$\delta_v = \sqrt{\delta_0^2 + \delta_\tau^2 + \delta_l^2} \qquad (3.22)$$

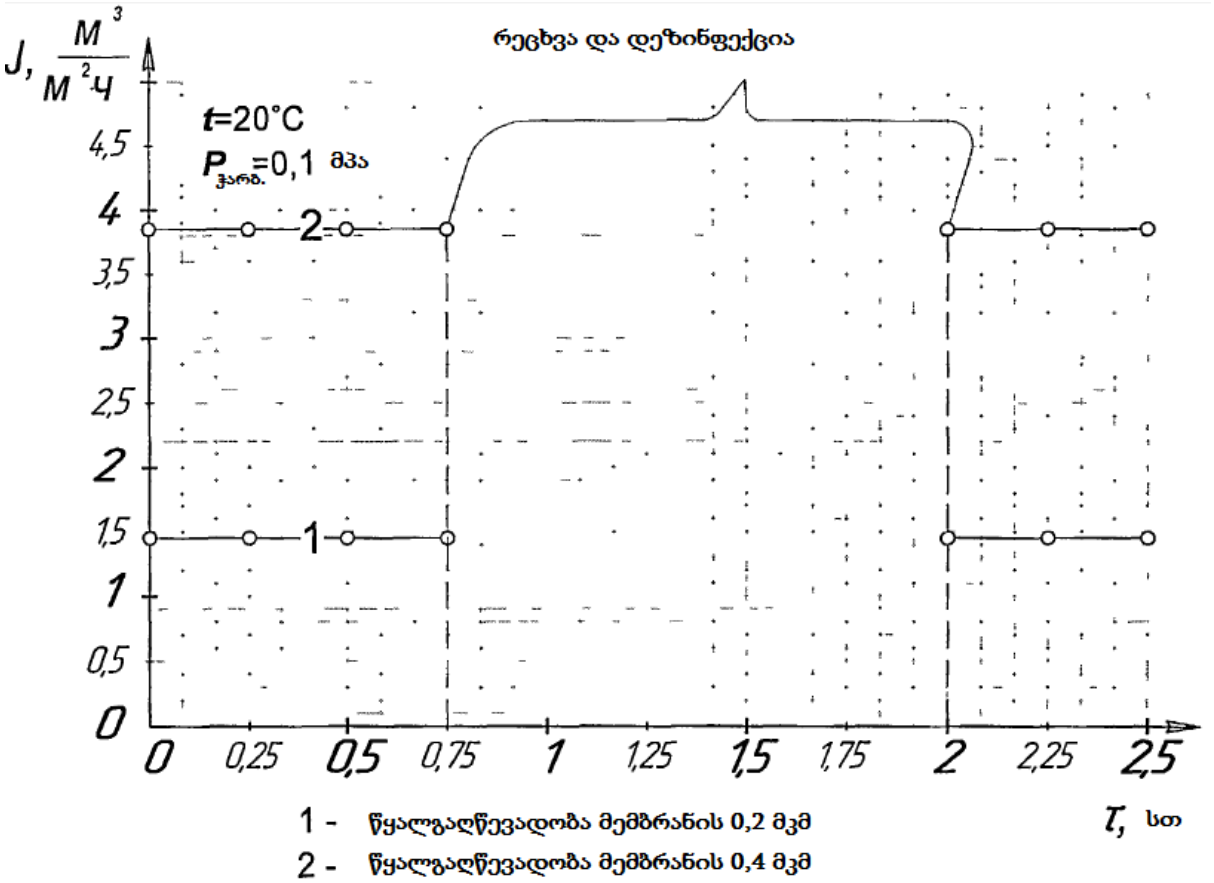
სადაც $\delta_0, \delta_\tau, \delta_l$ −მოცულობის დროის და ფარტის გაზომვის ცდომილებებია.

მიკროფილტრაციის მწარმოებლობის ფარდობითი ცდომილება არის:

$$\delta_{\partial ფ.} = \sqrt{0,1^2 + 1,43^2 + 0,8^2} = 1,64\%;$$

3.2. მემბრანის შეკავების ზღურბლის შერჩევა ლუდის ეფექტური გაკრიალებისათვის

ექსპერიმენტის დასაწყისში მემბრანის წინასწარ დაგეგმილი რაციონალური ფორის ზომებისათვის ექსპერიმენტულ დანადგარზე ვსაზღვრავდით კუთრ მწარმოებლობას სუფთა წყალზე. მემბრანებისთვის ფორის ზომით 0,2 და 0,4 მკმ კუთრი გაღწევადობის დროზე დამოკიდებულების შედეგები მუშა წნევაზე 0,1 მპა მოცემულია ნახ. 3.7.



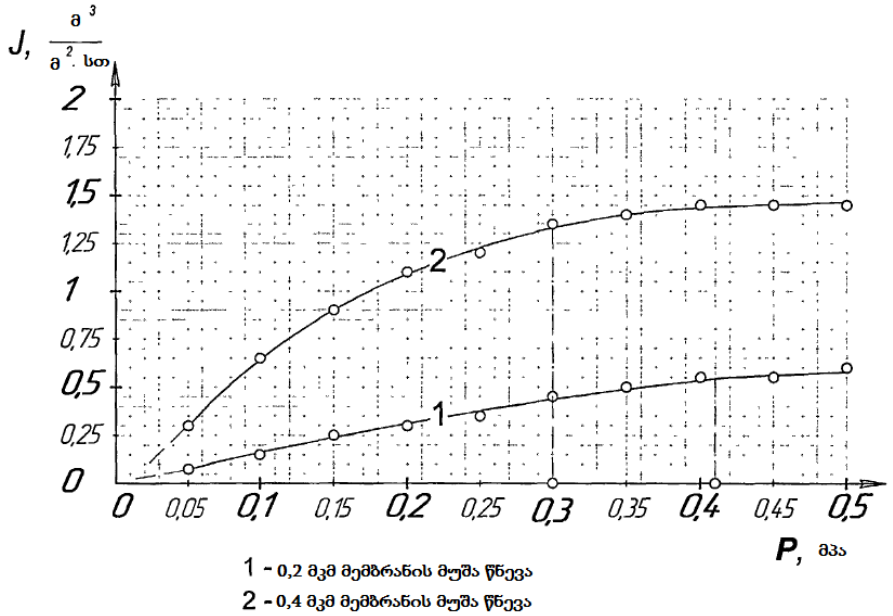
ნახ. 3.7. მემბრანების 0,2 და 0,4 მკმ გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე

კუთრი მწარმოებლობა ძალიან მგრძნობიარეა კვლევის ჩატარების პირობებზე, დამოკიდებულია უჯრედის კონსტრუქციაზე, მემბრანის ზედაპირზე ხსნარის სიჩქარეზე, სადრენაჟე ქვესადების მასალასა და მახასიათებლებზე, აგრეთვე მემბრანის წინასწარ დამუშავებაზე - გარეცხვაზე და განსაკუთრებით ჰიდროფილიზაციაზე (სპირტებით ან ზედაპირულ აქტიური ნივთიერებების ხსნარებით). ამიტომ

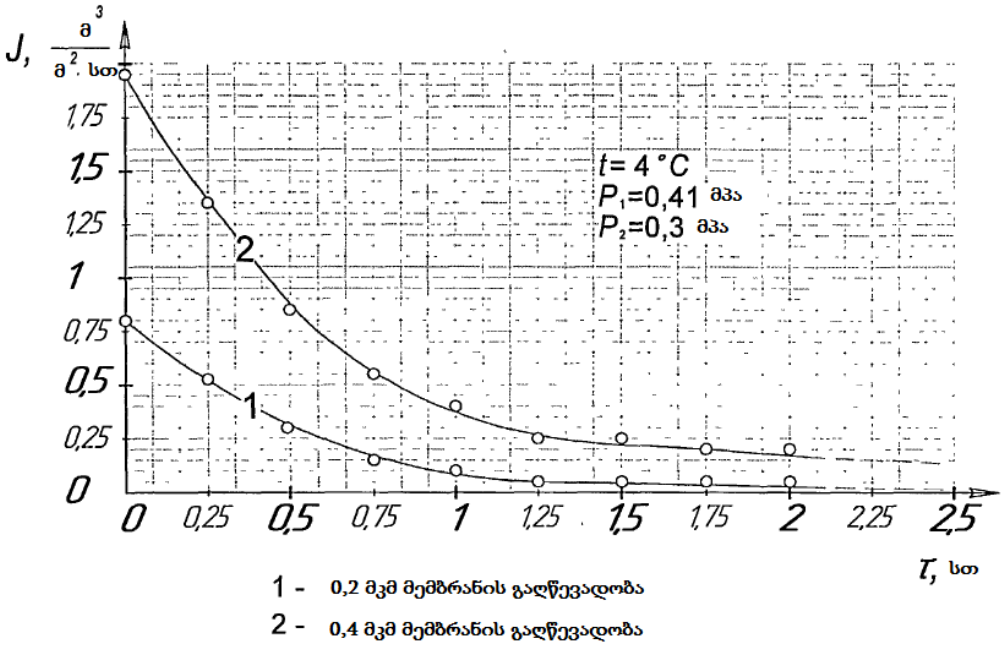
აუცილებელი იყო წნევის და სარეცხი ხსნარების ზემოქმედების შესწავლა მემბრანების გაღწევადობის ცვლილებაზე - დაჯდომაზე [33,87,96].

მემბრანების რეგენერაციისათვის ვიყენებდით რეცხვისა და დეზინფექციის მეტად გავრცელებულ და პერსპექტიულ ხერხს, აღწერილია შემდეგ (პარ. 3.7). მიღებულმა შედეგებმა საშუალება მოგვცა გაგვეკეთებინა დასკვნა მემბრანის დაჯდომის უარყოფაზე, ე.ი. მემბრანის სტაბილურობის კოეფიციენტი ტოლია 1.

შემდეგ განვსაზღვრეთ 0,2 და 0,4 მკმ მემბრანების ტექნოლოგიური თვისებები გამოსაკვლევ ობიექტზე - ლუდზე. ექსპერიმენტს ვატარებდით 3 სთ განმავლობაში, მიღებულ გაკრიალებულ ლუდს ისევ ვაბრუნებდით უკან ჭურჭელში. თითეულ ცდაში ვსაზრვრავდით მუშა წნევას და კერამიკული მემბრანების მწარმოებლობას გაუფილტრავი ლუდის მიხედვით. შედეგები მოყვანილია გრაფიკებზე: 0,2 და 0,4 მკმ მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება მიკროფილტრაციის ხანგრძლივობაზე (ნახ. 3.7) და 0,2 და 0,4 მკმ მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება მუშა წნევის სიდიდეზე (ნახ.3.8).



ნახ. 3.8. 0,2 და 0,4 მკმ მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება ჭარბ წნევაზე



ნახ. 3.9. 0,2 და 0,4 მკმ მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე

ფილტრაციის ხარისხის შესაფასებლად ვამოწმებდით ისეთ მაჩვენებლებს, როგორიცაა: ექსტრაქტულობა,სპირტის მოცულობითი წილი, მიკროორგანიზმების შემცველობა, pH, სიმღვრიე [10,51,59,88,91]. გაფილტრული ლუდის ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.1.

ცხრილი 3.1

0,2 და 0,4 მკმ მემბრანებზე გაფილტრული ლუდის ანალიზის შედეგები

მაჩვენებლის დასახელება	ფორების ზომები, მკმ	
	0,2	0,4
მიკროორგანიზმების შემცველობა, მილ.უჯრედი/მლლ	არ აღმოჩენილა	არ აღმოჩენილა
pH	4,39	4,38
სიმღვრიე, ერთ	0,37	0,47
ექსტრაქტულობა, %	10,55	11
სპირტის მოცულობითი წილი, %	4	4

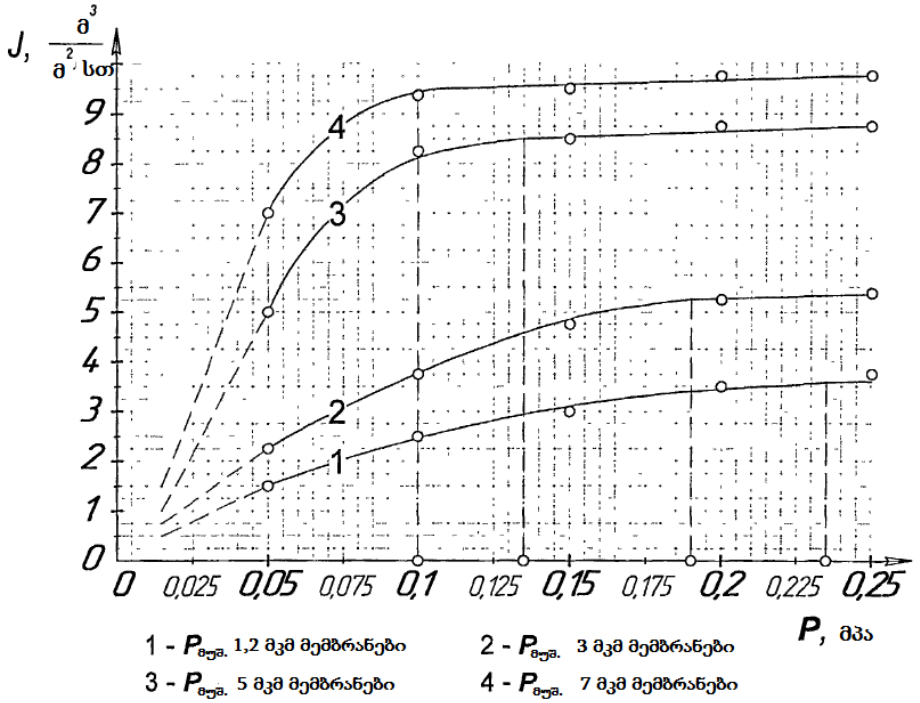
მიღებული მონაცემებით გაკეთებული იქნა შემდეგი დასკვნები. 0,2 და 0,4 მკმ ფორიანობის მემბრანებზე ფილტრაციის დროს მოხდა საფუარის უჯრედების და მსხვილი ცილოვანი შენაერთების სრული მოცილება, მხოლოდ 0,2 მკმ მემბრანების გამოყენების დროს იცვლებოდა ლუდის ექსტრაქტულობა და ფერი. მაშასადამე 0,4 მკმ მემბრანას აქვს უპირატესობა, რადგანაც ის არ მოქმედებდა ლუდის ხარისხზე, აცილებდა რა ბაქტერიებსა და ნაწილაკებს. როგორც გრაფიკიდან ჩანს დამოკიდებულებები $J = f(t)$ მემბრანის გაღწევადობა მკვეთრად ეცემოდა დროის განმავლობაში (კონცენტრაციის გაზრდით) და ორი საათის შემდეგ თითქმის უტოლდებოდა ნულს. მაშასადამე, აუცილებელია ფილტრაცია რამოდენიმე სტადიათ (შეკავების ზღურბლის ვარირებით).

3.3. მემბრანის შეკავების ზღურბლის შერჩევა ლუდის წინასწარი ფილტრაციისათვის

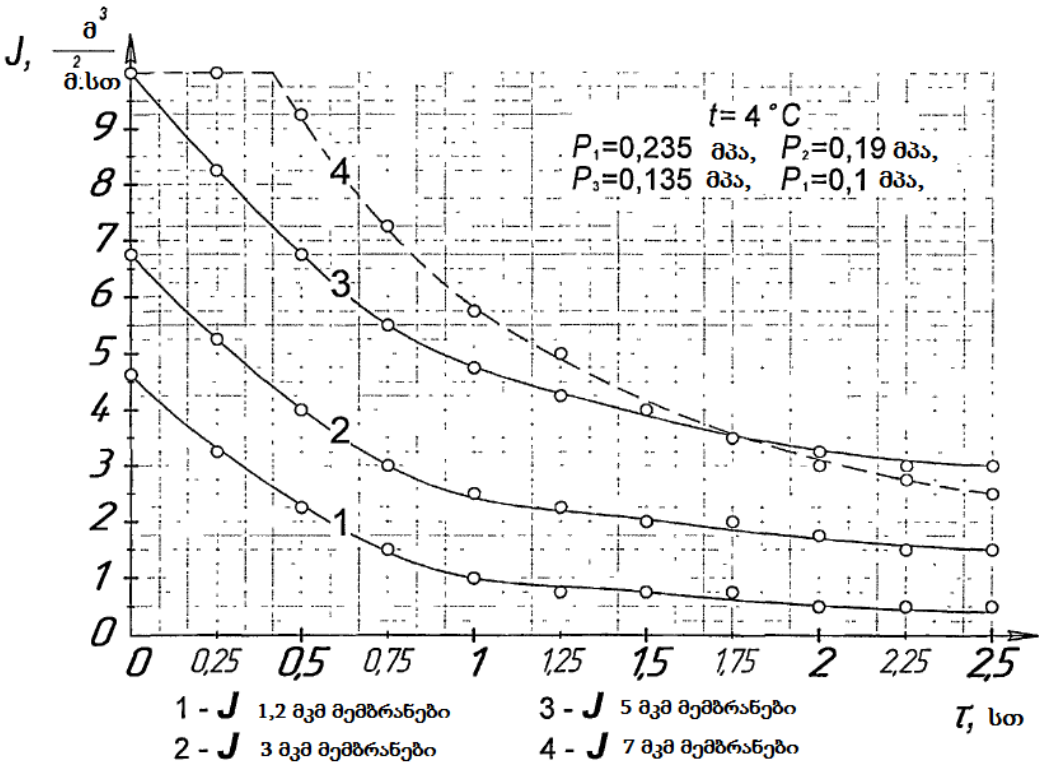
მიკროორგანიზმების წინასწარი მოცილებისათვის გამოყენებული იქნა მემბრანები ფორების ზომებით 7, 5, 3, და 1,2 მკმ [51,95,104,124]. ექსპერიმენტს ვატარებდით ჭურჭლის გაცლამდე, მიღებულ პერმეატს ვაგროვებდით მისი შემდგომი ფილტრაციისათვის მემბრანაზე 0,4 მკმ ზომის ფორებით. თითეულ ცდაზე ვსაზღვრავდით გაუფილტრავ ლუდზე კერამიკული მემბრანებისთვის მუშა წნევას და მწარმოებლობას. ცდების შედეგები მოცემულია გრაფიკებზე: მემბრანებისთვის ფორის დიამეტრით 7, 5, 3, და 1,2 მკმ მწარმოებლობის დამოკიდებულება მკროფილტრაციის პროცესის ხანგრძლივობაზე (ნახ. 3.10) და მემბრანებისთვის ფორის დიამეტრით 7, 5, 3, და 1,2 მკმ მწარმოებლობის დამოკიდებულება მუშა წნევის სიდიდეზე (ნახ. 3.11).

გაფილტრული ლუდის ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.2. ანალიზის შედეგებით შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მიღებული ლუდის ფილტვრადობა (შედგომი გაკრიალებისთვის) საუკეთესოა. ისეთი მაჩვენებლები, როგორიცაა ექსტრაქტულობა, სპირტის მოცულობითი წილი არ განისაზღვრებოდა, რადგან ჩვენ ჩავთვალეთ, რომ თუ მემბრანა ფორებით 0,4 მკმ არ ახდენდა გავლენას

ლუდის ხარისხზე, მაშინ შესაბამისად მემბრანები ფორების უფრო დიდი ზომებით არ შეცვლიდნენ მოცემულ მაჩვენებლებს.



ნახ. 3.10.მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება ჭარბ წნევაზე



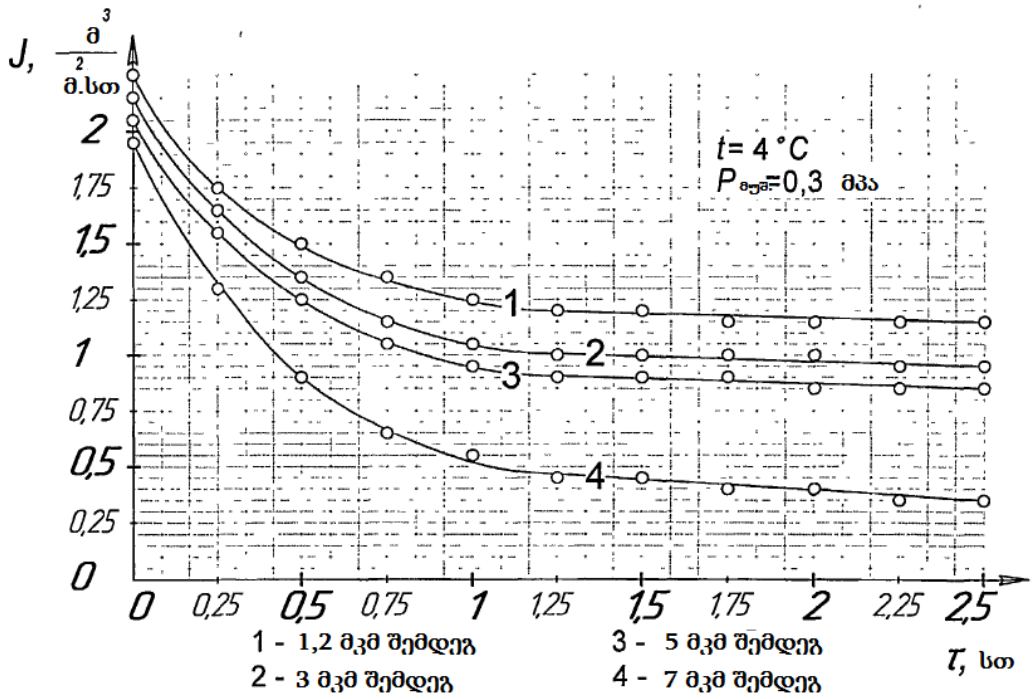
ნახ. 3.11. მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე

ცხრილი 3.2

წინასწარ გაკრიალებული ლუდის მიკრობიოლოგიური და ფიზიკო-ქიმიური თვისებები

მაჩვენებლის დასახელება	ფორის ზომები, მკმ			
	1,2	3	5	7
მიკროორგანიზმების შემცველობა, მილ. უჯრ./მლლ	0,6	1,02	1,38	3,1
pH	4,38	4,38	4,38	4,38
სიმღვრიე, ერთ.	0,77	1,22	1,27	1,64

შემდეგ მიღებულ პერმეატს ვფილტრავდით მემბრანაზე 0,4 მკმ. მემბრანის 0,4 მკმ დიამეტრიანი ფორებით გაღწევადობის დამოკიდებულება მიკროფილტრაციის პროცესის ხანგრძლივობაზე წარმოდგენილია ნახ.3.12.



ნახ. 3.12. 0,4 მკმ მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე წინასწარი გაკრიალების შემდეგ

როგორც მიღებული გრაფიკებიდან ჩანს, 0,4 მკმ ფორებიანი მემბრანების გაღწევადობა მემბრანებზე 5, 3, და 1,2 მკმ წინასწარი დამუშავების შემდეგ გაიზარდა

თითქმის ოთხჯერ, ხოლო მემბრანის 7მკმ შემდეგ მხოლოდ ორჯერ. ჩატარებული ლუდის ანალიზების თანახმად, გაყოფის ხარისხი მემბრანებისათვის 5, 3, და 1,2 მკმ (ცხრილი 3.2) უმნიშვნელოდ განსხვავდებოდა, ამიტომ წინასწარი გაკრიალებისთვის შევირჩიეთ მემბრანა დიდი მწარმოებლობით, ხოლო როგორც ნახ. 3.11 ჩანს გაღწევადობა შეკავების ზღურბლის დროს 5 მკმ ერთი ნიშნით მაღლაა. კვლევის მიღებული შედეგების მიხედვით შეიძლება შევთავაზოთ ფილტრების შემდეგი თანმიმდევრობა:

ა)ფილტრი ფორის ზომებით 5 მკმ როგორც უხეში, ისე დახვეწილი ფილტრა-ციისათვის ($P_{მუშ.}$=0,135 მპა, φ=76%, $J_{საშ.}$=7,5 $მ^3/მ^2$.სთ, ცირკულაციის ჯერადობა 3);

ბ)მასტერილებელი (გამაუსნებოვნებელი) ფილტრი ფორის ზომით 0,4 მკმ ($P_{მუშ.}$=0,3 მპა, φ=100%, $J_{საშ.}$=1,7 $მ^3/მ^2$.სთ, ცირკულაციის ჯერადობა5);

მაშასადამე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ თანამედროვე ლუდის ხარშვაში გაკრიალების პროცესი შეიძლება წარვმართოთ ისეთი რთული და ძვირადღირებული მოწყობილობების გარეშე, როგორიცაა სეპარატორები და კიზელგურის ფილტრები. გაკრიალება მემბრანულ ფილტრებზე არის ენერგო- და რესურსდამზოგი ფილტრაციის ტექნოლოგია, რაც საწარმოებს საშუალებას აძლევს, ამ ტექნოლოგიის გამოყენებით იყვნენ უფრო კონკურენტუნარიანები საქართველოს ბაზარზე.

3.4. მემბრანული დამუშავების შემდეგ ლუდის ხარისხობრივი მახასიათებლების კვლევა

ლუდის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებების კვლევა არასაკმარისია მისი ხარისხის განსაზღვრისათვის. ლუდის ხარისხის უმნიშვნელოვანესი კრიტერიუმებია ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლები: გემო, არომატი, ფერი, გამჭირვალობა, ქაფის სიმაღლე და მდგრადობა [36,48,51,65,83].

ცხრილი 3.3

გაკრიალებული ლუდის ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლები

№	ლუდის დასახელება	ხარისხის მაჩვენებლები	ჯამური შეფასება ბალებში	შესწორებული ჯამური შეფასება
1	„გერმანული“ ტი 9184-103 2012	გამჭირვალობა ფერი არომატი გემო ქაფი და ნახშირორჟან- გით გაჯერება	25 22 22 24 21	22
<u>დასკვნები: ლუდის „გერმანული“ (ტი 9184-103, 2012) ორგანოლეპტიკური შეფასების შედეგად საერთო ბალური შეფასება არის „ფრიადი“</u>				

ამიტომ მიღებული ლუდის ხარისხის განსაზღვრისათვის ვაწარმოეთ ორგანოლეპტიკური შეფასება (ცხრილი 3.3) და აგრეთვე ლუდის მდგრადობის პროგნოზირება.

ლუდის მდგრადობის პროგნოზირებისთვის ვიყენებდით მ. კაგერის ირიბ მეთოდს. საკონტროლო გამოცდებისთვის ვიყენებდით ერთი პარტიის სამ ნიმუშს. ნიმუშებს ვათავსებდით ყინულის აბაზანაში 6 სთ, შემდეგ ვაცხელებდით 66°C მდე და ვაყოვნებდით ამ ტემპერატურაზე 16 სთ. შემდეგ ნიმუშებს ნელა ვაცივებდით და კვლავ ვათავსებდით 6 სთ ყინულის აბაზანაში. შემდეგ ვზომავდით სიმღვრიეს და ცხრილის მიხედვით ვსაზღვრავდით ლუდის შენახვის საგულისხმო მაქსიმალურ ხანგრძლივობას [37,59,61].

ცხრილი 3.4

ლუდის მდგრადობის პროგნოზირება

სიმღვრიე, ერთ.	კოლოიდური მდგრადობა, დღე ღამე	
	მაქსიმალური	მინიმალური
1,63	90	40-55

ჩატარებული კვლევის შედეგად გაკეთებული იქნა შემდეგი დასკვნები:

- ლუდის ფიზიკო-ქიმიური მდგრადობა, რომელიც გაფილტრულია ა)ფილტრზე 5მკმ ფორებით ერთდროულად უხეში და დახვეწილი ფილტრაციის უზრუნველსაყოფად; ბ)მასტერილებელ (გამაუსნებოვნებელ) ფილტრზე ფორის ზომებით 0,4 მკმ -სრულიად შეესაბამებიან ტი 9184-103 2012;

-ლუდის სავარაუდო მაქსიმალური შენახვის ვადა 90 დღე ღამე, რაც შეესაბამება 9184-103 2012;

-ბარომემბრანული მეთოდით გაკრიალებული ლუდის ორგანოლეპტიკური შეფასება მოწმობს მიღებული პროდუქტის მაღალ ხარისხს.

3.5. ლუდის მიკროფილტრაციის სხვადასხვა პარამეტრების გავლენა მემბრანის გაღწევადობაზე

მემბრანული პროცესების წარმართვის დროს ძირითადი პრობლემა - ეს არის ნაკადის შემცირება დროის გასვლის შემდეგ (ძირითადად დაჭუჭყიანების გამო). დაჭუჭყიანება გამოიხატება ნაკადის თანდათან შემცირებაში, ამ დროს სხვა მუშა პარამეტრები - წნევა, ტემპერატურა, კონცენტრაცია, ტანგენციალური სიჩქარე და სხვა რჩება უცვლელი [8,33,35].

ნახ.9 წარმოდგენილია 0,2 და 0,4 მკმ შეკავების ზღურბლის მემბრანების გაღწევადობის დამოკიდებულება ლუდის ფილტრაციის პროცესის ხანგრძლივობაზე. როგორც ჩანს მემბრანების გაღწევადობა მკვეთრად ეცემა პირველი 5-10 წთ განმავლობაში, ხოლო ერთი სთ მუშაობის შემდეგ მემბრანებისთვის 0,2 მკმ და ორი სთ შემდეგ მემბრანისათვის 0,4 მკმ პრაქტიკულად ტოლია ნულის.

ეს შეიძლება ავხსნათ შემდეგით: მემბრანის გაშვებიდან პირველ რამოდენიმე წამში მის ზედაპირზე ყალიბდება კონცენტრაციული პოლარიზაციული ფენა (ეს გარდაუვალი, მაგრამ შექცევადი მოვლენაა), რომელსაც მივყავართ ფილტრაციის საპირისპიროდ კონცენტრაციის ცვლილებისკენ. კონცენტრაციული პოლარიზაციის შედეგად ნაკადის შემცირება შეიძლება დავწიოთ წნევის შემცირებით და პულსაციით,

ტანგენციალური სიჩქარის გაზრდით ან კონცენტრაციის შემცირებით, და ამიტომ ასეთი მოვლენა არ ითვლება დაჭუჭყიანებად [33,120].

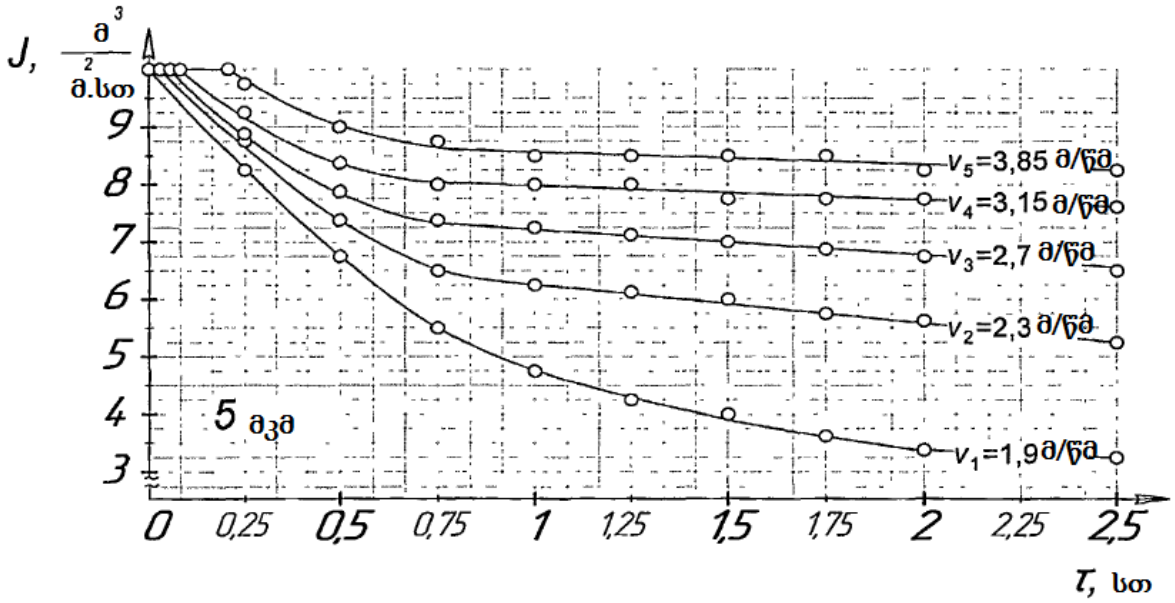
დაჭუჭყიანების შემდგომ ეტაპად ითვლება კონცენტრაციული პოლარიზაციის გამოწვეული შედეგი. გახსნილი ნივთიერებები, რომლებიც გროვდებიან მემბრანის ზედაპირზე დროის განმავლობაში განიცდიან შეუქცევად ცვლილებას და მემბრანის ზედაპირზე წარმოქმნიან მონალექ ფენას. ამ დროს გახსნილი ნივთიერებების კონცენტრაცია სასაზღვრო ფენაში მემბრანის ზედაპირთან იზრდება. კონცენტრაციის გაზრდა ხდება მანამ, სანამ გახსნილი ნივთიერების დიფუზიური ნაკადი სასაზღვრო ფენიდან გასაყოფ ხსნარში არ გაწონასწორდება გახსნილი ნივთიერებების მემბრანის გავლით ნაკადით ეგრეთ წოდებული დინამიური წონასწორობის დამყარებით. მემბრანის მუშა მახასიათებლებზე კონცენტრაციული პოლარიზაციის მოქმედება უარყოფითია, რადგანაც ამ დროს ხსნარის ოსმოსური წნევის გაზრდის შედეგად მცირდება გაყოფის პროცესის მამოძრავებელი ძალა.

კონცენტრაციული პოლარიზაციის შემცირების ძირითად მეთოდებს შეიძლება მივაკუთვნოთ შემდეგი [8,33,35, 124]:

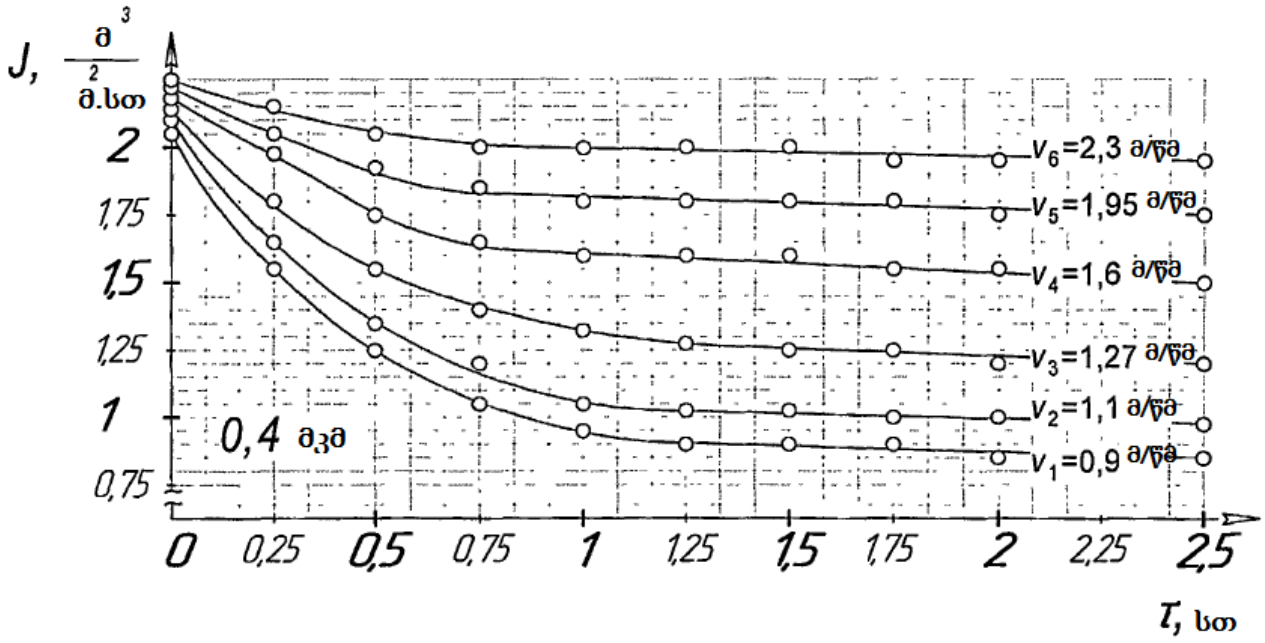
- აპარატების გამოყენება ვიწრო არხით;
- ტემპერატურის ამაღლება;
- ნაკადის ტურბულიზაცია;
- ხსნარის ნაკადის პულსაცია.

ლუდის ტემპერატურის გაზრდა დაუშვებელია ფილტრაციის ტექნოლოგიიდან გამომდინარე. ვიწრო არხების გამოყენებასაც ვერ შევძლებთ, რადგანაც მემბრანები მილისებურია. ნაკადის ტურბულიზაცია შეიძლება მოვახდინოთ სამი ხერხით: მაღალი სიჩქარეების გამოყენებით (3-5 მ/წმ), ხისტად დამაგრებული მატურბულიზებელი ჩანართებით და არა ხისტად დამაგრებული მატურბულიზებელი ჩანართებით. არა ხისტად ჩამაგრებული ტურბულიზატორების გამოყენების პრაქტიკულად რეალიზება ძნელია. ხისტად დამაგრებული ტურბულიზატორები ქმნიან დიდ ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობას და ხელს უწყობენ მკვდარი უძრავი ზონების წარმოქმნას.

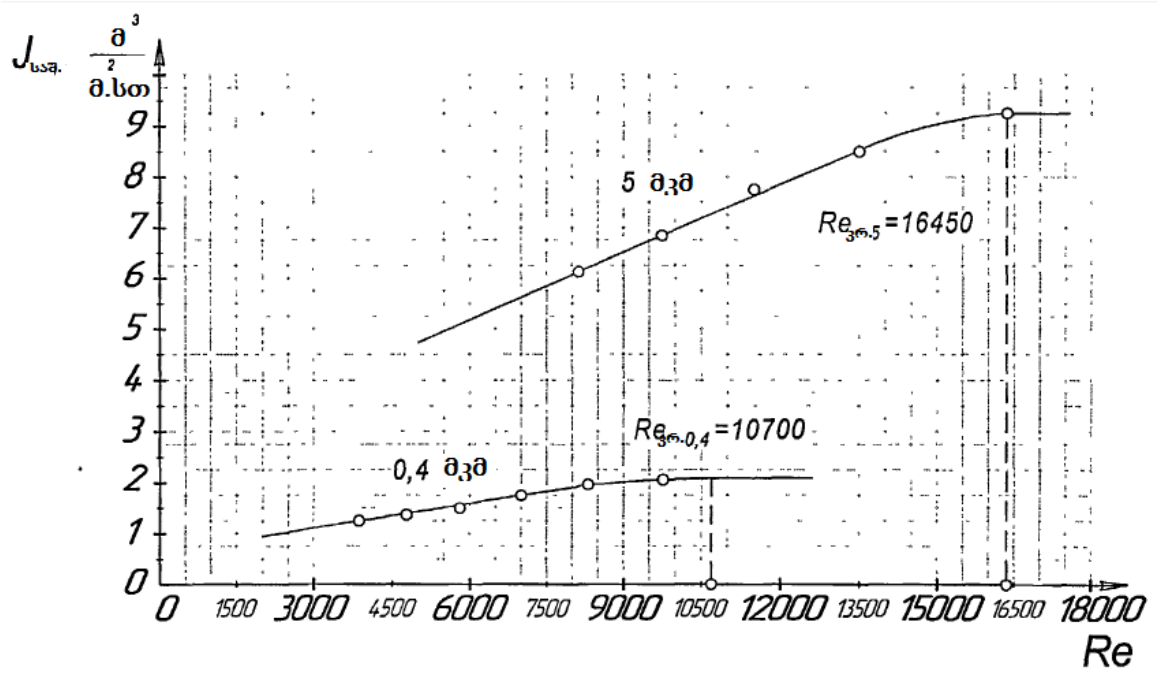
პირველი ორი მეთოდის გამოყენება მიუღებელია, ამიტომ გამოკვლეული იქნა მემბრანის ზედაპირზე ტანგენციალური სიჩქარის გავლენა მის გაღწევადობაზე, სიჩქარის შეცვლა პერმეატის და რეტენტატის გამყვან მილყელებზე მოთავსებული ვენტილებით შეუძლებელია, რადგანაც ამ დროს შეიცვლება წნევათა სხვაობა. ამიტომ სიჩქარის სარეგულირებლად, სხვა ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე ზემოქმედების გამორიცხვით, ვცვლიდით მემბრანების რაოდენობას ექსპერიმენტალურ დანადგარში, ვცვლიდით რა ამ დროს ეკვივალენტურ დიამეტრს (არხის განივი კვეთის ფართს). შედეგად შესწავლილი იქნა მემბრანებისთვის 0,4 და 5 მკმ გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე სხვადასხვა სიჩქარის რეჟიმებში (ნახ.3.13, 3.14). სხვადასხვა სიჩქარის რეჟიმებში დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულების მისაღებად აგებული იქნა მემბრანის გღწევადობის რეინოლდსის რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ.3.15).



ნახ.3.13. 5 მკმ მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე ნაკადის სხვა და სხვა ტანგენციალური სიჩქარის დროს



ნახ. 3.14. 0,4 მკმ მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე ნაკადის სხვა და სხვა ტანგენციალური სიჩქარის დროს



ნახ. 3.15. მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება რეინოლდსის რიცხვზე

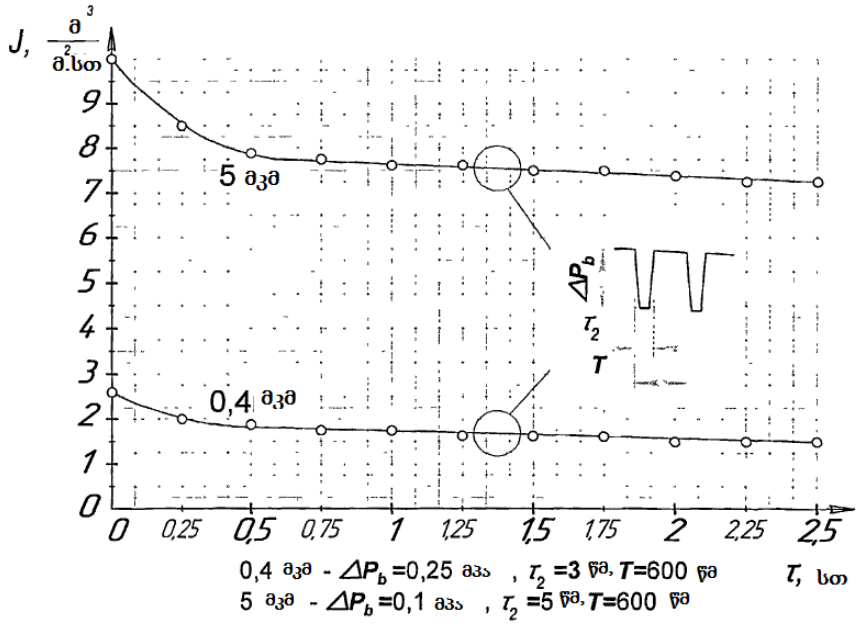
მემბრანის ზედაპირზე გელ-ფენის სრული რღვევა ხდებოდა: 0,4მკმ - $Re_{კრ.}$=10700, 5მკმ - $Re_{კრ.}$=16450. მოცემული ტიპზომის მემბრანებისათვის რეინოლდსის რიცხვის მიღებული მნიშვნელობები შეესაბამებიან შემდეგ სიჩქარეებს:0,4მკმ - $v_{საშ.}$=3,7 მ/წმ, 5მკმ - $v_{საშ.}$=2,3 მ/წმ. მაგრამ მაღალი სიჩქარეების გამოყენებას მივყავართ ხსნარის

რეცირკულაციაზე ენერგიის დიდ ხარჯთან და ტემპერატურის მნიშვნელოვან აწევასთან. ტანგენციალური ნაკადის მაღალი სიჩარეების ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება მიგვიყვანოს ბიოლოგიურად აქტიური მაკრომოლეკულების ინაქტივაციასთან. [17,87,95,102,127,131].

ამიტომ ერთადერთ მეტად პერსპექტიულ მიმართულებას, ჩვენი აზრით, წარმოადგენს იმპულსური რეჟიმის გამოყენება, რადგანაც ამ მეთოდს არ აქვს ზემოდ ჩამოთვლილი ნაკლოვანებები და ადვილია პრაქტიკაში რეალიზაციისათვის.

3.6. უწყვეტი ქმედების მემბრანულ აპარატში ლუდის ფილტრაციის პროცესში იმპულსური რეჟიმის კვლევა.

იმპულსური რეჟიმის დროს პოლიარიზაციული ფენის რღვევა და გაფხვიერება მიიღწევა კონცენტრატის წინსვლით-უკუსვლითი მოძრაობით, ფილტრატის უკუ გადაქაჩვით ან ტანგენციალური ნაკადით მემბრანების პერიოდული რეგენერაციით. პულსაციური რეჟიმის უპირატესობას წარმოადგენს პროცესის მწარმოებლობის გაზრდა, რომელიც არ არის დაკავშირებული ტანგენციალური გადაქაჩვის ისეთ უარყოფით მხარესთან, როგორიცაა ბიოპრეპარატების ინაქტივაცია [87,127,131].



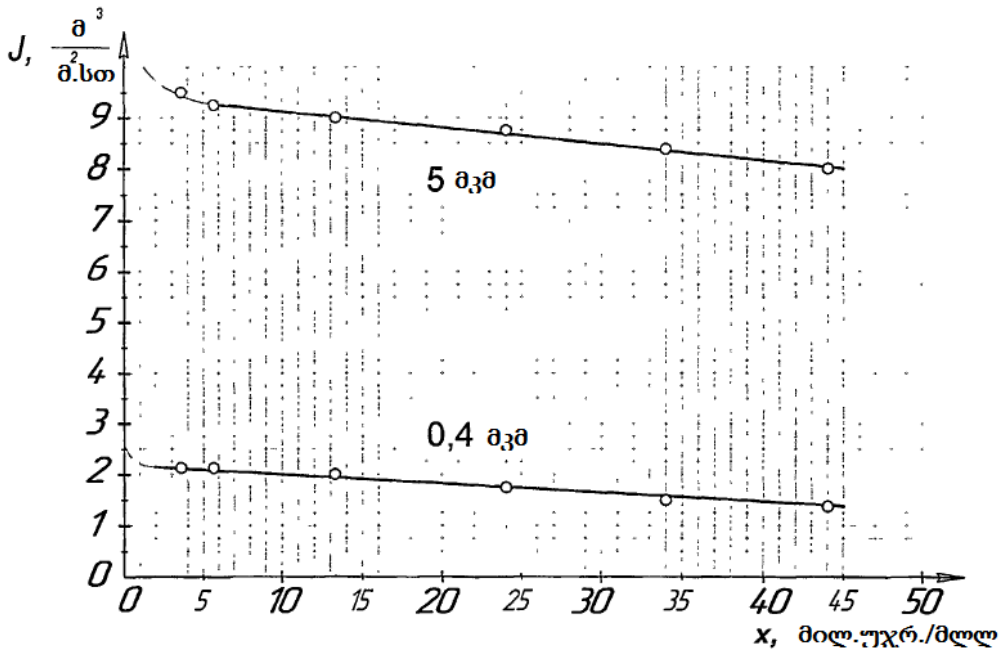
ნახ. 3.16. 0,4 მკმ მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე იმპულსურ რეჟიმში

ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებულ იქნა პულსირებადი ნაკადი მემბრანების პერიოდული რეგენერაციით ტანგენციალური ნაკადით შემდეგი მახასიათებლებით (5 მკმ):

- სიხშირე ν=0,002 ჰერცი;
- პულსაციის ხანგრძლივობა τ_2=5წმ;
- გამჭოლობა Ω=0,83%;
- ამპლიტუდა ΔP_b=0,1მპა;
- ნაკადის სიჩქარე v_τ=3მ/წმ.

ექსპერიმენტის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 3.16. რომლიდანაც ჩანს, რომ იმპულსური რეჟიმის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა გაგვეზარდა საშუალო მწარმოებლობა 96%-ით და გამოვრიცხოთ მონალექი ფენის წარმოქმნა.

დიდ ინტერესს წარმოადგენს აგრეთვე დისპერსული ფაზის კონცენტრაციის დროის მიხედვით გაღწევადობაზე გავლენა (საფუარის უჯრედების და ბაქტერიების კონცენტრაცია იცვლებოდა არა მხოლოდ არხის სიგრძეზე, არამედ დროის გასვლითაც, რადგანაც ექსპერიმენტალური დანადგარის სქემად შერჩეული იყო „ულუფოვანი“ სისტემა სრული რეცირკულაციის მექანიზმით).



ნახ. 3.17. მემბრანის გაღწევადობის დამოკიდებულება საფუარის უჯრედების კონცენტრაციაზე

ჩავატარეთ რა შედარებითი ანალიზი მემბრანის გაღწევადობის საფუარის უჯრედების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების (ნახ. 3.17) და ფილტრაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების (3.16) გაკეთებული იქნა დასკვნა, რომ მწარმოებლობაზე ისეთი დაჭუჭყიანების გავლენა, როგორიცაა ფორების დახშობა, უმნიშვნელოა.

3.7. მემბრანების რეგენერაცია

მუშაობის პროცესში მემბრანის ზედაპირი და ფორები დროის განმავლობაში თანდათან იხშობა გასაყოფ ხსნარში არსებული სხვადასხვა სახის კოლოიდური ნივთიერებებით [87]. ამიტომ მემბრანების მწარმოებლობის რაღაც მუდმივ დონეზე შესანარჩუნებლად აწარმოებენ მათ პერიოდულ გაწმენდას (რეგენერაციას). ეს წმენდა წარმოებდა დაუშლელად სხვადასხვა ქიმიური რეაგენტებით რეცხვით. მილისებრი კერამიკული მემბრანების სარეცხად ლუდზე მუშაობის შემდეგ ვიყენებდით რეცხვის კლსიკურ სქემას, რომელიც გამოიყენება ბევრ ლუდსახარშში:

- ცხელი წყალი (t=70-80°C) 10 წთ განმავლობაში;
- კაუსტიკური სოდის 2 % ხსნარი (t=70-80°C) 20 წთ განმავლობაში;
- ცივი წყალი (t=15-20°C) 10 წთ განმავლობაში;
- აზოტმჟავას 2% ხსნარი (t=15-20°C) 20 წთ განმავლობაში;
- ცივი წყალი (t=15-20°C) 10 წთ განმავლობაში;
- სტერილიზაცია ორთქლით (უშუალოდ შემდეგი ფილტრაციის წინ).

უნდა აღვნიშნოთ, რომ მემბრანების გაწმენდის ხარისხი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ტუტე ხსნარის ტემპერატურაზე. აგრეთვე არ შეიძლება დავივიწყოთ უარყოფითი ზემოქმედება მემბრანების რეგენერაციაზე მისი წყალგაყვანილობის წყლით ხანგრძლივ რეცხვაზე, ამიტომ დანადგარის გავლება პროდუქტზე მუშაობის შემდეგ და ტუტით და მჟავით რეცხვის შემდეგ დაყვანილი უნდა იყოს მინიმუმამდე.

ზემოთ აღწერილი სქემით აპარატის რეცხვის წარმართვის შედეგად დამტკიცებული იქნა კერამიკული მემბრანების უპირატესობა: pH(0-13) დიდი დიაპაზონი და მდგრადობა მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებაზე. მოცემულმა

რეჟიმებმა არ მოახდინა გავლენა მემბრანის გაღწევადობაზე, რეგენერაციის შემდეგ მათი მწარმოებლობა აღდგა საწყისამდე.

მოცემული მემბრანებისთვის აგრეთვე შეიძლება გამოვიყენოთ გამოწვა t=400°C ტემპერატურაზე შემდგომი ჰაერის შებერვით.

დასკვნა თავის მიხედვით

გამოკვლეულია ბარომემბრანული მეთოდით ლუდის ფილტრაციის პროცესის კინეტიკა და ჰიდროდინამიკა, შედეგად შემოთავაზებულია ფილტრების შემდეგი თანმიმდევრობა:

ა) ფილტრი ფორის ზომით 5 მკმ ერთდროულად, როგორც უხეში, ისე დახვეწილი ფილტრაციისათვის ($P_{მუშ.}$=0,135მპა, φ=76%, $J_{საშ.}$=7,5 $მ^3/მ^2$.სთ, v=1,9მ/წმ, რეცირკულაციის ჯერადობა 3);

ბ) მასტერილებელი (გამაუსნებოვნებელი) ფილტრი ფორის ზომით 0,4 მკმ ($P_{მუშ.}$=0,3მპა, φ=100%, $J_{საშ.}$=1,7 $მ^3/მ^2$.სთ, v=0,9მ/წმ, რეცირკულაციის ჯერადობა 5).

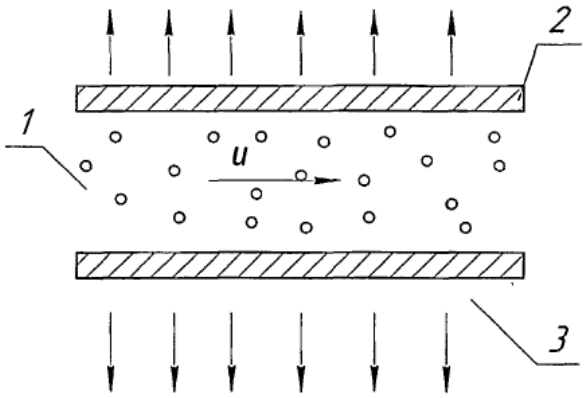
გამოკვლეულია გაკრიალებული ლუდის „გერმანული“ ფიზიკო-ქიმიური, მიკრობიოლოგიური და ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლები, მოხდა ლუდის მდგრადობის პროგნოზირება, რამაც საშუალება მოგვცა გავაკეთოთ დასკვნა მიღებული გაკრიალებული ლუდის მაღალ ხარისხზე (ტი 9184-103 2012, გოსტი 51174-98).

გამოკვლეულია კონცენტრაციულ პოლარიზაციასთან ბრძოლის ხერხები, დასაბუთებულია მიკროფილტრაციის იმპულსური რეჟიმის გამოყენება მემბრანის ზედაპირზე გელ-ფენის დარღვევისათვის, განსაზღვრულია იმპულსური რეჟიმის პარამეტრები 0,4 მკმ- $ΔP_b$=0,25მპა; $τ_2$=3წმ; T=600 წმ; 5 მკმ - $ΔP_b$=0,1მპა; $τ_2$=5წმ; T=600 წმ.

თავი 4. ფოროვანკედლიან არხში სუსპენზიის ფილტრაციის პროცესის მათემატიკური მოდელირება

4.1. ამოცანის ფიზიკური დასმა

გვაქვს სუსპენზია ე.ი. კომპოზიცია სითხისაგან და მასში შემცველი პოლიდისპერსული სხვადასხვა ზომის მყარი ნაწილაკებისაგან. აუცილებელია განვახორციელოთ მყარი ფაზიასაგან სუსპენზიის გაწმენდის პროცესი. სქემატურად გაწმენდის პროცესი ხორციელდება შემდეგი სახით (ნახ.4.1).



ნახ.4.1. ფიზიკური მოდელი:

1 - სუსპენზია, 2 - მემბრანა, 3 - ფილტრატი

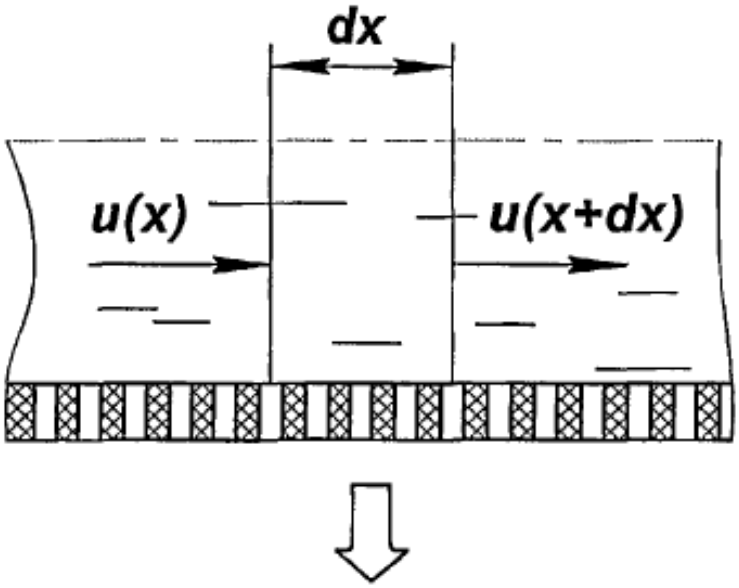
სუსპენზია 1 u სიჩქარით მიეწოდება არხში 1. ჩავთვალოთ, რომ ნაწილაკები არხში მოძრაობენ გასრიალების გარეშე, რაც მართალია, თუ მატარი არის და ნაწილაკების სიმკვრივეები მკვეთრად არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ჩვეულებრივ დინების ჰიდროდინამიკური რეჟიმი არის ტურბულენტური და ამიტომ საკმაოდ ვიწრო არხებში ტურბულენტური პულსაციები მასშტაბით შეესაბამება განივი კვეთის მახასიათებელ ჰიდრავლიკურ დიამეტრს. ეს ნიშნავს, რომ განივ კვეთში ხდება ინტენსიური შერევა და შესაბამისად, თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ტურბულულენტური დინების პროფილს აქვს მკვეთრად გამოკვეთილი სასაზღვრო ფენა სიჩქარის მკვეთრი კლებით და ბირთვი პრაქტიკულად მუდმივი სიჩქარით, შეიძლება ჰიდროდინამიკური სტრუქტურა განივი მიმართულებით ჩავთვალოთ ახლოს იდეალურ შერევასთან და ახლოს იდეალურ გამოდევნასთან დინების გასწვრივ

მიმართულებით. არხში სუსპენზიის გადატანის ასეთი სურათი საშუალებას გვაძლევს კორექტულად უგულებელვყოთ ქვედა კედელზე მყარი ფაზის გრავიტაციული მდგენელი. შემდგომ ნაკადის ნაწილი განაგრძობს მოძრაობას არხში, ნაწილი კი 3 იფილტრება ფოროვანი კედლის 2 გავლით, მათ შორის ფილტრატის წვრილდისპერსიულ ნაწილთან ერთად. ამოცანის ფიზიკური დასმა საშუალებას გვაძლევს გადავიდეთ მათემატიკურ იდეალიზაციაზე, სახელდობრ ამ ერთი განზომილებისთვის ამოცანა ჩავთვალოთ ღერძსიმეტრიულად და ერთმიმართულად [32,33,41,56,63].

4.2. მათემატიკური ფორმალიზება

ამოცანის ფიზიკური დასმა საშუალებას გვაძლევს, მიღებული დაშვებების შესაბამისად, შევუდგეთ მათემატიკური მოდელის სინთეზს. ამისათვის გამოვყოთ ელემენტარული მოცულობა და ჩავწეროთ მისთვის მატერიალური ბალანსის დიფერენციალური განტოლება. მაშასადამე ელემენტარული მოცულობის S განივ კვეთში u(x) სიჩქარით შემავალი ρ სიმკვრივის სითხის მასური ხარჯი არის [32,63]

$$G(x) = \rho . u(x) . S. \qquad (4.1)$$



ნახ.4.2 საანგარიშო სქემა

ჩავთვალოთ, რომ არხს ფოროვანი კედლებით მთელი სიგრძის გასწვრივ აქვს მუდმივი განივი კვეთი, მაშინ სითხის მასური ხარჯი, გამომავალი ელემენტარული მოცულობის x+dx კვეთიდან შეადგენს

$$G(x+dx) = \rho \cdot u(x+dx) \cdot S. \tag{4.2}$$

სითხის ხარჯი ელემენტარული მოცულობის მფილტრავი ფართის გავლით

$$G_{\mathscr{g}}(x) = \rho \cdot k \cdot dx \cdot 2\pi \cdot r, \tag{4.3}$$

სადაც $k = k(x,\tau)$-ფოროვანი კედლის გავლით სითხის ფილტრაციის სიჩქარის კოეფიციენტი, r- არხის რადიუსი (ფორებიან კედლიანი არხი შერჩეულია ცილინდრული), dx-ელემენტარული მოცულობის სიგრძის ელემენტი, τ-მიმდინარე დრო.

ცხადია, რომ

$$G(x+dx) - G(x) = -G_{\mathscr{g}}(x). \tag{4.4}$$

(4.1)-(4.3) (4.4)-ში ჩასმით, მივიღებთ

$$\rho \cdot u(x+dx)S - \rho \cdot u(x)S = -\rho \cdot k \cdot dx \cdot 2\pi \cdot r,$$

ან თუ გამოვიყენებთ $u(x+dx)$ გაშლას რიგად, ე.ი.

$$u(x+dx) = u(x) + \frac{du}{dx}dx,$$

თუ $S = \pi r^2$, გვექნება შემდეგი სახის დიფერენციალური განტოლება,

$$\frac{du(x)}{dx} = -\frac{2}{r}k(x,\tau), \tag{4.5}$$

ცხადი საწყისი პირობით

$$u(0)=u_0. \tag{4.6}$$

დიფერენციალური განტოლება (4.5) გავამრავლოთ dx

$$du(x) = -\frac{2}{r}k(x,\tau)dx,$$

და ვაინტეგროთ მისი მარცხენა და მარჯვენა ნაწილები

$\int_{u_0}^{u} du(x) = -\frac{2}{r}\int_0^x k(x,\tau)dx.$

მივიღებთ

$$u(x) = u_0 - \frac{2}{r}\int_0^x k(x,\tau)dx. \qquad (4.7)$$

(4.7) ფორმულა სამართლიანია იმ შემთხვევაში, თუ სუსპენზია, როგორც თხევადი ისე მყარი ფაზის მიხედვით ფორებიანი კედლის გავლით იფილტრება ერთი და იგივე სიჩქარით. თუ ფილტრაციის სიჩქარის კოეფიციენტი არის მუდმივი სიდიდე, ე.ი. $k(x,\tau) = \bar{k} = const$, მაშინ ინტეგრალი (4.7) უშვებს ანალიტიკურ გამოსახულებას და შედეგად გვაქვს

$$u(x) = u_0 - \frac{2}{r}\bar{k}x. \qquad (4.8)$$

თუ ფორებიან კედლიანი არხის სიგრძე შეადგენს $x = h_{max}$ და თუ ამ დროს მოვითხოვთ არხის სრულ ჰიდრავლიკურ დამუშავებას, ე.ი. u $(h_{max}) = 0$, მაშინ ადვილია განვსაზღვროთ ამ არხის სიგრძე

$$h_{max} = \frac{u_0 r}{2k}. \qquad (4.9)$$

თუ არ ხდება კედლის ფორების დახშობა ფილტრატის მასური ხარჯი ბალანსის განტოლების (4.4) საფუძველზე შეიძლება განვსაზღვროთ, ე.ი.

$$G_{ფ} = G_{შემ.} - G_{გან.} = \rho \cdot u_0 \pi r^2 - \rho \cdot u \pi r^2 = \rho \cdot \pi r^2 (u_0 - u). \qquad (4.10)$$

გამოსახულებაში (4.10) u ნაცვლად (4.8) გამოსახულების ჩასმით საბოლოო ფორმით ჩავწერთ

$$G_{ფ} = 2\pi\rho\bar{k}rh. \qquad (4.11)$$

ახლა დავუშვათ, რომ სითხე შეიცავს მონოდისპერსულ შეწონილ ნაწილაკებს კონცენტრაციით n, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი სახით

$$n = \frac{dN}{dV}, \qquad (4.12)$$

ე.ი. როგორც ნაწილაკების dN რაოდენობა ელემენტარულ dV მოცულობაში. კვლავ განვიხილოთ ელემენტარული მოცულობა, მაგრამ უკვე სუსპენზიის (ნახ.4.2). შევადგინოთ ელემენტარული მოცულობის სუსპენზიაში ნაწილაკების მიხედვით მატერიალური ბალანსი დიფერენციალური ფორმით:

$$\mathrm{dN}=\mathrm{d}N^{+}-dN^{-}-dN^{0}. \qquad (4.13)$$

სადაც dN- ელემენტარულ მოცულობაში ნაწილაკების რაოდენობის ცვლილება; $\mathrm{d}N^{+}$ −ელემენტარულ მოცულობაში შემავალი ნაწილაკების რაოდენობა; . dN^{-} − ნაწილაკების რაოდენობა რომლებიც ტოვებენ ელემენტარული მოცულობას; dN^{0}-დალექილი ან ფოროვან კედელში გამავალი ნაწილაკების რაოდენობა.

ელემენტარულ მოცულობაში x კვეთში dτ დროში შემავალი ნაწილაკების რაოდენობა

$$dN^{+}=u(x,\tau)n(x,\tau)\pi r^{2}d\tau. \qquad (4.14)$$

ნაწილაკების რაოდენობა, რომლებიც ტოვებენ ელემენტარულ მოცულობას x+dx კვეთით dτ დროში

$$dN^{-}=u(x+dx,\tau)n(x+dx,\tau)\pi r^{2}d\tau. \qquad (4.15)$$

ნაწილაკების რაოდენობა დალექილი ან გაფილტრული ფოროვან კედელში

$$dN^{0}=k_{0}(x,\tau)n(x,\tau)2\pi rdxd\tau, \qquad (4.16)$$

სადაც $k_{0}(x,\tau)$-ნაწილაკების დალექვის (ფილტრაციის) სიჩქარის კოეფიციენტი, რომლის სტრუქტურის ვერიფიკაცია მოხდება ქვემოდ.

(4.13) – (4.16) -დან მივიღებ

$$d=u(x,\tau)n(x,\tau)\pi r^{2}d\tau-u(x+dx,\tau)n(x+dx,\tau)\pi r^{2}d\tau-k_{0}(x,\tau)n(x,\tau)2\pi rdxd. \qquad (4.17)$$

კვლავ გამოვიყენოთ რიგად დაშლა

$$u(x+dx,\tau)\approx u(x,\tau)+\frac{\partial u(x,\tau)}{\partial x}dx,$$

$$n(x+dx,\tau) \approx n(x,\tau) + \frac{\partial n(x,\tau)}{\partial x} dx,$$

გამოსახულება (4.17) უსასრულოდ მცირეების უგულებელყოფით მიიღებს სახეს

$$dN = -u(x,\tau)\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial x} dx\pi r^2 d\tau - n(x,\tau)\frac{\partial u(x,\tau)}{\partial x} dx\pi r^2 d\tau - k_0(x,\tau)n(x,\tau)2\pi r dx \qquad (4.18)$$

(4.18) ორივე ნაწილი გავყოთ $dx \cdot \pi r^2 d\tau$და გავითვალისწინოთ (4.12), ე.ი.

$$\frac{dN}{dx\pi r^2 d\tau} = \frac{\partial n(x,\tau)}{\partial \tau},$$

მოდელის განტოლება კერძო წარმოებულებიანი პირველი გვარის დიფერენციალური განტოლების სახით იქნება

$$\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial \tau} = -u(x,\tau)\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial x} - n(x,\tau)\frac{\partial u(x,\tau)}{\partial x} - \frac{2}{r}k_0(x,\tau)n(x,\tau). \qquad (4.19)$$

ვისარგებლოთ თანაფარდობით (4.7), საიდანაც გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{\partial u(x,\tau)}{\partial x} = -\frac{2}{r}k(x,\tau). \qquad (4.20)$$

(4.7) და (4.20) (4.19)-ში ჩასმით, საბოლოოდ ჩავწერთ

$$\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial \tau} = -\left[u_0 - \frac{2}{r}\int_0^x k\,(x,\tau)\right]\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial x} + \frac{2}{r}[k(x,\tau) - k_0(x,\tau)]n(x,\tau). \qquad (4.21)$$

(4.21) გაწრფივებით კინეტიკური $\bar{k}$ და $\bar{k}_0$ კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობების გზით, მაშინ

$$\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial \tau} = -\left(u_0 - \frac{2}{k}\bar{k}x\right)\frac{\partial n(x,\tau)}{\partial x} + \frac{2}{r}\left(\bar{k} - \bar{k}_0\right)n(x,\tau). \qquad (4.22)$$

ნამდვილი სასაზღვრო პირობებით

$$n(x,0) = 0;$$

$$n(0,\tau) = n_0.$$

სისტემა (4.22) – (4.24) რომ გავხადოთ უგანზომილებო შევირჩიოთ რეპერული მასშტაბები: შენაწონების კონცენტრაცია არხში შესვლის დროს n_0; არხის სიგრძე h ; სუსპენზიის სიჩქარე არხის შესასვლელში u_0, მაშინ უგანზომილებო დამოკიდებულებებში

$$X = {x}/{h},\ \Theta = {u_0\tau}/{h}$$

და დამოუკიდებელი

$$N(X,\Theta) = n(x,\tau)/n_0$$

მათემატიკური მოდელი ასეთია

$$\frac{dN(X,\Theta)}{d\Theta} = (1 - AX)\frac{dN(X,\Theta)}{dX} + (A - A_0)N(X,\Theta), \tag{4.23}$$

$$N(X,0) = 0, \tag{4.24}$$

$$N(0,\Theta) = 1, \tag{4.25}$$

სადაც $A = 2\frac{\bar{k}}{r}\frac{h}{u_0}; A_0 = 2\frac{\bar{k}_0}{r}\frac{h}{u_0}$.

4.3. მოდელის განტოლებების ამოხსნა და ანალიზი

იმის გამო, რომ (4.23)-(4.25) სისტემა ხასიათდება, როგორც წრფივი, ამიტომ მისი ამოხსნისთვის ვსარგებლობთ წრფივი ინტეგრალური გარდაქმნის მეთოდით. გამოვიყენებთ ლაპლასის გარდაქმნას Θ ცვლადით, მაშინ გამოსახულება (4.23)-(4.25) არის:

$$\frac{dN_L(X\cdot s)}{dX} = \left(\frac{-s+A-A_0}{1-AX}\right)N_L(X\cdot s); \tag{4.26}$$

$$N_L(O\cdot s) = \frac{1}{s}, \tag{4.27}$$

სადაც s, N_L - გამოსახულებები Θ და $N(X,\Theta)$.

კოშის ამოცანა (4.26), (4,27) აქვს ცხადი ანალიზური ამოხსნა განტოლებისთვის განცალებული ცვლადებით

$$\frac{dN_L(X\cdot s)}{N_L(X\cdot s)} = \left(\frac{-s+A-A_0}{1-AX}\right)dX,$$

რომლის ინტეგრების შემდეგ

$$\int\limits_{1/s}^{N_L(X\cdot s)} \frac{dN_L(X\cdot s)}{N_L(X\cdot s)} = \int\limits_{0}^{x} \left(\frac{-s+A-A_0}{1-AX}\right)dX.$$

მივიღებთ

$$lnN_L(X\cdot s)\Big|_{1/s}^{N_L(X\cdot s)} = \frac{1}{A}(-s+A-A_0)ln(1-AX)^{-1}\Big|_0^x.$$

ან შემდეგ ნიუტონ-ლეიბნიცის ფორმულის გამოყენებით და ექსპონირების ოპერაციის გამოყენებით ამოხსნა გამოსახულებებში ჩაიწერება

$$N_L(X\cdot s) = exp\left[\left(1-\frac{A_0}{A}\right)ln(1-AX)^{-1}\right]\left\{\frac{1}{s}exp\left[-\frac{ln(1-AX)^{-1}}{A}s\right]\right\}, \qquad (4.28)$$

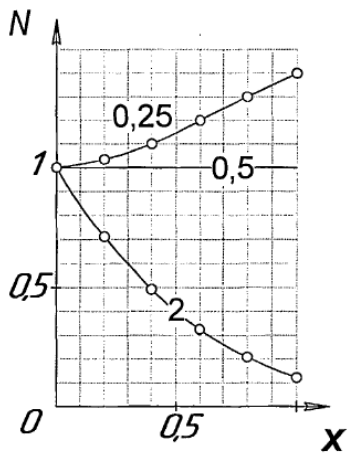
ორიგინალზე (4.28) გადასვლა გვაძლევს საწყისი სისტემის (4.26) და (4.27) ამოხსნას სახით:

$$N(X\cdot\Theta) = 1\left[\Theta-\frac{ln(1-AX)^{-1}}{A}\right]exp\left[\left(1-\frac{A_0}{A}\right)ln(1-AX)^{-1}\right], \qquad (4.29)$$

სადაც $1[\ldots]$ –ხევისაიდის ფუნქცია.

თუ განვიხილავთ გაწმენდის დამყარებულ რეჟიმს, ე.ი.

$\Theta > \frac{ln(1-AX)^{-1}}{A}$,



ნახ. 4.3. არხში მონოდისპერსული შენაწონების კონცენტრაციის პროფილი

მაშინ შემთხვევა $A_0 < A$ შეესაბამება სიტუაციას, როცა არხის ფოროვან კედლებში თხევადი ფაზის გასვლის სიჩქარე ინტენსიურია დალექვის პროცესზე და მყარი ნაწილაკების გასვლის პროცესზე. როცა $A_0 = A$ სუსპენზია ტრანსპორტირდება არხში მასაგაცემის პროცესის გარეშე. თუ $A_0 > A$, მაშინ დალექვის სიჩქარე ინტენსიურია სითხის ფილტრაციის სიჩქარეზე.

მიღებული შედეგები ხარისხობრივად უჭერს მხარს მათემატიკური მოდელის ადეკვატურობას.

განვიხილოთ ფილტრატის ფილტრაციის კოეფიციენტის $\bar{k}$ იდენტიფიკაციის საკითხი. ცნობილია, რომ ფილტრაციის თეორიაში შემავალი ძირითადი გასაშვალოებული მაჩვენებლებია ფილტრაციის სიჩქარე და წნევა. ორივე ეს სიდიდე განისაზრვრებიან თითეულ წერტილში როგორც საშუალო მნიშვნელობა ელემენტარულ მოცულობაში, რომელიც გარს არტყია მას. წნევა P მიიღება გასაშუალოებულად მოცულობის ნაწილში, რომელიც დაკავებულია სითხით, ხოლო სიჩქარე $\bar{k}$ გასაშუალოებულად არის მთელ მოცულობაში (მყარი ნაწილაკების შიგნით სიჩქარე აიღება ნულის ტოლი). ფილტრაციის თანამედროვე თეორიას საფუძვლად უდევს დარსის ფილტრაციის ემპირიული კანონი [41,56,63].

$$\bar{k} = -c grad\, P, \qquad (4.30)$$

სადაც $c = (\mu r_0)^{-1}$ -ფოროვანი არის თვისებებზე დამოკიდებული ფილტრაციის კოეფიციენტი; μ- სითხის სიბლანტე, პა.წმ; r_0 - ნალექის ფენისა და მემბრანის კუთრი წინააღმდეგობა, მ$^{-2}$.

თუ მემბრანის გავლით ფილტრატის დინება შეესაბამება ლამინარულ რეჟიმს, ხოლო თვით მემბრანა მასზე მოთავსებულ ნალექთან ერთად არის უკუმშვადი, შეიძლება მივიღოთ $c = const$, მაშინ

$$div\bar{k} = 0, \qquad (4.31)$$

(4.30) და (4.31)-დან გამოდის განტოლება წნევისათვის, რადგანაც divgrad=∇^2

$$\frac{d^2P}{dz^2} = 0, \qquad (4.32)$$

სადაც z-ნაკადის განივი კოორდინატა.

(4.2) ამოხსნა

$$P(z) = \frac{P_1 - P_2}{h_0 + \frac{R_n}{r_0}} z + \frac{\frac{R_n}{r_0} P_1 + h_0 P_2}{h_0 + \frac{R_n}{r_0}}, \qquad (4.33)$$

სადაც P_1 და P_2 -შესაბამისად სუსპენზიის და მემბრანის შემდეგ წნევა, მ; R_n - მემბრანის წინააღმდეგობა, მ$^{-1}$.

(4.33) z-ით გადიფერენცირებით, ვიპოვით

$$\overline{k} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 h_0 + R_n)}. \qquad (4.34)$$

მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ ჩვენ შემთხვევაში $\Delta P = const. r_0$ გაანგარიშებისათვის ვისარგებლოთ კოზენი-კარმანას ფორმულით

$$r_1 = \frac{k_1 S_0^2 (1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}, \qquad (4.35)$$

სადაც k_1 -კოზენის მუდმივა ($k_1 = 5$); S_0 - მყარი ნაწილაკების კუთრი ფართი, მ$^{-1}$; ε- ფენის ფორიანობა; და r_2- მემბრანის წინააღმდეგობა.

მაშინ

$$r_0 = r_1 + r_2. \qquad (4.36)$$

k_0 განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ ნაწილაკების დალექვის მიგრაციულ-გრავიტაციული მექანიზმით. მახასიათებელი ნიშნებით, $k \to 1$ ზომები 1 მკმ ფარგლებში განსახილველი სუსპენზია მიეკუთვნება აეროზოლების კლასს. ამასთან დაკავშირებით ცხადად გვეჩვენება, რომ არხში ფილტრატის ტურბულენტური მოძრაობის დროს, სივრცითი ორიენტაცია არ არის არსებითი, ხოლო ნაწილაკების მიგრაციული დალექვის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება მის სედიმენტაციას სტოქსის მიხედვით, ამიტომ პირველი მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ ემპირიული ფორმულა მიგრაციული დალექვის სიჩქარის კოეფიციენტისათვის ვერტიკალურ არხებში [41,56]:

$$k_0 = \begin{cases} 7{,}25 \cdot 10^4 u \left[\frac{\tau_p \cdot u}{\nu(1+\omega_E \cdot \tau_p)}\right] & \text{როცა} - \frac{\overline{\mu_p^2} \cdot u^2}{\nu} \leq 16{,}6 \\ 0{,}2u & \text{როცა} - \frac{\overline{\mu_p^2} \cdot u^2}{\nu} \geq 16{,}6 \end{cases}, \qquad (4.37)$$

სადაც $\omega_E = {}^{u}/_{(0,1r)}$ $\tau_p = \frac{1}{18}\frac{(\rho_T - \rho)}{\nu\rho} l^2$; ρ_T –შენაწონების სიმკვრივე,კგ/მ^3;

ρ,ν-მატარი არის სიმკვრივე და კინემატიკური სიბლანტე, კგ/მ^3, მ^2/წმ;

$\bar{\mu}_p^2 = {}^{1}/_{(1 + \omega_E \tau_p)}$.

4.4. მოდელის განვრცობა პოლიდისპერსიულ შემთხვევაზე

ყველაზე პირველად გავარკვიოთ შეწონილი ნაწილაკების ზომების განაწილების სიმკვრივის ფუნქციის ხასიათი. გაუფილტრავ ლუდში მიკროორგანიზმების უჯრედების მახასიათებელი ჰისტოგრამა წარმოდგენილია ნახ. 2.6.

მისი სტრუქტურიდან ჩანს, რომ სიმკვრივის ფუნქცია ახლოს უნდა იყოს ნორმალურ (გაუსის) განაწილებასთან. გამოვთვალოთ მომენტები:

მათემატიკური მოლოდინი

$m_l = \sum_i p_i l_i = 0{,}0075.1 + 0{,}05.3{,}7 + 0{,}07.5{,}5 + 0{,}4.7 + 0{,}45.9 + 0{,}02.12 + 0{,}00025.25 = 7{,}73$ მკმ;

დისპერსია

$\sigma^2 = \sum_i p_i (m_i - l_i)^2$=0,0075(7,73-1)^2+0,05(7,73-3,7)^2+0,07(7,73-5,5)^2+0,4(7,73-7)^2+0,45(7,73-9)^2+0,02(7,73-12)^2+0,0025(7,73-25)^2=3,55

ნორმალური კანონის საერთო ხედის გათვალისწინებით, მივიღებთ შეწონილი ნაწილაკების ზომის მიხედვით განაწილების სიმკვრივის ფუნქციას შემდეგი სახით:

$$f_0(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{l-\bar{l}}{\sigma}\right)^2\right], \qquad (4.38)$$

სადაც $\bar{l} = m_l = 7{,}73;\ \sigma = 1{,}884.$

ვიდრე გადავალთ პოლიდისპერსულ შემთხვევაზე გავრცობაზე, აუცილებელია დავაზუსტოთ $\bar{k}$ დამოკიდებულება l-ზე პრუტოვცკის ფორმულის მიხედვით

$$r_1 = \frac{k_1(1-\varepsilon)^{\alpha_1}\left(\sigma^2\right)^{\alpha_2}}{\bar{l}^{\alpha_3}\varepsilon^{\alpha_4}}, \qquad (3.39)$$

სადაც $0 \le \alpha_1 \le 4{,}5;\ 0 \le \alpha_2 \le 1; 0 \le \alpha_3 \le 2; 0 \le \alpha_4 \le 4.$

ამოხსნის (4.39) განზოგადება შეიძლება მივიღოთ კონცენტრაციული ველების სუპერპოზიციით. ფრაქციისათვის ნაწილაკების ზომებით l-დან $l + \Delta l$-მდე ჩავწერთ

$$\Delta n(l, x, \tau) = \Delta n_0(l) N(l, x, \tau) \qquad (4.40)$$

(4.40) ორივე ნაწილის Δl-ზე გაყოფით და ზღვარზე გადასვლით, როცა$\Delta l \to 0$, მივიღებთ

$$f(l, x, \tau) = f_0(l) N(l, x, \tau), \qquad (4.41)$$

ხოლო თუ შევიყვანთ უგანზომილებო ცვლადებს $L = {}^{l}/_{\bar{l}}; F_0(L) = \frac{\bar{l} f_0(l)}{n_0}; F(L, X, \Theta) = \bar{l} f(l, x, \tau)/n_0$ საბოლოოდ მივიღებთ გამოსახულებას სიმკვრივის უგანზომილებო ფუნქციისათვის

$$F(L, X, \Theta) = F_0(L) 1\left\{\Theta - \frac{\ln[1-\mathrm{A(L)X}]^{-1}}{A^{-1}(L)}\right\} exp\left\{\left[1 - \frac{A_0(L)}{A(L)}\right] ln[1 - A(L)X]^{-1}\right\}.$$

თუ

$$\Theta > \frac{ln[1-A(L_{max})X]^{-1}}{A(L_{max})},$$

სადაც L_{max} – ნაწილაკების მაქსიმალური მნიშვნელობის უგანზომილებო მნიშვნელობა, მაშინ ამოცანის ამონახსნი მნიშვნელოვნად მარტივდება

$$F(L, X) = F_0(L) exp\left\{\left[1 - \frac{A_0(L)}{A(L)}\right] ln[1 - A(L)X]^{-1}\right\}. \qquad (4.42)$$

(4.42) - დან ადვილად შეიძლება მივიღოთ ფილტრიდან გამოსასვლელში მინარევების ფარდობითი მასური კონცენტრაციის გამოსახულება

$$M(X_{max}) = \frac{m(x_{max})}{m_0} = \int_0^\infty L^3 F(LX_{max})dL, \qquad (4.43)$$

სადაც $m_0 = k_\nu \rho_T \bar{l}^3 n_0$ - შესასვლელში ფილტრატში ნაწილაკების მასური კონცენტრაცია; k_ν −ნაწილაკების ფორმის კოეფიციენტი; და შევადაროთ მიღებული თეორიული შედეგები არსებულ ექსპერიმენტალურებს.

შევეცადოთ დავამუშაოთ ალგორითმი (შემდეგ კი საინჟინრო მეთოდიკა).

უპირველეს ყოვლისა, განვსაზღვროთ საწყისი მონაცემების მასივი:

ვითვლით ნაკადის პულსაციურ ხასიათს

$\omega_E = {}^{u}/_{(0,1 \cdot r)}$,

სადაც u, მ/წმ - მფილტრავ არხში მუშა არის სიჩქარე, u=2,4 მ/წმ;

r, მ-მფილტრავი არხის რადიუსი, r=3· 10^{-3}მ.

გამოვთვლით შეწონილი ნაწილაკების ფრაქციული ზომის რელაქსაციურ მახასიათებელს

$$\tau_p = \frac{1}{18}\frac{(\rho_T - \rho)}{\nu\rho} l^2,$$

სადაც ρ_T, კგ/მ³-შეწონილი ნაწილაკების სიმკვრივე;

ρ, კგ/მ³-მუშა არის სიმკვრივე;

ν, მ²/წმ - მატარი არის კინემატიკური სიბლანტე;

l, მ - შეწონილი ნაწილაკების ფრაქციული ზომა;

ვითვლით სიბლანტის მაჩვენებელს

$$\bar{\mu}_p^2 = {}^{1}/_{(1 + \omega_E \tau_p)}.$$

გამოვთვალოთ შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის კოეფიციენტი

$$k_0 = \begin{cases} 7{,}25 \cdot 10^4 u \left[\dfrac{\tau_p \cdot u}{\nu\left(1 + \omega_E \cdot \tau_p\right)}\right] & \text{როცა} - \dfrac{\overline{\mu_p^2} \cdot u^2}{\nu} \leq 16{,}6 \\ 0{,}2u & \text{როცა} - \dfrac{\overline{\mu_p^2} \cdot u^2}{\nu} \geq 16{,}6 \end{cases},$$

სადაც $P_1 = 0{,}135$ მპა - წნევა არხში; $P_2 = 0{,}05$ მპა - წნევა მემბრანის შემდეგ; R_n, მ$^{-1}$ - მემბრანის წინაღობა; $\mu = \rho\nu$,პა.წმ - არის დინამიური სიბლანტე; r_2,მ$^{-2}$- მემბრანის პასპორტული წინაღობა; ε ≈ 0,4-მემბრანაზე ნალექის ფორიანობა; $\bar{l}$ = 7,73.10^{-6} მ-შეწონილი ნაწილაკის საშუალო ზომა; σ = 1,884.10^{-6}მ -ნაწილაკის საშუალო ზომიდან საშუალო კვადრატული გადახრა;

კოეფიციენტების შერჩევა დიაპაზონებიდან

$$0 \leq \alpha_1 \leq 4{,}5;\ 0 \leq \alpha_2 \leq 1; 0 \leq \alpha_3 \leq 2; 0 \leq \alpha_4 \leq 4.$$

$k_1 = 5$-კოზენის მუდმივა

ვანგარიშობთ მემბრანაზე ნალექის ფენის წინააღმდეგობას

$$r_1 = \frac{k_1(1-\varepsilon)^{\alpha_1}\left(\sigma^2\right)^{\alpha_2}}{\bar{l}^{\alpha_3}\varepsilon^{\alpha_4}}.$$

ვითვლით ნალექის ფენისა და მემბრანის ჯამურ წინააღმდეგობას

$$r_0 = r_1 + r_2.$$

ვითვლით ფილტრაციის სიჩქარეს

$$\overline{k} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 h_0 + R_n)}.$$

ვითვლით ფილტრაციის და დალექვის სიჩქარეების ფარდობით მნიშვნელობებს

$$A = 2\frac{\bar{k}}{r}\frac{h}{u_0},\ A_0 = 2\frac{\bar{k}_0}{r}\frac{h}{u_0}.$$

რამოდენიმე სიტყვა ნაწილაკების ზომების მიხედვით განაწილების სიმკვრივის საწყისი ფუნქციის გაზომვაზე. (4.38) ფორმულის თანახმად გვაქვს

$$f_0(l) = \frac{dN}{dl}. \qquad (4.44)$$

გადავიანგარიშოთ $f_0(l)$, ჩავთვალოთ ის ერთეულ მოცულობაზე დაყვანილად, მაშინ

$$f_0(l) = \frac{dn}{dl}. \qquad (4.45)$$

ეს სხვა სიტყვებით აღნიშნავს, რომ თანაფარდობიდან (4.44) თანაფარდობაზე (4.45) პრაქტიკულად გადასასვლელად (4.44) უნდა გავყოთ n_0–ზე (არხის შესასვლელში ერთეულ მოცულობაში შეწონილი ნაწილაკების დათვლილი კონცენტრაცია). ამიტომ

$$F_0(L) = \frac{\bar{l}}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{L-1}{\sigma/\bar{l}}\right)^2\right]$$

ან

$$\frac{\bar{l}}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{7{,}73}{1{,}884\sqrt{2\pi}} = 1{,}637,$$

$$\frac{1}{2\left(\sigma/\bar{l}\right)^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{\bar{l}}{\sigma}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{7{,}73}{1{,}884}\right)^2 = 8{,}417.$$

მაშასადამე

$$F_0(L) = 1{,}637 exp[-8{,}417(L-1)^2].$$

რადგანაც $\rho_T \approx \rho$, მაშინ $\tau_p = 0$, ხოლო $\bar{\mu}_p^2$=1. თუ გავითვალისწინებთ აგრეთვე, რომ μ~10^{-1}, თანაფარდობა $\bar{\mu}_p^2 u^2/\nu > 16{,}6$ შესრულდება შეგნებულად.

ამიტომ

$$\frac{A^0(L)}{A(L)} = \frac{\bar{k}_0}{\bar{k}} = const \text{ და} A(L) = const,$$

მაშინ როცა $X_{max} = 1$

$$M(l) = exp\left[\left(1 - \frac{\bar{k}_0}{\bar{k}}\right) \cdot ln(1-A)^{-1}\right] \times 1{,}637 \int_0^\infty L^3 exp[-8{,}417(L-1)^2]\, dL.$$

ინტეგრალის მნიშვნელობა

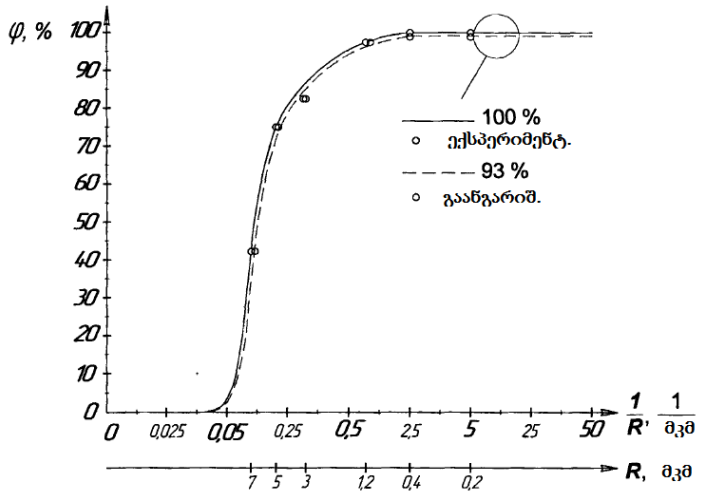
$\int_0^\infty L^3 exp[-8{,}417(L-1)^2]\, dL$=0,72.

ამიტომ საბოლოო სახით ჩავწერთ

$$M(l) = 1{,}179exp\left[\left(1 - \frac{\bar{k}_0}{\bar{k}}\right) ln(1 - A)^{-1}\right] =$$

$$= 1{,}179exp\left[ln(1 - A)^{-\left(1-\frac{\bar{k}_0}{\bar{k}}\right)}\right] = 1{,}179(1 - A)^{-\left(1-\frac{\bar{k}_0}{\bar{k}}\right)},$$

სადაც $\bar{k} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 h_0 + R_n)}$.



ნახ.4.4. სელექციურობის დამოკიდებულება მემბრანის ფორების ზომებზე: გაანგარიშებით და ექსპერიმენტალურად მიღებული მრუდების შედარებითი ანალიზი

გაანგარიშებით და ექსპერიმენტალურად მიღებული მრუდების შედარებითი ანალიზი საშვალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნა მოდელის ადეკვატურობაზე (ნახ.4.4).

დასკვნები თავის მიხედვით

დამუშავებულია მილისებრ არხში სუსპენზიის ფილტრაციის მატემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დიდი სიზუსტით განვსაზღვროთ მემბრანის სელექციურობა პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე (მუშა წნევა, მემბრანის ზედაპირზე ნაკადის ტანგენციალური სიჩქარე, ტემპერატურის), მემბრანის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე, ფილტრაციის ობიექტის რეოლოგიურ და მიკრობიოლოგიურ თვისებებზე, დისპერსული ფაზის ზომებზე და კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით.

თავი 5. კვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენება

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის, დამუშავებული მათემატიკური მოდელის საფუძველზე დამუშავებულია და შემოთავაზებულია ლუდის ბიოლოგიური სტაბილიზაციის ხერხი და ლუდის გაკრიალების წარმართვისათვის მემბრანული მოწყობილობის ორიგინალური კონსტრუქცია, რომელთა განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს რესურ და ენერგო დაზოგვა, კონცენტრაციული პოლარიზაციასთან ბრძოლის ეფექტური ხერხების გამოყენება, მეორადი რესურსების უტილიზაცია, მზა პროდუქტის ხარისხის ამაღლება.

5.1. ლუდის გაკრიალების ხაზის უბნის დამუშავება

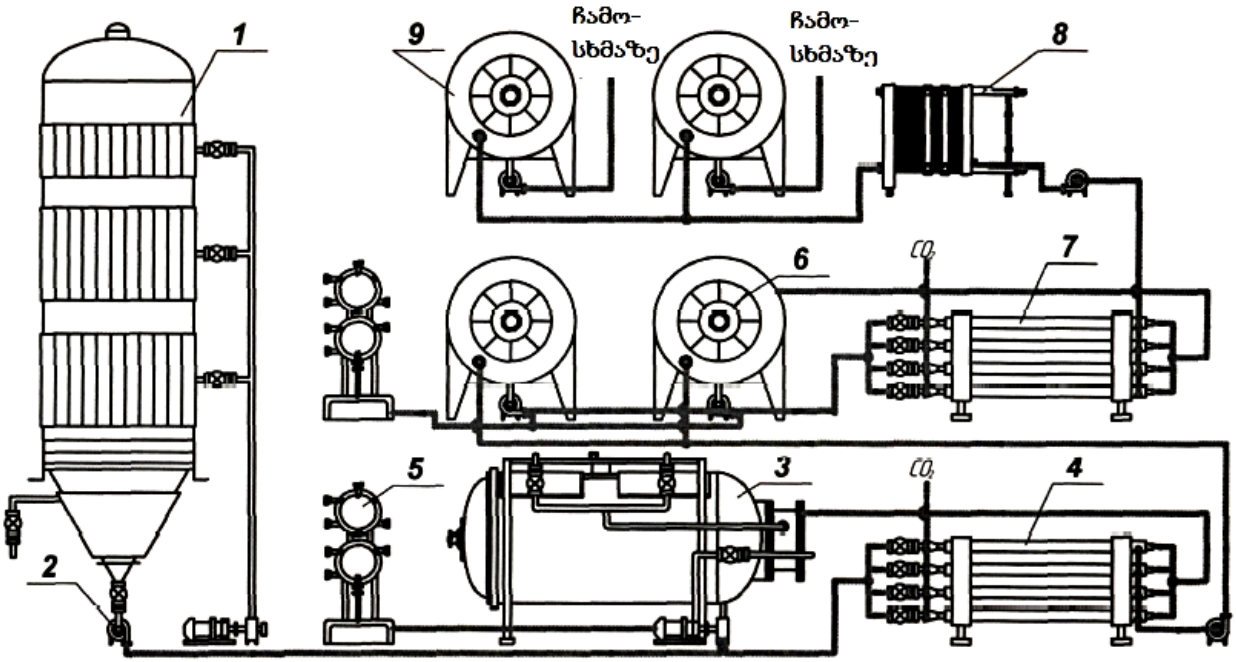
დამუშავებული სამუშაოს ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს პროდუქტის სტერილურობის ამაღლება, მატერიალური დანახარჯების შემცირება დამხმარე მასალების სახით კიზელგურისა და დიატომიტის გამოყენებაზე უარის თქმით და ამის შედეგად ნარჩენების ლიკვიდაციასთან და ფილტრელემენტების რეგენერაციასთან დაკავშირებული დანახარჯების შემცირება.

დასმული ამოცანა მიიღწევა იმით, რომ გაზით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციის დანადგარზე, რომელიც შეიცავს ბუფერული ჭურჭლს, მიმწოდებელ ტუმბოს, წინასწარი გაკრიალების ფილტრს, საცირკულაციო ტუმბოს, თბომცვლელს, მემბრანულ ფილტრს დახვეწილი ფილტრაციისათვის, საცირკულაციო მილგაყვანილობას და მილგაყვანილობას ფილტრატის გამოსაყვანად, სიახლე არის ის, რომ მასში წინასწარი გაკრიალების ფილტრად გამოიყენება მემბრანული ფილტრი ფორის ზომებით 5...6 მკმ, ხოლო მემბრანულ ფილტრში დახვეწილი ფილტრაციისათვის გამოიყენება მემბრანები 0,3...0,5 მკმ ფორის ზომებით.

ტექნიკური შედეგი არის მზა პროდუქტის სტერილურობის ამაღლება, მატერიალური დანახარჯების შემცირება დამხმარე მასალების გამოყენებაზე უარის თქმის ხარჯზე.

ნახ.5.1 წარმოდგენილია ლუდის მემბრანული ფილტრაციის დანადგარის სქემა. იგი შეიცავს სადუღარი ცილინდრული ტანკი 1; ტუმბო 2; ბუფერული მოცულობა ლუდის კონცენტრატისათვის 3; მემბრანული ფილტრი წინასწარი გაკრიალებისთვის 4; ფორის ზომებით 5...6 მკმ; მემბრანული აპარატი ლუდის რეკუპერაციისათვის 5; ბუფერული ჭურჭელი ფილტრატისათვის 6; მემბრანული ფილტრი დახვეწილი ფილტრაციისათვის 7

ფორის ზომებით 0,3...0,5 მკმ; ფირფიტებიანი თბომცვლელი 8; ჭურჭლები გაფილტრული ლუდისათვის 9.



ნახ. 5.1. ლუდის გაკრიალების უბნის ტექნოლოგიური სქემა:

1- ტანკი, 2-ცენტრიდანული ტუმბო, 3,6,9 - ბუფერული ჭურჭელი, 4-მემბრანული ფილტრი ლუდის წინასწარი გაკრიალებისთვის, 5-მემბრანული აპარატი ჭარბი საფუვრების რეკუპერაციისათვის, 7 - მემბრანული ფილტრი ლუდის გამაუსნებოვნებელი ფილტრაციისათვის, 8 - ფირფიტებიანი გამაცივებელი.

დანადგარის მუშაობა ხდება შემდეგი სახით. ლუდი სადუღარი ცილინდრული ტანკიდან 1 ტუმბოთი 2 მიეწოდება ბუფერულ ჭურჭელში 3 და შემდეგ წინასწარი გაკრიალების მემბრანულ ფილტრს 4, სადაც იყოფა ფილტრატად და კონცენტრატად. კონცენტრატი ბრუნდება უკან ჭურჭელში 3, ხოლო ფილტრატი მიეწოდება ბუფერულ ჭურჭელში 6. როცა საფუარის უჯრედების კონცენტრაცია აღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას, ფილტრაციის პროცესი სრულდება და პროდუქტი ხვდება ლუდის რეკუპერაციაზე მემბრანულ აპარატში 5. განთავისუფლებული საფუარის უჯრედების მსხვილი ნაწილაკებისგან წინასწარ გაკრიალებული ლუდი შუალედური ჭურჭლიდან 6 მიეწოდება მემბრანულ ფილტრში 7 დახვეწილი ფილტრაციისათვის, სადაც ფილტრაციის პროცესი მეორდება ანალოგიური სახით, როგორც წინასწარი

გაკრიალების ფილტრში 4, მაგრამ მემბრანებზე ფორების უფრო მცირე დიამეტრით 0,3...0,5 მკმ. გაკრიალებული ლუდი ცივდება ფირფიტებიან თბომცვლელზე 8 ჩამოსხმის ტემპერატურამდე 2...4°C და მიეწოდება სერვისულ ჭურჭლებში 9 გაფილტრული ლუდისათვის.

გაზისშემცველი თხევადი პროდუქტების ფილტრაციის შემოთავაზებული დანადგარის უპირატესობა მდგომარეობს შემდეგში:

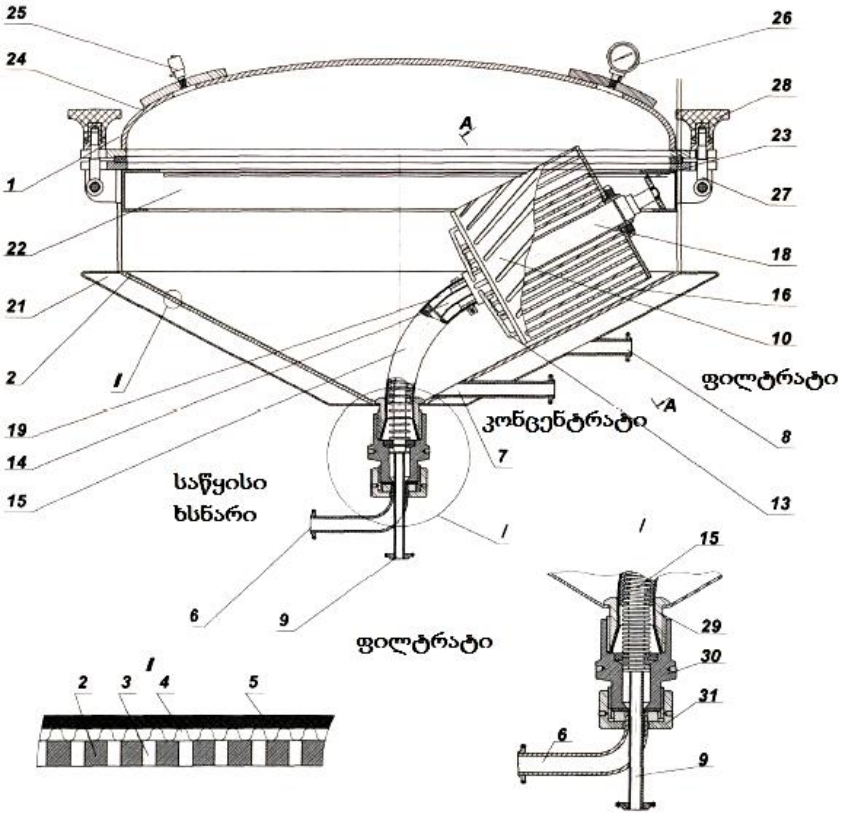
- წინასწარი გაკრიალების ფილტრად მემბრანული აპარატის გამოყენება უზრუნველყოფს პროდუქტის სტერილურობის ამაღლებას, მატერიალური დანახარჯების შემცირებას დამხმარე მასალებზე (კიზელგური, დიატომიტი) უარის თქმის გზით და ამის შედეგად დანახარჯების შემცირება დაკავშირებული ნარჩენების უტილიზაციასთან და ფილტრელემენტების რეგენერაციის პრობლემებთან, აგრეთვე სამსახური ვადის, ფილტრაციის ეფექტურობის და სიჩქარის გაზრდა, რაც საშუალებას გვაძლევს უფრო ხარისხიანად მოვაცილოთ უხეში ნაწილაკები წინასწარი გაკრიალების ეტაპზე, და უზრუნველყოთ ფილტრების სტაბილური მუშაობა შემდგომ დახვეწილ ფილტრაციაზე.

- მემბრანების ფორის ზომით 5...6მკმ გამოყენება წინასწარი გაკრიალების მემბრანულ ფილტრზე, ხოლო მემბრანების ფორის ზომით 0,3...0,5 მკმ დახვეწილი გაკრიალების ფილტრებზე გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ გაზით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციის დანადგარების მწარმოებლობა და მიღებული პროდუქტის ხარისხი გავხადოთ სტაბილური.

5.2. ლუდის მიკროფილტრაციისათვის მოწყობილობების დამუშავება

5.2.1. მემბრანული აპარატი ჩასაყვინთი, გასაყოფი ნაკადის მოქმედებით მბრუნავი მფილტრავი ელემენტით.

დამუშავების ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს აპარატის მწარმოებლობის გაზრდა კონცენტრაციული პოლარიზაციის შემცირების გზით პროცესის მამოძრავებელი ძალის შესაქმნელად გასაყოფი ნაკადის კინეტიკური ენერგიის გამოყენება ენერგიის ეკონომიის მიზნით.



ნახ. 5.2. მემბრანული აპარატი გასაყოფი ნაკადის საშუალებით მბრუნავი, ჩაძირული მფილტრავი ელემენტებით:

1-გარსაცმი, 2-ფსკერი, 3-პერფორაცია, 4-დრენაჟი, 5-მემბრანა, 6-შემავალი მილყელი, 7-კონცენტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 8,9-ფილტრატის გამოსასვლელი მილყელები, 10-ღრუ მფილტრავი ელემენტი, 13-კოლექტორის მილაკები, 14-ცენტრალური სიღრუე, 15-არმირებული დრეკადი შლანგი, 16-გარსაცმი, 18-ღრუ ლილვი, 19- პერფორირებული სიღრუე, 21-ფილტრატის შემკრები, 22-მიმართველი, 23-გორგოლაჭი, 24-სახურავი, 25-დამცავი სარქველი, 26-მანომეტრი, 27-მომჭიმი ჭანჭიკი, 28-მქნევარა, 29-მაფიქსირებელი ქანჩი, 30,31-მიმჭერი ქანჩები

დასმული ამოცანა მიიღწევა, იმით, რომ მემბრანულ აპარატში ჩაძირული მფილტრავი ელემენტით, გასაყოფი ნაკადის მოქმედებით მბრუნავი, კორპუსში შემავალი, ცილინდრული გარსაცმისაგან შემდგარი, კონუსურძირიანი პერფორირებული, სადრენაჟო მასალით დაფარული, რომელზედაც დატანილია ნახევრდგამტარი მემბრანა, შემავალი და გამომავალი მილყელები, ღრუ მფილტრავი ელემენტი, დაფარული სადრენაჟე მასალით, მასზე დატანილი ნახევრდგაღწევადი მემბრანით, დაყენებულია კორპუსის კონუსური პერფორირებული ფსკერის

მსახველის პარალელურად ბრუნვის შესაძლებლობით და არმირებული დრეკადი შლანგით, რომელიც ერთი მხრივ შეერთებულია უძრავად მფილტრავი ელემენტის ღრუ ლილვს, ხოლო სხვებით ფილტრატის გამოსაყვან და საწყისი ხსნარის მისაწოდებელ მილყელებთან. სიახლე არის ის, რომ კორპუსის ცილინდრული გარსაცმის პერიმეტრზე გვაქვს მიმართველი, რომელიც კონტაქტშია გორგოლაჭთან. იგი დაყენებულია მფილტრავი ელემენტის ღრუ ლილვზე, რომელიც შესრულებულია სპირალის სახით, მისი სიღრუე თანმიმდევრობით შეერთებულია კოლექტორის მილაკებთან არმირებული მოქნილი შლანგით და ფილტრატის გამომყვანი მილაკით, ამ დროს მფილტრავი ელემენტი ჩასმულია გარსაცმში, რომელსაც აქვს ტანგენციალურად განლაგებული ნახვრეტები.

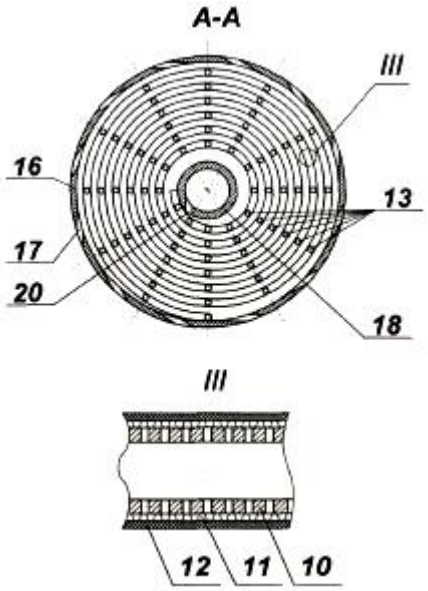
ტექნიკური შედეგი მდგომარეობს იმაში, რომ კონცენტრატის ტანგენციალური გამოსვლა საშუალებას გვაძლევს გაზარდოთ აპარატის მწარმოებლობა პროდუქტის ჭავლებით მემბრანის ზედაპირების რეცხვით და მცირდება ენერგოდანახარჯები მექანიკური ამძრავის არქონის გამო.

ნახ.5.2 წარმოდგენილია მემბრანული აპარატი გასაყოფი ნაკადის საშუალებით მბრუნავი, ჩაძირული მფილტრავი ელემენტებით: I - გადიდებული გამოტანილი ფრაგმენტი მემბრანული აპარატის კორპუსის დამაგრების კვანძის არმირებულ დრეკად შლანგთან და მისი შეერთება საწყისი ხსნარის მიმწოდებელ და ფილტრატის გამომყვან მილყელებთან, II - გადიდებული გამოტანილი პერფორირებული ფსკერის ფრაგმენტი სადრენაჟო მასალით დაფარული და მასზე დატანილი მემბრანით, ნახ. 5.3 -მოცემულია მფილტრავი ელემენტის A-A ჭრა, III-გადიდებული გამოტანილი ფრაგმენტი ღრუ მფილტრავი ელემენტის სპირალის სახით, დაფარული სადრენაჟე მასალით, რომელზეც დატანილია ნახევრადგაღწევადი მემბრანა, ხოლო ნახ. 5.4 - მფილტრავი ელემენტის მუშაობის სქემა.

მემბრანულ აპარატს (ნახ.5.2) აქვს კორპუსი, რომელიც შესდგება ცილინდრული გარსაცმისაგან 1, კონუსისმაგვარი ფსკერისაგან 2 პერფორაციით 3, დაფარული სადრენაჟე მასალით 4. და მასზე დატანილია მემბრანა 5, შემავალი 6 და გამომავალი 7,8 და 9 მილყელებისაგან, ღრუტანიანი მფილტრავი ელემენტისგან 10 (ნახ. 5.3) სპირალის სახით, დაფარული სადრენაჟე მასალით 11 და მასზე დატანილი

ნახევარგაღწევადი მემბრანით 12 და კონუსის მაგვარი პერფორირებული ფსკერის მსახველის პარალელურედ დაყენებული კორპუსი.

მფილტრავი ელემენტის სპირალის სიღრუე 10 თანმიმდევრობით უერთდება კოლექტორის 13 მილაკებს ცენტრალური სიღრუით 14 არმირებული დრეკადი შლანგით 15 და ფილტრატის გამყვანი მილყელით 9, მფილტრავი ელემენტი ჩასმულია გარსაცმში 16, რომელსაც აქვს ტანგენციალურად განლაგებული ნახვრეტები 17.



ნახ. 5.3.მფილტრავი ელემენტის ჭრილი:

10-ღრუ მფილტრავი ელემენტი, 11-დრენაჟი, 12-მემბრანა, 13-კოლექტორის მილაკები, 16-ხუფი, 17-ტანგენციალურად განლაგებული ნახვრეტები, 18-ღრუ ლილვი, 20-ტანგენციალური ნახვრეტი

ამას გარდა არმირებული დრეკადი შლანგი 15 შეერთებულია უძრავად ერთი მხრიდან მფილტრავი ელემენტის 10 ღრუ ლილვთან 18, ხოლო სხვა მხრიდან ფილტრატის გამომყვან 9 და საწყისი ხსნარის მიმწოდებელ 6 მილყელებთან.

თან ღრუ ლილვი 18 შეერთებულია პერფორირებულ სიღრუესთან 19 და აქვს ტანგენციალური ნახვრეტები 20 საწყისი ხსნარის მისაწოდებლად მფილტრავი ელემენტის 10 მემბრანებს შორის არხში.

ფილტრატის, რომელიც გაივლის კონუსისმაგვარ პერფორირებულ ფსკერზე 2 მოთავსებულ მემბრანაში 5 დროული გამოყვანის უზრუნველსაყოფად დანიშნულია შემკრები 21 მილყელით 8.

კორპუსის ცილინდრულიგარსაცმის შიგა ზედაპირზე პერიმეტრის გსწვრივ გვაქვს მიმართველი 22, რომელიც კონტაქტშია მფილტრავი ელემენტის 10 ღრუტანიან ლილვზე 18 დაყენებულ გორგოლაჭთან 23.

მემბრანული აპარატის კორპუსს აქვს მოსახსნელი სახურავი 24, რომელიც აღჭურვილია დამცავი სარქველით 25, მანომეტრით 26 და დამწნეხი არმატურით, რომელიც შესდგება ჭანჭიკისა 27 და მქნევარასაგან 28.

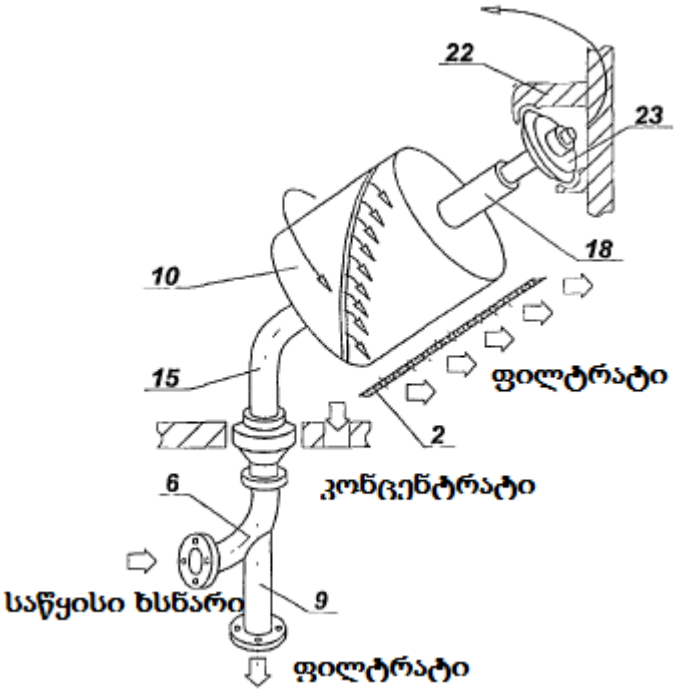
მემბრანული აპარატის კორპუსში არმირებული დრეკადი შლანგის 15 დამაგრების უზრუნველსაყოფად და მისი საწყისი ხსნარის მიმწოდებელ მილყელთან 6 მისაერთებლად და ფილტრატის გამოსაყვანად 9 გვაქვს მაფიქსირებელი ქანჩი 29 და მიმჭერი ქანჩები 30,31.

წნევის საჭირო დონეზე შესანარჩუნებლად (მაგ. 0,3-0,5მპა) მემბრანულ აპარატში მილყელზე 7 დაყენებულია სარქველი (არ არის ნაჩვენები).

მემბრანული აპარატი ჩაძირული გასაყოფი ხსნარის ნაკადით მბრუნავი მფილტრავი ელემენტებით, მუშაობს შემდეგი სახით.

საწყისი ხსნარი წნევით (მაგ. 0,3-0,5მპა), რომელიც აუცილებელია ხსნარის გასაყოფად, მილყელით 6 პერფორირებული სიღრუით 19 არმირებული დრეკადი შლანგის 15 ტანგენციალურად მემბრანებს შორის არხებში მემბრანული აპარატის მფილტრავ ელემენტში 10 მიეწოდება და იყოფა მემბრანის 12 (ფიგ.2) დახმარებით იყოფა ფილტრატად, რომელიც მემბრანული აპარატის მფილტრავი ელემენტის სპირალის სიღრუიდან კოლექტორის 13 მილაკიდან მიეწოდება არმირებული დრეკადი შლანგის 15 ცენტრალურ სიღრუეს 14 და მილყელს 9 და კონცენტრატად, რომელიც ტანგენციალურად გამოდის მფილტრავი ელემენტის 10 გარსაცმის 16 ნახვრეტებიდან 17, რომელიც დამატებით იფილტრება კონუსისმაგვარ პერფორირებულ ფსკერზე 3 მოთავსებულ მემბრანაზე 5, და გამოიყვანება მემბრანული აპარატიდან მის ფარგლებს გარეთ მილყელით 7. ამ დროს მემბრანაზე 12 გაყოფილი და მასში გასული ფილტრატი გროვდება შემკრებში 21 და შემდეგ გამოიყვანება მილყელით 8.

მფილტრავი ელემენტის არხების 10 მრუდწირულ სპირალისმაგვარ ზედაპირზე ნაკადის ენერგიის მოქმედების შედეგად გარსაცმის 16 ტანგენციალური ნახვრეტებიდან გამოსვლის დროს ხდება მფილტრავი ელემენტის მოძრაობა ტრაექტორიაზე, რომელიც განსაზღვრულია მიმართველით 22 (ნახ.5.4).



ნახ.5.4. მფილტრავი ელემენტის მუშაობის სქემა:

2-ფსკერი, 6-შემავალი მილყელი, 9-ფილტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 10-ღრუ მფილტრავი ელემენტი, 15-არმირებული დრეკადი შლანგი, 18-ღრუ ლილვი, 22-მიმართველი, 23-გორგოლაჭი

ამ დროს ხდება პროდუქტის ნაკადით კონუსისმაგვარი ფსკერის 2 მემბრანის ზედაპირის 5 ჩამორეცხვა, რაც ამცირებს ხსნარის კონცენტრაციული პოლარიზაციის დონეს მემბრანის ზედაპირზე 5, რომლის გავლითაც ხდება დამატებითი ფილტრაცია და მისი საბოლოო კონცენტრირება.

პროდუქტის კონცენტრირებული ხსნარი გამოდის აპარატიდან მილყელით 7 სარქველის ამუშავების შემდეგ მუშა წნევის დონის გადაჭარბების დროს .

შემოთავაზებული მემბრანული აპარატის უპირატესობა მდგომარეობს შემდეგში:

-კორპუსის ცილინდრული გარსაცმის შიგა ზედაპირზე პერიმეტრზე განლაგებული მიმართველები, რომელიც კონტაქტშია გორგოლაჭთან საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ნაკადის კინეტიკური ენერგია მფილტრავი ელემენტის სამოძრაოდ, რაც ამცირებს კონცენტრაციულ პოლარიზაციას კონუსისმაგვარი პერფორირებული ფსკერის მემბრანის ჩამორეცხვის გამო;

-მფილტრავი ელემენტის სპირალის სახით შესრულება საშუალებას იძლევა შევამციროთ სითხის ნაკადის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა რომელიც გადის მის არხებში.

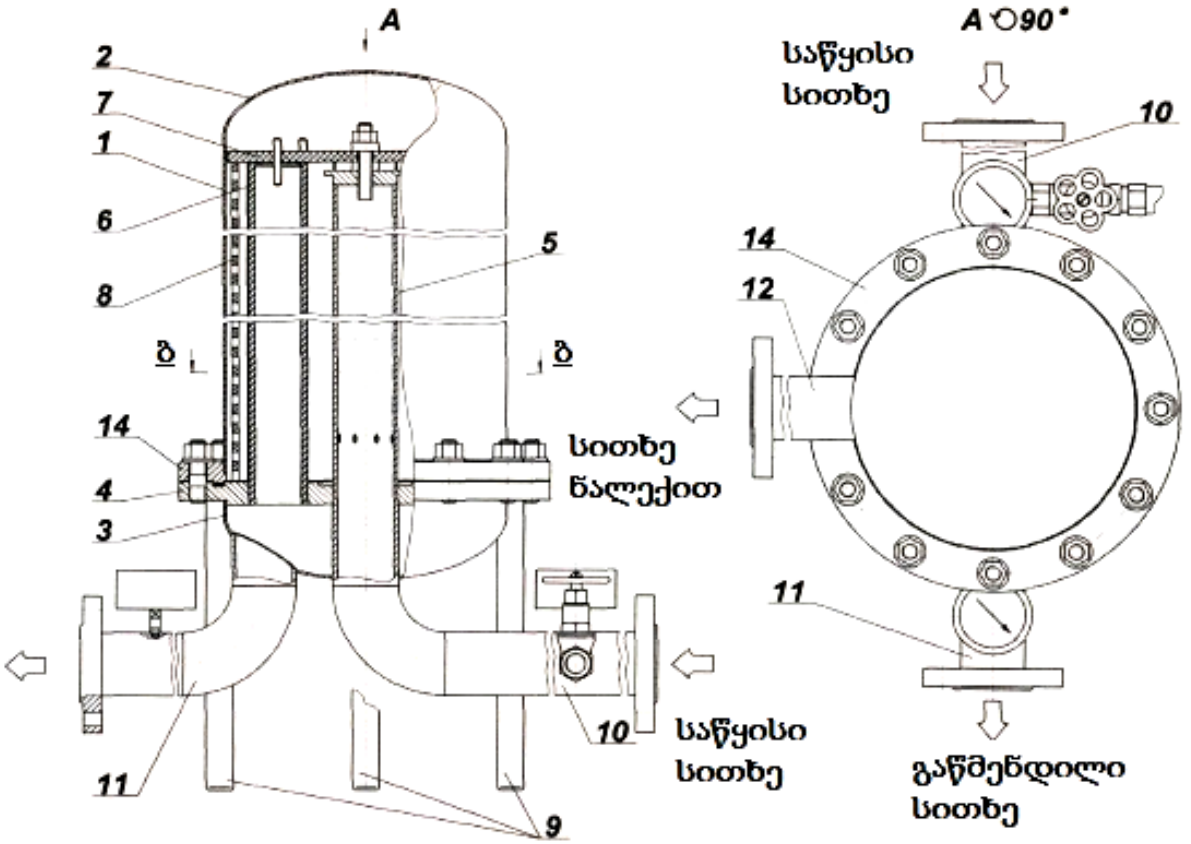
5.2.2. მემბრანული აპარატი მიმართული ნაკადებით

კონსტრუქციის ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს მემბრანული აპარატის მწარმოებლობის ამაღლება და მისი მუშაობის რესურსის გაზრდა მემბრანების ჰიდროდინამიკური ხერხებით რეგენერაციის ხარჯზე, აგრეთვე მისი გამოყენების დიაპაზონის გაფართოება, როგორც უხეში ფილტრაციისათვის, ისე მემბრანული გაწმენდის ხერხებისთვისაც.

დასმული ამოცანა მიიღწევა იმით, რომ მემბრანულ აპარატში მიმართული ნაკადით, რომელიც შეიცავს კორპუსს მილყელებით საწყისი სითხის შესაყვანად, გაწმენდილი სითხის და ნალექიანი სითხის გამოსაყვანად. შესდგება ცილინდრული გარსაცმისაგან ელიფსური სახურავითა და ძირით, ფილტრდამჭერით მასში დამაგრებული მფილტრავი ელემენტებით და გამანაწილებელი პერფორირებული მოწყობილობით, დამწნეხ ფილას და საყრდენს ფეხების სახით, სიახლე არის ის, რომ გამანაწილებელი მოწყობილობა დაყენებულია ფილტრდამჭერის ცენტრალურ ნაწილში, გარსაცმის პერიფერიაზე დაყენებულია პროფილური ელემენტები, შესრულებული მფილტრავ ელემენტის მიმართ შევიწროებული ღრეჩოს წარმოქმნით, რომლის ვიწრო ნაწილში განლაგებულია სფერული ფორმის გამყვანი არხი.

ტექნიკური შედეგი მდგომარეობს მემბრანული აპარატის მწარმოებლობის გაზრდაში და მისი მუშაობის რესურსის ამაღლებაში მემბრანების უფრე ეფექტური რეგენერაციის ხარჯზე ჰიდროდინამიკური ხერხებით, აგრეთვე მისი გამოყენების დიაპაზონის გაფართოება, როგორც უხეში ფილტრაციისათვის, ისე მემბრანული გაწმენდის ხერხებისთვისაც.

ნახ. 5.5 წარმოდგენილია შემოთავაზებული აპარატის საერთო ხედი, ხედი ზემოდან (ხედი A), ნახ.5.6. -განივი კვეთი ბ-ბ,. 5-7.- მემბრანული აპარატის მიმართული ნაკადებით სამგანზომილებიანი მოდელი, ხოლო ნახ.5.8. -აპარატის მუშაობის სქემა.

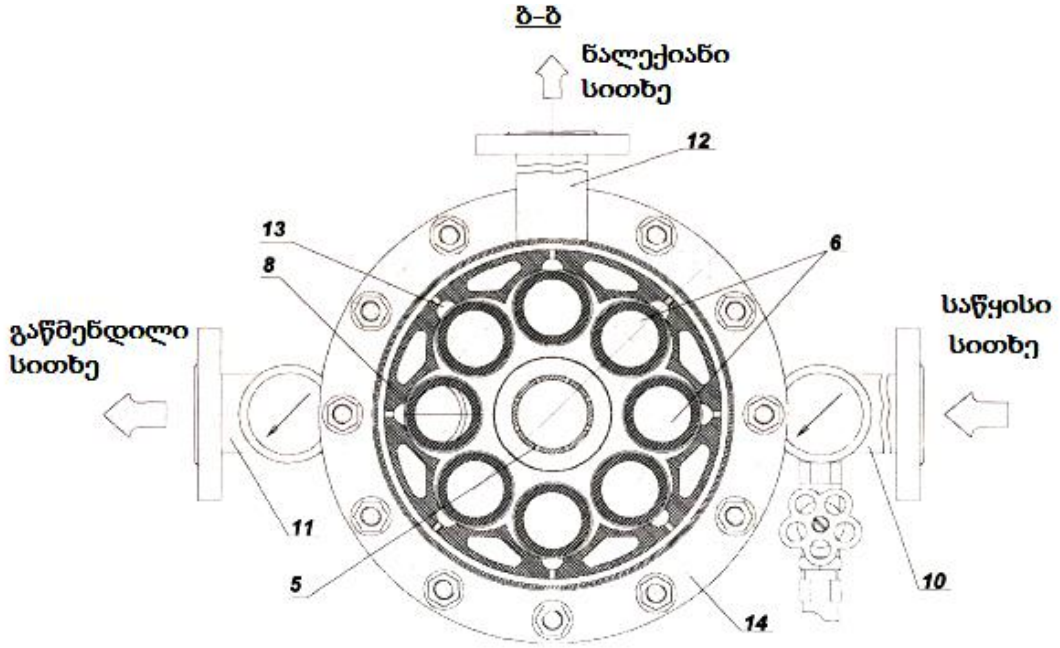


ნახ. 5.5. მემბრანული აპარატი მიმართული ნაკადებით:

1-ცილინდრული გარსაცმი, 2-ელიფსური სახურავი, 3-ელიფსური ფსკერი, 4-ფილტრდამჭერი, 5-პერფორირებული გამანაწილებელი მოწყობილობა, 6-მფილტრავი ელემენტები, 7-დამწნეხი ფილა, 8-პროფილური ელემენტი, 9-საყრდენები, 10-საწყისი სითხის შემყვანი მილყელი, 11-ფილტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 12-კონცენტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 13-განმტვირთი არხები, 14- მილტუჩი

5-პერფორირებული გამანაწილებელი მოწყობილობა, 6-მფილტრავი ელემენტები,8-პროფილური ელემენტები, 10-საწყისი სითხის შესაყვანი მილყელი, 11-ფილტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 12-კონცენტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 13-განმტვირთი არხები, 14-მილტუჩი.

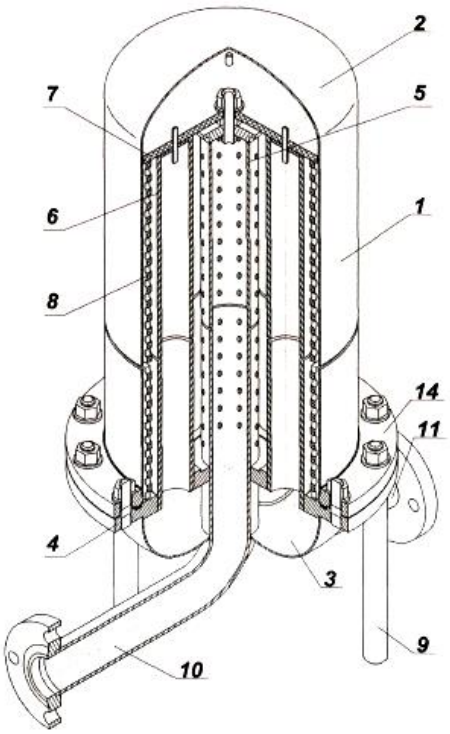
მემბრანული აპარატი მიმართული ნაკადებით (ნახ.5.5) შეიცავს კორპუსს საწყისი სითხის შესაყვანი 10, გაწმენდილი სითხის 11 და ნალექიანი სითხის გამოსაყვანი 12 მილყელებით. შესდგება ცილინდრული გარსაცმისაგან 1 ელიფსური სახურავით 2, ფსკერით 3, მილტუჩით 14 და საყრდენებით ფეხების სახით 9. მემბრანულ აპარატს აქვს ფილტრდამჭერი 6. ფილტრდამჭერის ცენტრალურ ნაწილში 4, გარსაცმის პერიფერიაზე დაყენებულია პროფილური ელემენტები 8, შესრულებული მფილტრავ ელემენტის 6 მიმართ შევიწროებული ღრეჩოს წარმოქმნით, რომლის ვიწრო ნაწილში განლაგებულია სფერული ფორმის გამყვანი არხი 13 სითხის მაღალკონცენტრირებული ნაკადების გასაყვანად.



ნახ.5.6. მემბრანული აპარატის ჰორიზონტალური ჭრილი:

მემბრანული აპარატი მიმართული ნაკადებით მუშაობს შემდეგი სახით. საწყისი სითხე მილყელით 10 (ნახ. 5.5) მიეწოდება პერფორირებულ გამანაწილებელ მოწყობილობას 5, საიდანაც ნახვრეტიდან სითხის ჭავლის სახით მხების მიმართულებით მიეწოდება მფილტრავი ელემენტების 6 ზედაპირებს. წარმოქმნილი სითხის ნაკადი ხვდება შევიწროებად ღრეჩოში, რომელიც წარმოქმნილია პროფილური ელემენტის 8 და მფილტრავი ელემენტის 6 ზედაპირებით (ნახ.5.5) . ნაკადის მოძრაობის გზაზე შავიწროვებადი ღრეჩოს შიგნით ხდება მისი სიჩქარის გაზრდა. ამის წყალობით ხდება მფილტრავი ელემენტის ზედაპირის გაწმენდა წარმოქმნილი ნადებისაგან. ღრეჩოს უბანში განივი კვეთის მინიმალური ფართით ორი მოძრავი შემხვედრი ნაკადი ეჯახება, შედეგად ხდება მისი ინტენსიური ტურბულიზაცია (ნახ.5.7). კონცენტრაციული პოლარიზაციის მაღალი დონის თავიდან ასაცილებლად

მფილტრავ ელემენტთან ღრეჩოს მინიმალური განივი კვეთის არეში დანიშნულია განმტვირთი არხი 13, მაღალკონცენტრირებული სითხის ნაკადების აპარატის ქვედა ნაწილში გასაყვანად, საიდანაც ის პერიოდულად ან უწყვეტად გამოიდევნება მილყელით 12 (ნახ.5.6). სითხე, გაივლის რა მფილტრავ მასალას ხვდება მფილტრავი ელემენტის 14 შიგა სიღრუეში, საიდანაც გადადის ფსკერზე 3 და შემდეგ გაიყვანება ფილტრდამჭერიდან 4 მილყელის 11 დახმარებით.



ნახ. 5.7. მემბრანული აპარატის მიმართული ნაკადებით სამგანზომილებიანი მოდელი:

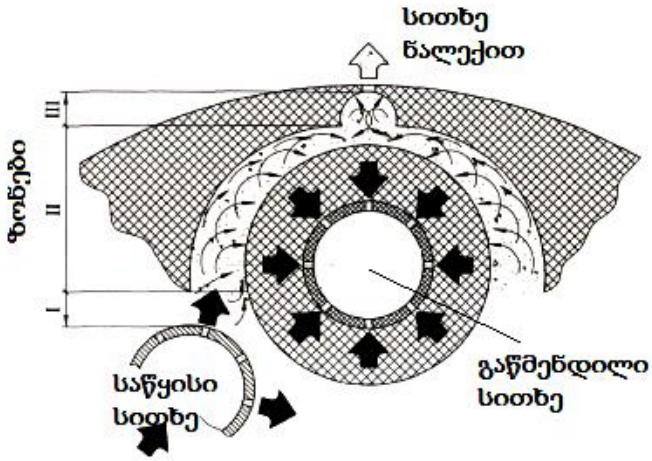
1-ცილინდრული გარსაცმი, 2-ელიფსური სახურავი, 3-ელიფსური ფსკერი, 4-ფილტრდამჭერი, 5-პერფორირებული გამანაწილებელი მოწყობილობა, 6-მფილტრავი ელემენტები, 7-დამწნეხი ფილა, 8- პროფილური ელემენტი, 9-საყრდენები, 10-საწყისი სითხის შესაყვანი მილყელი, 11-ფილტრატის გამოსასვლელი მილყელი, 14-მილტუჩი.

მაშასადამე, აპარატის მუშაობაში გვაქვს სამი მახასიათებელი ზონა (ნახ.5.8):

I ზონა (დამწნევი) -გამანაწილებელი მოწყობილობიდან ჭავლის სახით გამომავალი სითხის ნაკადი გადის მფილტრავი ელემენტის მხებად. მოძრავი ნაკადის მაღალი კინეტიკური ენერგიის შედეგად ხდება მფილტრავი ელემენტის ზედაპირიდან ნადების მოცილება და მათი გადაადგილება სიჩქარის გარდასახვის ზონაში.

II ზონა (სიჩქარის გარდასახვის) - შემცირებადი განივი კვეთის არხში მოძრავი სითხის ნაკადი, განიცდის სიჩქარის გარდასახვას, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ ის იზრდება ნაკადის შევიწროებულ მონაკვეთში შესვლით. ერთდროულად ამის შედეგად მფილტრავი ელემენტის ზედაპირიდან ნაწილაკების მოცილება და გადაადგილება ორი ნაკადის შეხვედრის ზონისკენ.

III ზონა (ორი ნაკადის შეხვედრის) - სითხის ნაკადი შევიწროებადი არხის გამოსასვლელში ეჯახება ანალოგიურ ნაკადს მეზობელი არხიდან. ორი ნაკადის შეჯახების შედეგად ხდება მათი შერწყმა ინტენსიური ტურბულენტობის წარმოქმნით, რაც იწვევს სიჩქარისა და წნევის ცვლილებას რის ხარჯზეც ხდება საფილტრაციო ელემენტიდან ნაწილაკების მოცილება.



ნახ. 5.8. მიმართულ ნაკადებიანი მემბრანული აპარატის
სამგანზომილებიანი მოდელი:

I- დამწნევი ზონა, II- სიჩქარის გარდაქმნის ზონა, III- ორი ნაკადის შეხვედრის ზონა

შემოთავაზებული მემბრანული აპარატის მიმართული ნაკადებით უპირატესობა მდგომარეობს შემდეგში:

- მფილტრავი ელემენტის მუშაობის რესურსის გაზრდა მისი ზედაპირის ყველა მხარიდან ნაწილაკების უწყვეტი მოცილების გამო;
- კონცენტრაციული პოლარიზაციის დონის შემცირება მფილტრავი ელემენტის ზედაპირის მიმართ გასაყოფი ნაკადის მხებად დინების წყალობით;
- მწარმოებლობის გაზრდა კონცენტრაციული პოლარიზაციის დონის შემცირების ხარჯზე;

- ფილტრის გამოყენების დიაპაზონის გაფართოება, როგორც უხეში ფილტრაციისათვის, ისე მემბრანული გაწმენდის ხერხებისთვის.

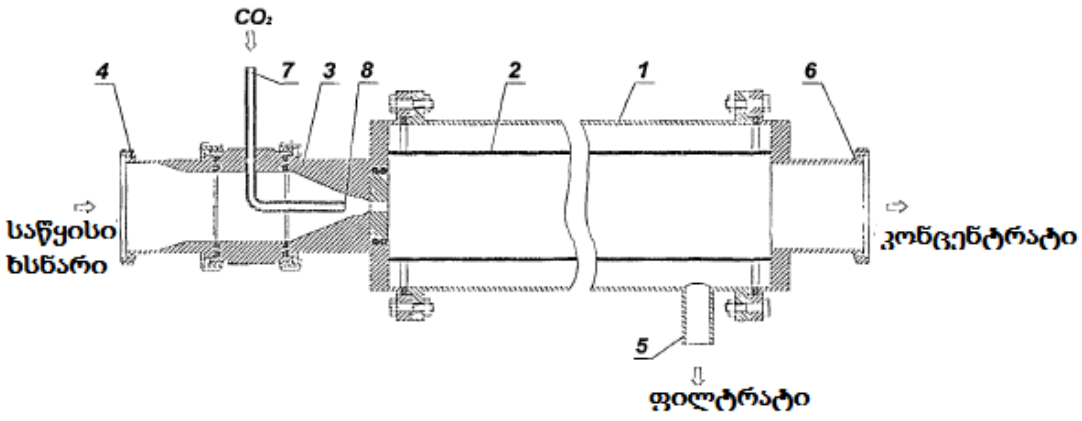
5.2.3. დანადგარი აირით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციისათვის

კონსტრუქციის ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს სამსახურის ვადის, ფილტრაციის ეფექტურობის და სიჩქარის გაზრდა, რაც საშუალებას გვაძლევს უფრო ხარისხიანად მოვაცილოთ უხეში ნაწილაკები წინასწარი გაკრიალების ეტაპზე და ამით უზრუნველვყოთ ფილტრების სტაბილური მუშაობა შემდგომი დახვეწილი გაკრიალებისთვის, გავზარდოთ გაზით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციის დანადგარების მწარმოებლობა და მათი მუშაობის რესურსი, ჰიდროდინამიკური ხერხით მფილტრავი ელემენტების მემბრანების რეგენერაციის გზით, აგრეთვე შევამციროთ გაზის, რომელიც გახსნილია გასაყოფ სითხეში დანაკარგები.

დასმული ამოცანა მიიღწევა იმით, რომ მემბრანული ფილტრი შესრულებულია ცილინდრული კორპუსის სახით მილყელებით საწყისი ხსნარის მისაწოდებლად, ფილტრატის და კონცენტრატის გამოსაყვანად. კორპუსის შიგნით დაყენებულია მილისებრი მემბრანული მოდული შესასვლელში განლაგებული ინჟექტორით საქშენით ნახშირმჟავა გაზის მისაწოდებლად.

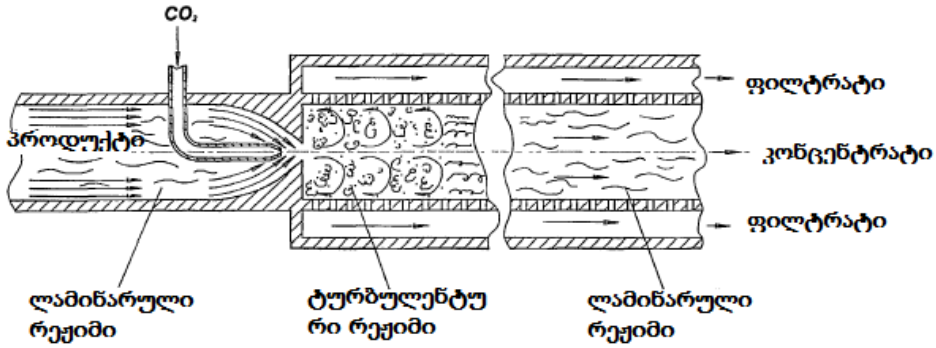
ტექნიკური შედეგი მდგომარეობს აირით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციის დანადგარის მწარმოებლობის გაზრდაში და მუშაობის რესურსის ამაღლებაში მფილტრავი ელემენტების მემბრანების ჰიდროდინამიკური ხერხებით რეგენერაციის ხარჯზე, აგრეთვე გასაყოფ სითხეში გახსნილი აირის დანაკარგების შემცირება.

ნახ.5.9. ნაჩვენებია მემბრანული აპარატი აირშემცველი თხევადი პროდუქტების ფილტრაციისთვის.



ნახ. 5.9. მემბრანული აპარატის ჰორიზონტალური ჭრილი

1-ცილინდრული კორპუსი, 2-მემბრანული მოდული, 3-ინჟექტორი, 4-საწყისი ხსნარის მისაწოდებელი მილყელი, 5-ფილტრატის გამოსაყვანი მილყელი, 6-კონცენტრატის გამოსაყვანი მილყელი, 7-მილგაყვანილობა CO_2, 14- საქშენი CO_2 მისაწოდებლად.



ნახ. 5.10. აირითგაჯერებული თხევადი პროდუქტები მემბრანული ფილტრაციის დანადგარის მუშაობის სქემა

მემბრანული ფილტრი შესრულებულია ცილინდრული კორპუსის 1 სახით მილყელებით საწყისი ხსნარის მისაწოდებლად 4, ფილტრატის 5 და კონცენტრატის 6 მოსაცილებლად, კორპუსის შიგნით დაყენებულია მილისებრი მემბრანული მოდული 2 შესასვლელში დაყენებული ინჟექტორით 3 ნახშირმჟავა აირის მისაწოდებელი საქშენით 8, რომელიც მილგაყვანილობით 7 შეერთებულია სადუღარი ცილინდრული ტანკის ზედა ნაწილთან.

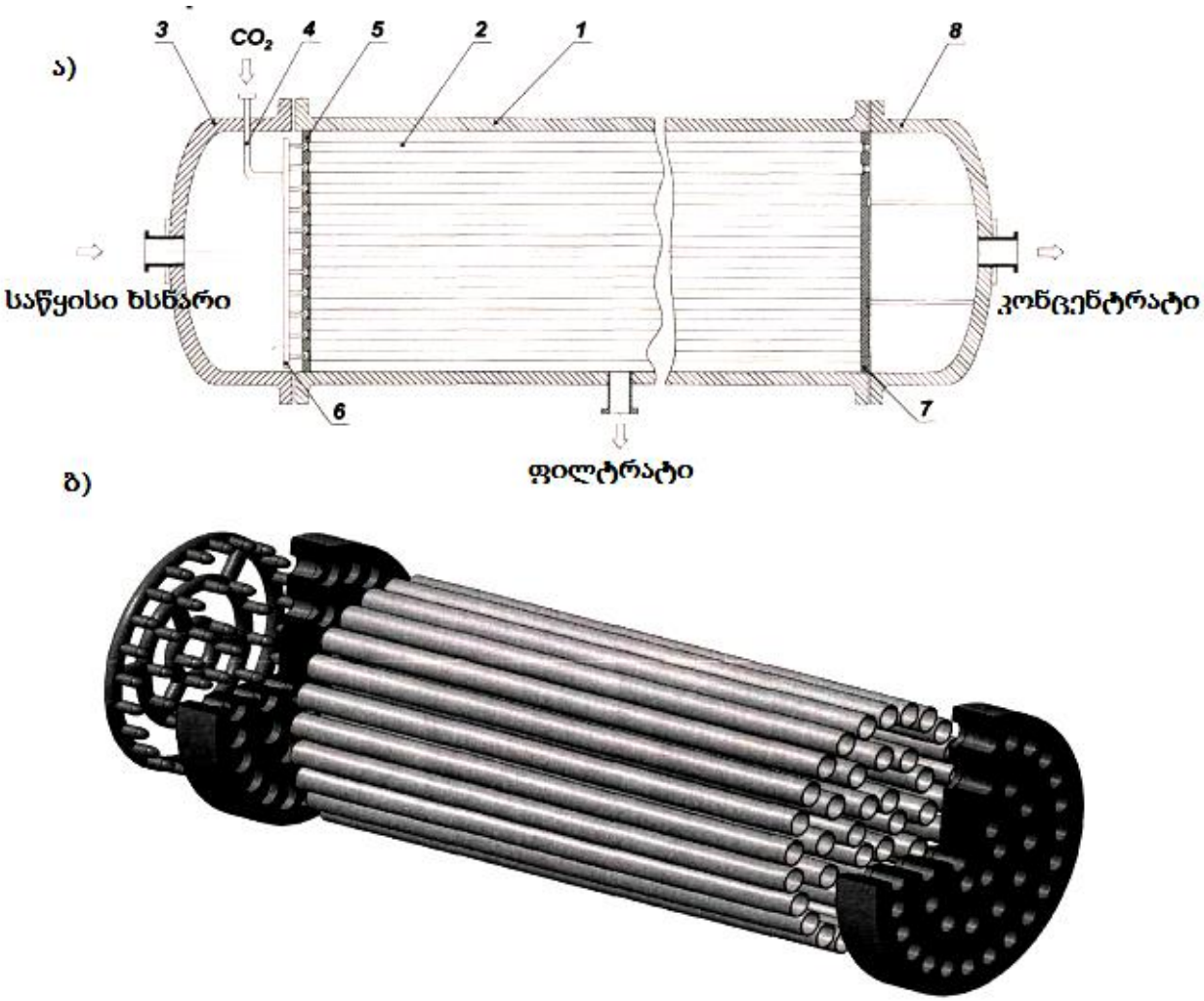
აირით გაჯერებული თხევადი პროდუქტების, მაგალითად, ლუდის, მემბრანული ფილტრაციის დანადგარი მუშაობს შემდეგი სახით.

მემბრანულ ფილტრში (ნახ. 5.10) ხდება ლუდის სიჩქარის ძლიერი ზრდა ინჟექტორის შევიწროების არეში. ამ დროს ნახშირმჟავა აირი მიეწოდება საქშენით და პროდუქტს აძლევს დამატებით იმპულს. შემდეგ მილისებრ მემბრანულ მოდულში შესვლისას გაფართოების ზონაში ხდება ნაკადის ტურბულიზაცია, ნახშირმჟავა აირი ინტენსიურად ერევა ლუდს და იხსნება მასში. მემბრანული მოდულის შესასვლელში უეცარი გაფართოების ხარჯზე იქმნება ნაკადის გრიგალი, რომელიც პოლარიზაციულ ლაბისმაგვარ ფენას გაისვრის მემბრანის ზედაპირიდან. ამ დროს ხდება წნევის მნიშვნელოვანი დანაკარგი.

ნახ. 5.11. ნაჩვენებია დასმული ტექნიკური ამოცანის რეალიზება მილისებრ მოდულიანი მემბრანული აპარატის სახით და აირგამანაწილებელი მოწყობილობა: ა)აპარატის ჭრა: 1-კორპუსი, 2-მფილტრავი ელემენტი - მილისებრი მემბრანა, 3,8 - ელიფსური სახურავი, 4- CO_2 მიმწოდებელი მილგაყვანილობა, 5,7- მილების მესერი, 6 - გაზგამანაწილებელი მოწყობილობა, ბ) მისი სამგანზომილებიანი მოდელი. მოცემული აპარატი მუშაობს შემდეგი სახით. საწყისი სითხე აპარატში მიეწოდება და ნაწილდება მილებიან მესერში 5 მემბრანებზე. აირგამანაწილებელ მოწყობილობაში 6 აირის მისაწოდებელი მილგაყვანილობით 4 შედის CO_2 და პროდუქტს აძლევს დამატებით იმპულსს, ამის ხარჯზე ხდება მემბრანის ზედაპირიდან ლაბის ფენის მოცილება. საწყისი პროდუქტი იყოფა ფილტრატად და კონცენტრატად და გამოდის აპარატიდან.

აირითგაჯერებული თხევადი პროდუქტების მემბრანული ფილტრაციის შემოთავაზებული დანადგარის უპირატესობა მდგომარეობს შემდეგში: წინასწარი გაკრიალების და დახვეწილი ფილტრაციის მემბრანული ფილტრების შესრულება ცილინდრული კორპუსის სახით მილყელებით საწყისი ხსნარის მისაწოდებლად, ფილტრატის და კონცენტრატის გამოსაყვანად. კორპუსის შიგნით დაყენებულია მილისებრი მემბრანული მოდული შესასვლელში განლაგებული ინჟექტორით საქშენით ნახშირმჟავა გაზის მისაწოდებლად, რომელიც მილგაყვანილობით შეერთებულია სადუღარი ცილინდრული ტანკის ზედა ნაწილთან და რაც უზრუნველჰყოფს მათი მუშაობის რესურსის გაზრდას მფილტრავი ელემენტის მემბრანების ჰიდროდინამიკური ხერხებით რეგენერაციას, ამცირებს

კონცენტრაციული პოლარიზაციის მავნე გავლენას და გასაყოფ სითხეში გახსნილი აირის დანაკარგს.



ნახ. 5.11. დასმული ტექნიკური ამოცანის რეალიზება მილისებრი მფილტრავმოდულიანი მემბრანული აპარატის და გაზგამანაწილებელი მოწყობილობის სახით:

ა)აპარატის ჭრილი: 1-კორპუსი, 2-მფილტრავი ელემენტი - მილისებრი მემბრანა, 3,8-ელიფსური სახურავი, მილგაყვანილობა CO_2 მისაწოდებლად, 5,7-მილების მესერი, 6-გაზგამანაწილებელი მოწყობილობა, ბ)აპარატის სამგანზომილებიანი მოდელი

5.3. მილისებრ არხში ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდიკა

საწყისი მონაცემები: გეომეტრიული პარამეტრები - არხის რადიუსი r=3.10^{-3} მ; არხის სიგრძე h=0,39მ; მემბრანის სისქე δ=2.10^{-3}მ; მფილტრავ არხში სუსპენზიის სიჩქარე u=2,4 მ/წმ. მიუხედავად მუშა ნაკადის პულსაციური მდგენელის მნიშვნელოვანი სიდიდისა

$$\omega_E = {}^{u}/_{(0,1 \cdot r)},$$

l ზომის ნაწილაკების რელაქსაციური მახასიათებელი

$$\tau_p = \frac{1}{18}\frac{(\rho_T - \rho)}{\nu\rho} l^2$$

საკმაოდ მცირეა ვინაიდან$\rho_T \approx \rho$, ამიტომ სუსპენზიის სიბლანტის მაჩვენებელი

$$\bar{\mu}_p^2 = 1/\left(1 + \omega_E \tau_p\right),$$

პრაქტიკულად ტოლია 1. ხოლო ეს ნიშნავს, რომ პირობა

$$\bar{\mu}_p^2/\nu > 16,6$$

სრულდება პრაქტიკულად საფილტრაციო არხის სიგრძეზე. საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ნაწილაკების დალექვის კოეფიციენტი

$$k_0 = 0,2u$$

სინამდვილეში u ცვლადია u=var არხის გასწვრივ, ამიტომ k კოეფიციენტის მნიშვნელობა მცურავია.

წნევა არხში$P_1 = 0,135 \text{მპა}$, მემბრანის შემდეგ $P_2 = 0,05$ მპა, საიდანაც დაწნევა $\Delta P = 0,085$ მპა. მემბრანის წინააღმდეგობა განისაზღვრება როგორც

$$R_n = k\delta$$

ხოლო მემბრანაზე ნალექის წინააღმდეგობა განისაზღვრება ფორმულით

$$r_l = \frac{k_l(1-\varepsilon)(\sigma^2)^{0,3}}{\bar{l}^2 \cdot \varepsilon}$$

ცხადია მემბრანის პასპორტული წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად მცირეა ნალექის წინააღმდეგობაზე, ე.ი.$r_1 \gg r_2$, ამიტომ $r_0 \approx r_l$, ხოლო $h_0 \approx \delta$.

ნაწილაკების განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია უგანზომილებო სახით ასეთია

$F_0(L) = 1{,}637exp[-8{,}417(L-1)^2]$.

ფორმულიდან (2.23) გამომდინარეობს($X_{max} = 1$)

$$M(l) = exp\left[\left(1 - \frac{\bar{k}_0}{k}\right) \cdot ln(1-A)^{-1}\right] \times 1{,}637 \int_0^\infty L^3 exp[-8{,}417(L-1)^2]dL.$$

რადგან

$$\int_0^\infty L^3\, exp[-8{,}417(L-1)^2]dL = 0{,}72.$$

მაშინ საბოლოოდ მივიღებთ

$M(1) = 1{,}179(1-A)^{-\left(1-\frac{\bar{k}_0}{k}\right)}$,

სადაც$\bar{k} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 h_0 + R_n)}$

გამოვთვლით($u \approx u_0$)

$$A_0 = 2\frac{\bar{k}_0}{r}\frac{h}{u_0} = 2\frac{0{,}2 \cdot 0{,}39}{3 \cdot 10^{-3}} = 52.$$

გავაანალიზებთ ფორმულას:

$M(1) = 1{,}179(1-A)^{-\left(1-\frac{0{,}48}{\bar{k}}\right)}$

გამოვთვლით:

$r_l = \frac{5(1-0{,}4)\left(3{,}55 \cdot 10^{-12}\right)^{0,3}}{(7{,}73 \cdot 10^{-6})^2 0{,}4} = 1{,}614 \cdot 10^8$

$\bar{k} = \frac{0{,}085}{10^{-3}(r_0 \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 17{,}01 \cdot 2 \cdot 10^{-3})} = \frac{0{,}085}{2 \cdot 10^{-6}(r_0 + 17{,}01)} = 2{,}63 \cdot 10^{-4}$

$$A = 2\frac{\bar{k}}{r}\frac{h}{u_0} = 2\frac{\bar{k}\cdot 0{,}39}{3\cdot 10^{-3}\cdot 2{,}4} = 108{,}3\bar{k}$$

ცხრილში მოყვანილი გაანგარიშების შედეგებით, აგებული იქნა სელექციურობის (შებრუნებული სიდიდე) მემბრანის ფორის ზომაზე (ფორიანობა) დამოკიდებულების გრაფიკი ნახ. 4.4.

ცხრილი 5.1

ინჟინრული გაანგარიშების მეთოდიკის შედეგები

ε	r_l	$\bar{k}$	A	M(I)	$M_g(I)$	$\bar{k}_0$	ξ
0,16	$1{,}614.10^{8}$	$2{,}63.10^{-4}$	0,028	0,57	0,58	0,007	$2{,}92.10^{-3}$
0,18	$1{,}4.10^{8}$	$3{,}036.10^{-4}$	0,032	0,27	0,26	0,014	$5{,}8310^{-3}$
0,22	$1{,}09.10^{8}$	4.10^{-4}	0,042	0,17	0,17	0,018	$7{,}510^{-3}$
0,28	$0{,}79.10^{8}$	$5{,}38.\ 10^{-4}$	0,058	0,006	0,1	0,042	$1{,}7510^{-3}$

5.4. მემბრანული სისტემების გამოყენებით ლუდის გაკრიალების ხაზის დანერგვის ეფექტურობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

მემბრანების გამოყენების ეკონომიური ასპექტები შეიცავენ ხარჯების შეფასებას კონკრეტული ტექნოლოგიის გამოყენებაზე მისი უპირატესობის გათვალისწინებით კონკურენტუნარიან ტექნოლოგიასთან ან სხვა ალტერნატიულებთან შედარებით [12,100,108]. მემბრანული ტექნოლოგიის ღირებულება მოიცავს ძირითადი ფონდების ამორტიზაციას, დანახარჯებს მემბრანების შეცვლაზე, ენერგიის, სარეცხი საშუალებების და მუშა ძალის ღირებულებას. ამა თუ იმ ტექნოლოგიის გამოყენების უპირატესობებს მიაკუთვნებენ კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიის მიმართ საექსპლოატაციო ხარჯების შემცირებას, თანმდევი პროდუქტების მიღების შესაძლებლობას, პროდუქტის, წყლის, ენერგიის, ქიმიკატების და ა.შ. ეკონომიას. ძალიან მნიშვნელოვანია დამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენება, რომლებიც ამცირებენ ხარჯებს ჩამდინარე წყლების დამუშავებაზე.

მემბრანების ღირებულება დამოკიდებულია მათ ტიპზე, ხოლო მემბრანული სისტემების - ტიპზე, ზომაზე და ავტომატიზაციის ხარისხზე. მილისებრი კერამიკული სისტემების ღირებულება ბაზირდება 0,1 მ დიამეტრის მილების ფასზე.

გადაწყვეტილების მიღების პროცესში არ შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ, მონაცემებით, მხოლოდ ამა თუ იმ მემბრანული სისტემის ღირებულებაზე. სხვა და სხვა სისტემების გაღწევადობა ერთნაირი ნაკადის დროს არსებითად განსხვავდებიან. ფილტრები ღრუტანიანი ბოჭკოების საფუძველზე და მილოვანი მემბრანული სისტემები მეტად ადაპტირებულია შეწონილ ნაწილაკებთან სამუშაოდ. პოლიმერული სისტემები კერამიკულთან შედარებით ქიმიურად ნაკლებად მდგრადია. ყველა ეს ფაქტორი უნდა გავითვალისწინოთ ამა თუ იმ მებრანული სისტემის ღირებულების შეფასების დროს.

თავისი ბუნებით მემბრანული სისტემები მოდულურია და ამიტომ ტიპზომის გაზრდით ღირებულება პრაქტიკულად იზრდება წრფივად.

ტანგენციალურ-ნაკადური ფილტრაცია ხორციელდება ელექტროტუმბოების მოქმედებით. მაღალი წნევის გამოყენების დროს დამჭირხნი ტუმბო ძირითადი ენერგომომხმარებელია. დაბალი წნევის გამოყენების დროს, მაგალითად ულტრა- და მიკროფილტრაციის დროს, მარეცირკულებელი ტუმბოები მოიხმარენ მეტ ენერგიას ვიდრე დამჭირხნი [12,111].

მემბრანული ფილტრაცია არის ერთ ერთი ენერგეტიკულად ეფექტური გამოყოფის საშუალება. მოთხოვნილება მინიმალურ ენერგომხმარებაზე გაკრიალების დროს არის ფუნქცია საფუარის უჯრედების კონცენტრაციის, რეგენერაციის და ტემპერატურის, რომელიც იზრდება თითეული პარამეტრის ზრდასთან ერთად. 50% საერთო ეფექტურობის და საშუალოდ 20 ლ/(მ^2.სთ) ნაკადის დროს ენერგომოთხოვნილება ოპტიმალურად კონსტრუირებულ სისტემაში შეადგენს დაახლოებით 5 კვტ.სთ/მ^3.

სხვა დანახარჯებს მიაკუთვნებენ ხარჯებს მემბრანების შეცვლაზე, სარეცხ საშუალებებზე და შრომის ანაზღაურებაზე. ხარჯები მემბრანების შეცვლაზე უკუპროპორციულია მათი ექსპლოატაციის ვადის. კერამიკული მემბრანები არიან მეტად „ხანგრძლივადმცხოვრებნი“ - მათი სამსახურის ვადა შეადგენს 8 წელზე მეტს.

ხარჯები რეცხვაზე და გაწმენდაზე ძლიერ იცვლებიან და დამოკიდებულია დაჭუჭყიანების ხარისხზე. მემბარების გაწმენდა უფრო ეფექტურია მაღალ ტემპერატურებზე. აუცილებლობის შემთხვევაში წყლის გასაცხელებლად შეიძლება გამოვიყენოთ ორთქლი, აირი ან ელექტროობა. შედარებით არადიდი ტექნოლოგიური დანახარჯების დროს ხარჯის ძირითადი ნაწილი მოდის კაპიტალურ დანახარჯებზე გაზიასა და ორთქლის მილგაყვანილობებზე. ზოგადად, ხარჯები რეცხვაზე და გაწმენდაზე შეადგენს 10-დან 20 %-მდე საერთო საექსპლოატაციო ხარჯებიდან. მემბრანული სისტემები არ მოითხოვენ ოპერატორების ყურადღებას მთელი დღის განმავლობაში, არამედ ისინი საჭიროა მხოლოდ ჩართვისა და გაწმენდის დროს. საერთო შრომის დანახარჯები შეადგენს დაახლოებით ორ საათს დღეში.

ცხრილი 5.2

მიკროფილტრაციის და კიზელგურის ფილტრებზე ფილტრაციის ღირებულებითი შეფასება ლუდის გაკრიალების დროს

	მიკროფილტრაცია	ფილტრაცია კიზელგურის ფილტრების დახმარებით
სისტემის პარამეტრები		
მწარმოებლობა, დალ/მ²სთ	900	900
მფილტრავი ფართი, მ²	55(3500 მემბრანა)	258
მემბრანების ვარგისიანობის ხანგრძ.	10	-
წელი	-	0,2
კიზელგურის ხარჯი, კგ/დალ	150	50
ელექტროენერგიის მოთხოვნილება, კვტ		
დანახარჯები		
ამორტიზაქცია, კაპდანახარჯები, პ.ფ.ე.	84 000	30800
ენერგიის ხარჯი, პ.ფ.ე./კვტ	1800	600
მემბრანების შეცვლა, ლარი/წწ	4200	-
ტექნიკური მომსახურება, ლარი/წწ	1320	1600
კიზელგური, ლარი/წწ	-	289600
მუშა ძალის ღირებულება ლარი/წწ	400	1600
საერთო დანახარჯები, ლარი/წწ	91720	324200

ლუდის გაკრიალება მოიცავს სიმღვრივის წარმოქმნელი შეწონილი და კოლოიდური ნაწილაკების მოცილებას. მსხვილი ნაწილაკების მოცილება ხდება ცენტრიფუგირების საშუალებით, მაგრამ ნაწილაკის ზომის შემცირებასთან ერთად და სიმკვრივის შემცირებით ეს პროცესი ხდება სულ უფრო ძვირი. ეს ფაქტორები ასე მნიშვნელოვანი არ არის ფილტრაციის დროს. დახვეწილი გაწმენდის ტექნოლოგიაში ჭარბობენ როტაციული ვაკუუმური ფილტრები შემავსებლით და ფირფიტებიანი ფილტრები, მაგრამ ბევრ შემთხვევაში მემბრანული ფილტრაცია უფრო უპირატესია, ვიდრე ფილტრების გამოყენება დამხმარე მფილტრავი საშუალებების გამოყენებით.

მიკროფილტრაციის და კიზელგურის ფილტრებზე ფილტრაციის ღირებულებითი შეფასება ლუდის გაკრიალების დროს წარმოდგენილია ცხრილში 5.1., რომლიდანაც ჩანს, რომ ლუდის გაკრიალების დროს მიკროფილტრაციის პროცესის გამოყენებით საერთო ენერგოდანახარჯები ოთხჯერ მცირეა, ვიდრე კიზელგურის ფილტრების დახმარებით ფილტრაციის დროს.

სამუშაოს ძირითადი დასკვნები და შედეგები

1. გამოკვლეულია გაუფილტრავი ლუდის ფიზიკო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ლუდის ფილტრაციის პროცესზე - მიკროორგანიზმების შემცველობა 5,68 მილ.უჯრედი/მლლ, pH სიდიდე 4,38, სიმღვრიე 78 ერთ.; განსაზღვრულია ლუდის სიბლანტის დამოკიდებულება მასში საფუარის უჯრედების შემცველობაზე.

2. დასაბუთებულია მემბრანის (მილისებრი მარკის) და მემბრანული სისტემის კონფიგურაციის შერჩევა, რომლის საფუძველზეც დაგეგმარდა ექსპერიმენტული დანადგარი.

3. შეფასებულია ლუდში მიკროორგანიზმების ნაწილაკების რაოდენობის მათ ზომაზე დამოკიდებულება, შესწავლილია მემბრანის სტრუქტურა და თვისებები, რამაც სასუალება მოგვცა წინასწარ დავგეგმოთ ფორების რაციონალური ზომა და მემბრანების ექსპლოატაციის ტექნოლოგიური პირობები.

4. დამუშავებულია კომპიუტერული პროგრამით კოლოიდური ხსნარების ფილტრაციის უნარის გამოკვლევა.

5. დამუშავდა მილისებრ მემბრანულ არხში პულსირებული წნევის მოქმედებით სითხის მოძრაობის მათემატიკური მოდელი.

6. დადგენილია მილისებრ მემბრანულ არხში პულსირებული წნევის მოქმედების დროს სიჩქარის განაწილების სურათი.

7. დადგენილია მილისებრ მემბრანულარხში წნევის პულსაციის ოპტიმალური სიხშირე.

8. გამოკვლეულია ბარომემბრანული მეთოდით ლუდის ფილტრაციის პროცესის კინეტიკა და ჰიდროდინამიკა, შედეგად შემოთავაზებულია ფილტრების შემდეგი თანმიმდევრობა:

ა) ფილტრი ფორის ზომით 5 მკმ ერდროულად როგორც უხეში ისე დახვეწილი ფილტრაციის უზრუნველსაყოფად ($P_{მუშ.}$=0,135მპა, φ=76%, $J_{საშ.}$=7,5 $მ^3/მ^2$.სთ, v=1,9მ/წმ, რეცირკულაციის ჯერადობა 3);

ბ) მასტერილებელი (გამაუსნებოვნებელი) ფილტრი ფორის ზომით 0,4 მკმ ($P_{მუშ.}$=0,3მპა, φ=100%, $J_{საშ.}$=1,7 $მ^3/მ^2$.სთ, v=0,9მ/წმ, რეცირკულაციის ჯერადობა 5).

9.გამოკვლეულია გაკრიალებული ლუდის „გერმანული“ ფიზიკო-ქიმიური, მიკრობიოლოგიური და ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლები, მოხდა ლუდის მდგრადობის პროგნოზირება, რამაც საშუალება მოგვცა გავაკეთოთ დასკვნა მიღებული გაკრიალებული ლუდის მაღალ ხარისხზე (ტი 9184-103 2012, გოსტი 51174-98).

10.დამუშავებულია მილისებრ არხში სუსპენზიის ფილტრაციის მატემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დიდი სიზუსტით განვსაზღვროთ მემბრანის სელექციურობა პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე (მუშა წნევა, მემბრანის ზედაპირზე ნაკადის ტანგენციალური სიჩქარე, ტემპერატურის), მემბრანის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე, ფილტრაციის ობიექტის რეოლოგიურ და მიკრობიოლოგიურ თვისებებზე, დისპერსული ფაზის ზომებზე და კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით.

11. დამუშავებული მათემატიკური მოდელის საფუძველზე მოხდა სუსპენზიის მიკროფილტრაციის პროცესის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდიკის სრულყოფა, რომელიც ითვალისწინებს დისპერსული ფაზის დროის და არხის სიგრძის მიხედვით კონცენტრაციის ცვლილებას.

12.გამოკვლეულია კონცენტრაციულ პოლარიზაციასთან ბრძოლის ხერხები, დასაბუთებულია მიკროფილტრაციის იმპულსური რეჟიმის გამოყენება მემბრანის ზედაპირზე გელ-ფენის დარღვევისათვის, განსაზღვრულია იმპულსური რეჟიმის პარამეტრები 0,4 მკმ- ΔP_b=0,25მპა; τ_2=3წმ; T=600 წმ; 5 მკმ - ΔP_b=0,1მპა; τ_2=5წმ; T=600 წმ.

13. დამუშავებულია მემბრანული მოწყობილობის კონსტრუქციები კონცენტრაციული პოლარიზაციის დაბალი დონით ლუდის ეფექტური გაკრიალებისთვის.

14. შემოთავაზებულია ტექნოლოგიური რეკომენდაციები მიკროფილტრაციის პროცესის გამოსაყენებლად და ლუდის გაკრიალების უბნის ტექნოლოგიური სქემა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Абарышев, В.М. Микрофильтрация пива [Текст] / В.М. Абары-шев, А.И. Жукова // Ферментная и спиртовая промышленность, № 3, 1984. -с. 10-13.

2. Автоматическая установка мембранной фильтрации для холодно-стерильной фильтрации пива [Текст] / Brauwelt (Мир пива), №3, 1999. - с. 12 -13.

3. Ананин, И.А. Импульсный микроволоновый способ повышения стойкости напитков [Текст] / И.А. Ананин, Я.Д. Каданер, Л.М. Урусова, В.В. Шмырев // Пиво и напитки, № 3, 1998. — с. 32 - 33.

4. Аннемюллер, Г. Предложения по проверке фильтруемости и стабильности нефильтрованного лагерного пива [Текст] / Г. Аннемюллер, Т. Шник // Brauwelt (Мир пива), №3, 1999. - с. 40 - 44.

5. Артемов, Н.С. Ультрафильтрационные установки для пивобезал-когольной и винодельческой отрасли [Текст] / Н.С. Артемов // Пиво и напитки, №1, 1998.-с. 20-21.

6. Брок, Т. Мембранная фильтрация [Текст] / Т. Брок // пер с англ. -М.: Мир, 1987.-646 с.

7. Брык, М.Т. Применение мембран для создания систем кругового водопотребления [Текст] / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк, К.Б. Греков и др.//М.: Химия,1990,40 с.

8. Брык, М.Т. Мембранная технология в пищевой промышленности [Текст] / М.Т. Брык, и др.// - К.: Урожай, 1991.-224 с.

9. Брык, М.Т. Мембранная технология в промышленности [Текст] / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк, А.А. Твердый.//-К.: Техника, 1990.-247 с.

10. Булгаков, Н.И. Биохимия солода и пива [Текст] / Н.И. Булгаков.// Изд.: «Пищевая промышленность», 1976. - 358 с.

11. Бэмфорд, Ч. Новое в пивоварении [Текст] / Ч. Бэмфорд (ред); пер. с англ. И.С. Горожанкиной, Е.С. Боровиковой.// - СПб.: Профессия, 2007. -520 с, ил., табл.

12. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст] / К.Дж. Валентас, Э. Ротштейн, Р.П. Сингх (ред.) / пер. с англ. под общ.науч. ред. А.Л. Ишевского.// - СПб: Профессия, 2004. - 848 с, ил., табл., сх. - (Серия:Справочник).

13. Главачек, Ф. Пивоварение. [Текст] / Ф. Главачек , А. Лхотский // Под ред.А.П. Колпакчи. Пер с чешского - М.: Пищ. пром-сть, 1977. - 624 с.

14. Горбатов, А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов [Текст] / А.В. Горбатов, А.М. Маслов.//-М.: Легкая и пищ. пром-сть,1982, 296 с.

15. Горбатюк, А.В. Проблемы фильтрования жидких систем в пищевой

промышленности. Новые материалы. Новые процессы [Текст] / А.В. Горбатюк.// - Межотраслевой научно-технич. Сборник. Технология. Конструкции из композиционных материалов, № 1-2 - 1998. — с. 26 — 30.

16. Горбатюк, А.В. С новыми материалами и новыми процессами фильтрования к классической технологии пива [Текст] / А.В. Горбатюк, В.И. Горбатюк.// Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Индустрия продуктов здорового питания — третье тысячелетие» МГУПП, ч. 1. - 1999. - с. 209.

17. Горбатюк, А.В. Фильтрование пива [Текст] / А.В. Горбатюк, В.И. Горбатюк.// Пиво и напитки, № 5. — 2000. - с. 36 - 42.

18. Горбатюк, А.В. Фильтрование пива. Пути совершенствования процессов и оборудования [Текст] / А.В. Горбатюк, В.И. Горбатюк.// Пиво и напитки, № 1. - 2002. - с. 30 - 33.

19. Горбатюк, В.И., Горбатюк Ал.В, Горбатюк Ан.В. Способ фильтрования растворов пищевого производства. Патент РФ на изобретение № 2143486,27.12.1999.

20. Горбатюк, В.И., Горбатюк Ал.В, Горбатюк Ан.В. Способ холодной пастеризации пива. Патент РФ на изобретение № 2178461, 20.01.2002.

21. ГОСТ 12786 — 80. Пиво. Правила приемки и методы отбора проб.

22. ГОСТ 12787 - 81. Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта расчет сухих веществ в начальном сусле.

23. ГОСТ 12788 — 87. Пиво. Методы определения кислотности.

24. ГОСТ 12789 - 87. Пиво. Методы определения цвета.

25. ГОСТ 12790 — 81. Пиво. Методы определения двуокиси углерода и стойкости.

26. ГОСТ 30060 — 93. Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции.

27. ГОСТ Р 51174 - 98. Пиво. Общие технические условия.

28. ГОСТ ИСО 5725-1-94 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения определения.

29. ГОСТ ИСО 5725-2-94 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерения.

30. ГОСТ ИСО 5725-4-94 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода испытаний.

31. ГОСТ ИСО 5725-6-94 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.

32. Гуцалюк, В.М. Вариационные методы в решениях задач мембранной технологии [Текст] / В.М. Гуцалюк. - К.: Выща шк., 1991. - 59 с.

33. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет [Текст] / Ю.И. Дытнерский // - М.: Химия, 1986. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии.) 272 с.

34. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей [Текст] / Ю.И. Дытнерский // — М.: Химия, 1975. - 229 с.

35. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация [Текст] / Ю.И. Дытнерский // - М.: Химия, 1978. - 352 с.

36. Ермолаева, Г.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков [Текст] / Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева // - М.: ИР-ПО; Изд. Центр «Академия», 2000. - 416 с.

37. Ермолаева, Г.А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия [Текст] / Г.А. Ермолаева // — СПб.: Профессия, 2004. - 536 с, табл., ил., цв. вкл.

38. Жвирблянская, А.Ю. Микробиологический контроль производства пива и безалкогольных напитков [Текст] / А.Ю. Жвирблянская. // — М.: Пищ. промышленность, 1970. - 159 с.

39. Жвирблянская, А.Ю. Микробиология в пищевой промышленности [Текст] / А.Ю. Жвирблянская, О.А. Бакунинская. // - М.: Пищ. промышленность, 1975.-501 с.

40. Живописцев, Ф.А. Регрессионный анализ в экспериментальной физике [Текст] / Ф.А. Живописцев, В.А. Иванов. */1-М.:* Изд-во МГУ, 1995. -208 с.

41. Жужиков, В.А. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий [Текст] / В.А. Жужиков. // - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1980.-400 с.

42. Иванова, Л.А. Стабилизация пива в ФРГ [Текст] / Л.А. Иванова, И.М. Грачева, В.В. Жирова. // - М.: ЦНИИТЭИпищепром., 1982. - 32 с. -(Сер. 10. Пивовар, и безалког. пром-сть. Вып. 7).

43. Каглер, М. Фильтрование пива [Текст] / М. Каглер, Я. Воборский. Пер. с чешского // Под ред. Р.А. Колчевой. - М.: Агропромиздат, 1986. - 279 с.

44. Каданер, Я.Д. Интенсификация процессов производства пива с помощью физических методов воздействия: Обзор, информ. [Текст] / Я.Д. Каданер, И.А. Ананьин, Т.И. Киреева. */1-М.:* ЦНИИТЭИпищепром, 1972.-28 с.

45. Каданер, Я.Д. Перспективы применения электрофизических воздействий в технологии пива и безалкогольных напитков [Текст] / Я.Д. Каданер, В.З. Вадачкория. // - М.: АГРОНИИТЭИПП, 1992. - 26 с. - (Пивовар, и безалког. пром-сть. Вып. 3).

46. Калунянц, К.А. Технология солода, пива и безалкогольных напитков [Текст] /

К.А. Калунянц, В.Л. Яровенко, В.А. Домарецкий, Р.А. Кол-чева. // - М.: Колос. - 1992. - 446 с.

47. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин // Учебник для вузов. - 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. -М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. - 753 с.

48. Ковалевский, К.А. Технология бродильных производств: учебное пособие [Текст] / К.А. Ковалевский. // - Киев: Фирма «ИНКОС», 2004. - 340 с.

49. Колчева, Р.А. Производство пива и безалкогольных напитков [Текст] / Р.А. Колчева, Г.А. Ермолаева. // - М.: Агропромиздат, 1985. - 264 с.

50. Копакчи, А.П. Пути и способы повышения качества пива [Текст] / А.П. Копакчи, СВ. Кудрявцева, Н.В. Голикова и др.// - М.: АгроНИИТЭ-ИПП, 1989. - 32 с. - (Сер. 22. Пивовар, и безалког. пром-сть. Вып. 7).

51. Кунце, В. Технология солода и пива: пер. с нем. [Текст] / В. Кун-це. // Г. Миг - СПб., Изд-во «Профессия», 2003. - 912 с, ил.

52. Липатов, В.А. Мембранные метода разделения молока и молочных продуктов [Текст] / Н.Н. Липатов, В.А. Марьин, Е.А. Фетисов.// - М.: Пищ. пром-сть, 1976. - 168 с.

53. Лобасенко, Б.А. Новые конструкции мембранных аппаратов для пищевых производств [Текст] / Б.А. Лобасенко.// Хранение и переработка сельхозсырья, № 6. - 2001. - с. 50-51.

54. Лобасенко, Б.А. Разработка и исследования аппарата для мембранного концентрирования молочных продуктов [Текст] / Б.А. Лобасенко, О.С. Болотов.// Хранение и переработка сельхозсырья, № 8. - 2000. - с. 37 — 39.

55. Лобасенко, Б.А. Мембранный аппарат, использующий отвод диффузионного слоя с поверхности мембраны [Текст] / Б.А. Лобасенко, С.А. Иванова.// Хранение и переработка сельхозсырья, № 7. — 2001. - с. 57 — 58.

56. Мак - Кечни, М. Основные механизмы разделения твердых частиц и жидкости в пивоварении [Текст] / М. Мак - Кечни.// Спутник пивовара, №2.-1997.с.44-48.

57. Мак-Кечни, М. Фильтрование или процесс разделения твердых частиц и жидкости. Будущее процесса осветления пива [Текст] / М. Мак — Кечни.// Спутник пивовара, № 1. — 1997. - с. 19 — 24.

58. Мальцев, П.М. Химико-технологический контроль производства солода и пива [Текст] / П.М. Мальцев, Е.И. Великая и др.// под ред. П.М. Мальцева. - М.: Пищ. пром-ть, 1976. - 448 с.

59. Мальцев, П.М. Технология бродильных производств [Текст] / П.М. Мальцев.// 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Пищ. пром-ть, 1980. - 560 с.

60. Матисон, В.А. Совершенствование методов и оборудования для улучшения

биологической стойкости пива и безалкогольных напитков. [Текст] / В.А. Матисон // - М.: АгроНИИТЭИПП, 1994. - 38 с. - (Сер. 22. Пивовар.и безалког. пром-ть. Вып. 2).

61. Меледина, Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении [Текст] / Т.В. Меледина.//- СПб.: «Профессия», 2003. - 304 с, ил.

62. Нимш, К. Технология стабилизации пива [Текст] / К.Нимш.// Пиво и напитки, № 2. - 1998. - с. 57 - 58.

63. Остриков, А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / А.Н. Остриков и др.; под ред. А.Н.Острикова // учеб.для вызов в 2 кн.; Кн. 1. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с.,ил.

64. Остриков, А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / А.Н. Остриков и др.; под ред. А.Н.Острикова // учеб.для вызов в 2 кн.; Кн. 2. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с.,ил.

65. Пиндль, А. Пиво и здоровье [Текст] / А. Пиндль.// Мир пива, № 3. -1998.- с.9-11.

66. Плахова, Г.С. Проблемы развития пивоваренной отрасли на современном этапе [Текст] / Г.С. Плахова.// Пиво и напитки, № 2. — 1999. - с. 10—11.

67. Покровская, Н.В. Биологическая и коллоидная стойкость пива [Текст] / Н.В. Покровская, Я.Д. Каданер.// — М.: Пищевая промышленность, 1978.-272 с.

68. Покровская, Н.В. Коллоидная стойкость пива и способы ее повышения [Текст] / Н.В. Покровская.// - М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1973. - 31 с.

69. Прист, Ф.Дж. Микробиология пива [Текст] / Ф.Дж. Прист, И. Кэмпбелл // пер. с анг. под общ. ред. Т.В. Мел единой и Тыну Сойдла. - СПб.: Профессия, 2005. - 368 с, ил., табл.,сх.

70. Проспект мембранного оборудования фирмы «Millipore» (США).

71. Проспект фирмы «Pall» (Германия).

72. Проспект фирмы «Владисарт» (Россия).

73. Проспект фирмы НПО «Керамикфильтр» (Россия).

74. Слюсаренко, Т.П. Основы микробиологии, гигиены и санитарии пивоваренного и безалкогольного производства [Текст] / Т.П. Слюсаренко, Л.Р. Решетняк//-М.: Агропромиздат, 1989. - 184 с.

75. Современные мембранные системы в пищевой промышленности и биотехнологии: Обзорная информация [Текст] / Выпуск 7 // Отв. ред. Б.Н. Федоренко. М.: АгроНИИТЭИПП, 1992. - 36 с.

76. Справочник по производству солода и пива [Текст] / Под ред. М.Т. Денщикова.// - М.: Пищепромиздат, 1962. - 846 с.

77. Тимашев, С.Ф. Физикохимия мембранных процессов. [Текст] / С.Ф. Тимашев // М.: Химия, 1998. - 240 с.

78. Тимкин, В.А. Влияние гидродинамических условий при обратно-осмотическом концентрировании плодовоовощных соков [Текст] / В.А. Тимкин // Хранение и переработка сельхозсырья, № 6. - 2000. - с.33 - 35.

79. Тихомиров, В.Г. Технология пивоваренного и безалкогольного производства [Текст] / В.Г. Тихомиров //- М.: Колос, 1998. - 448 с.

80. Украинец, А.И. Увеличение сроков хранения пива электрофизическим способом [Текст] / А.И. Украинец.// Пиво и напитки, № 3. — 1997. — с. 8.

81. Урьев, Н.Б. Пищевые дисперсные системы (физико-химические основы интенсификации технологических процессов) [Текст] / Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник.// - М.: Агропромиздат, 1985. - 296 с.

82. Усачев, Н.И. Направления развития пивоваренной и безалкогольной промышленности в РФ и других странах [Текст] / Н.И Усачев, Е.А. Дьяконова и др.// 1994. - 40 с.(Сер.-22 Пивовар, и безалког. пром-сть, вып.1).

83. Фараджева, Е.Д. Общая технология бродильных произ-водств[Текст] / Е.Д. Фараджева, В.А. Федоров.// - М.: Колос, 2002. - 408 с, ил.

84. Федоров, В.Г. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности [Текст] / В.Г. Федоров, А.К. Плесконос.// - М.: Пищ. пром-сть, 1980.-240 с.

85. Хоффман, С. Холодностерильная фильтрация на пивзаводе про-изводительностью 1,4 миллиона гектолитров в год [Текст] / С. Хоффман // Мир пива, № 2. - 1998. - с. 12 - 15.

86. Храмцов, А.Г. Микрофильтрация молочного сырья: Обзорная информация [Текст] / А.Г. Храмцов, Е.Р. Абдулина, И.А. Евдокимов */1-М.:* АгроНИИТЭИММП, 1991, 40 с.

87. Черкасов, А.Н. Мембраны и сорбенты в биотехнологии [Текст] / А.Н. Черкасов, В.А. Пасечник.// - Л.: Химия, 1991. - 240 с.

88. Чернова, Е.В. Критерии оценки качества пива [Текст] / Чернова Е.В., Преснякова О.П.// Пиво и напитки, № 3. - 1998. - с. 2 - 5.

89. Шарогородский, В.Б. Опыт применения мембранной технологии в производстве напитков [Текст] / В.Б. Шарогородский, С.Г. Кюркчу.// Пищ. промышл., выпуск 2. - 1988. - 24 с.

90. Шленкер, Р. Принцип тангенциально-проточной фильтрации при рекуперации пива из остаточных дрожжей [Текст] / Р.Шленкер.// Каталог фирмы «ShenkFilterbauGmbH».

91. Шмидт, Х. Микробиологические точки контроля качества и анализ риска на

пивоваренном заводе [Текст] / Х. Шмидт.// Мир пива, № 2. — 1998.-с. 36-37.

92. Шубина, О.Г. Микробиологический контроль при производстве напитков [Текст] / О.Г. Шубина.// Пиво и напитки, № 2. - 2001. — с. 56.

93. Яшнова, П.М. Программы по улучшению качества пива, безалкогольных напитков и минеральных вод [Текст] / П.М. Яшнова, А.Б. Яшнова. // Пиво и напитки, № 4. - 1999. - с. 12-14.

94. Action aplenty in filtration // Chem. Eng. 1990. V. 97, No 2, p. 85-90.

95. Beer clarification by microfiltration - product quality control and fractionation of particles and macromolecules// Q. Gan, J. A. Howell, R. W. Field, R. England, M. R. Bird, C L. O'Shaughnessy and M. T. MeKechinie / Journal of Membrane Science, Volume 194, Issue 2, 15 December 2001, p. 185-196.

96. Crossflow microfiltration of mineral dispersions using ceramic membranes / Petr Mikulasek, Petr Dolecek, Dagmar smidova and Petr Pospisil // Desalination Volume 163, Issues 1-3, 10 March 2004, p. 333-343.

97. Crossflow microfiltration of magnesium hydroxide suspensions: determination of critical fluxes, measurement and modelling of fouling. / Separation and Purification Technology, Volume 16, Issue 1, 10 June 1999, p. 25-45.

98. Crull A.V. Grouth markets for membranes // The 1987 fifth annual membrane technology. Oct. 21-23, 1987. Cambridge, USA, p. 88-95.

99. Crull A.V. Potential markets for surface modified membranes // Proceedings of 1990 membrane conference and high-tech, separation symposium. Oct. 15-17,1990. Norwalk, USA, p. 529-540.

100. Crull A.V. Prospects for the inorganic membrane bussiness // Key Eng. Mater. 1991. V. 61/62, No 1, p. 279-288.

101. Charpin J., Burggraaf A.J., Cot L. // Ind. ceram. 1991. V. 11, No 2 ,p. 83-90.

102. Detlev S. Die Bierfiltration und Ruckbier behandlungmit Membranen// Brauindustrie. - 1992. - №2. - p. 91 - 97.

103. Gallagher P.M. Novel composite inorganic membranes for laboratory and process applications // Proceedings of 1990 membrane conference and high-tech. separation symposium. Oct. 15-17, 1990. Norwalk, USA, p. 242-249.

104. Gan, Q., et al: Beer clarification by crossflow microfiltration: Fouling mechanisms and flux enhancement. Trans. Lchem. E75A, 1997, p.3.

105. Hydrodynamic aspects of crossflow microfiltration. Analysis of particle deposition at the membrane surface // P. Schmitz, D. Houi and B. Wandelt / Journal of Membrane Science, Volume 71, Issues 1-2, 3 July 1992, p. 29-40.

106. Inorganic membranes: Markets, technologies, players. Bus. Commun. Co. 1994, February 21.

107. Kiefer J. Sterilflltration von Bier // Brauindustrie. - 1993. - №11. -p.1150-1158.

108. Membrane technology has achieved success, yet lags potential // Chem. and Eng. News. 1990. V. 68, No 40, p. 22-26.

109. Michaels A.S. New horizons for membrane technology // The 1987 fifth annual membrane technology. Oct. 21-23,1987. Cambridge, USA, p. 336-354.

110. Microfiltration of beer yeast suspensions through stamped ceramic membranes // J. Stopka, S. G. Bugan, L. Broussous, 3. Schlosser and A. Larbot / Separation and Purification Technology, Volume 25, Issues 1-3, 1 October 2001, p. 535-543.

111. Microfiltration of beer yeast suspensions through stamped ceramic membranes // J. Stopka, S. G. Bugan, L. Broussous, s. Schlosser and A. Larbot / Separation and Purification Technology, Volume 25, Issues 1-3, 1 October 2001, p. 535-543.

112. Modeling of concentration polarization and depolarization with high-frequency backpulsing Journal of Membrane Science, Volume 121, Issue 2, 11 December 1996, Pages 229-242.

113. Modular UF system from Bioken // Membrane and Separ. Technol. News. 1991. No 2, p. 15, 16.

114. Mulder, M.: Basic principles of membrane technology, ed. K.A. Pub lishers 1991, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.

115. Paul D., Grobe V., Rodicker H. Polymermembranen in der Stoff-trenntechnik // ChemischeTechnik. - 1989. - H.5. - p.l87 - 192.

116. Pedersen P.J. Microfiltration for reduction of bacteria in milk and brine // New application of membrane processes. Belgium. 1992, p. 33-50.

117. Process for removing alcohol from liquides: Пат. 5382364 США, МКИ^6 B01 D61/36 / Bowser J., Dinnison J.; W.L. Gore and Associates, Inc. -№32542; Заявл. 17.3.93; Опубл. 17.1.95; НКИ 210/640.

118. Rene F., Maingonnat J. - F. Microfiltration tangentielle de la biere. Revue bibliographique // Sci. And Techn. Aerosp. Repts. - 1992. - Pt 1, Annu. Index. -p.721 -729.

119. Synergetic cleaning procedure for a ceramic membrane fouled by beer microfiltration. // Q. Gan, J. A. Howell, R. W. Field, R. England, M. R. Bird and M. T. McKechinie / Journal of Membrane Science, Volume 155, Issue 2, 12 April 1999, p. 277-289.

120. Stopka, J. Microfiltration of beer from concentrated yeast suspensions on ceramic

membranes. V materi-alochkurzu Tempus, 1997, ChTF STU (edit. S. Schlosser, E. Sabolova).

121. The effect of oscillatory flow on crossflow microfiltration of beer in a tubular mineral membrane system - Membrane fouling resistance decrease and energetic considerations // P. Blanpain-Avet, N. Doubrovine, CLafforgue and M. Lalande/Journal of Membrane Science, Volume 152, Issue 2,20 January 1999, p. 151-174.

122. The unsteady-state modelling of cross-flow microfiltration // J. W. Hunt, C. J. Brouchaert, J. D. Raal, K. Treffry-Goatley and C. A. Buckley / Desalination, Volume 64, 1987, p. 431-442.

123. Yeast cells, beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes// Luc Fillaudeau and Helene Carrere / Journal of Membrane Science, Volume 196, Issue 1,15 February 2002, p. 39-57.

124. Рухадзе Ш.Ш., Старов В.М., Апридонидзе М.Д. «Интенсификация процесса мембранного разделения при наложении пульсации давления в межмембранном канале». Материали международной научно-практической интернет-конференции, Кутаиси, 2011, с.90-95

125. მ. აფრიდონიძე, შ. რუხაძე „ყურძნის წვენისა და სუსტი კონცენტრაციის ლატექსის სუსპენზიის მიკროფილტრაცია“ საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის "ბიოუსაფრთხო კვების პროდუქტთა პრობლემები და ბიზნეს გარემო" შრომათა კრებული გვ.36-40. 2010

126. აფრიდონიძე მ. დ., რუხაძე შ.შ. „მემბრანის ფორის ზომის განსაზღვრის ინოვაციური მეთოდი“ საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის "კვების პროდუქტების წარმოების ტექნოლოგიებისა და ტექნიკის სრულყოფა" შრომათა კრებული, ქუთაისი 2011

127. Ш.Рухадзе, Д.Тавдидишвили, Р.Ломаиа,Т.Фхакадзе,Т.Бешкенадзе, "Иследование и интенсификация процесса ультрафильтрации биологических растворов", Georgian Enginering News, N4(vol.48),2008.с.146-148.

128. შ.რუხაძე,"ღვინის ტანგენციალური მიკროფილტრაცია", საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის "თანამედროვე ტექნოლოგიები და მასალები"-თეზისები,ქუთაისი, 14-16. 05 2008, გვ.141-142.

129. შ.რუხაძე, დ.თავდიდიშვილი, რ.ლომაია,"ბადაგისა და ღვინის მემბრანული ფილტრაცია","სურსათის უვნებლობის პრობლემები" საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის შრომათა კრებული, თბილისი საქართველო, 28-29 მაისი,2009,გვ.306-310

130. Ш. Рухадзе, Р.Ломаиа, "Уменьшение потерь белков при ультрафильтрационном концентрировании с применением режима пульсированного потока растворов биологически активных веществ", Научнные новости Грузии ,N2, 2009.

131. Рухадзе Ш.Ш., Ломаиа Р.Т. “Интенсификация процесса ультрафильтрации раствора гамма глобулина”, Научнные новости Грузии N1(5). 2010, с.49-53

დ ა ნ ა რ თ ი

„შეთანხმებულია“

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო

უნივერსიტეტის ადმინისტრაციის

ხელმძღვანელი

---------- კახა კუპატაძე

„___“ ______ 2018წ.

„ვამტკიცებ“

შპს „ქუთაისის“

დირექტორი

---------- იოსებ იობიძე

„___“ ______ 2018წ

მემბრანულ აპარატში პულსირებულ ტანგენციალურ ნაკადში ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის საწარმოო-ექსპერიმენტალური გამოცდის

აქტი

ჩვენ ქვემოდ ხელის მომწერნი, შპს „ქუთაისის“წარმომადგენლები: დირექტორი იოსებ იობიძე, მოწვეული სპეციალისტი, ტექნოლოგი ნუკრი სიხარულიძე და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის წარმომადგენლები: მექანიკა-მანქანათმშენებლობის დეპარტამენტის პროფესორი შოთა რუხაძე, ასოცირებული პროფესორები ოთარ სესიკაშვილი და გია დადუნაშვილი, დოქტორანტი შალვა ცაგარეიშვილი ვადგენთ წინმდებარე აქტს მასზედ, რომ 2017 წლის აგვისტოში ჩატარებული იქნა ლუდის „გერმანული“ (ტი 9184-103 2017) მემბრანული მიკროფილტრაციით გაკრიალების საწარმოო-ექსპერიმენტალური გამოცდა .

გამოცდა ჩატარებული იქნა შპს „ქუთაისის ბაზაზე ტანგენციალურ რეჟიმში ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის ექსპერიმენტალურ დანადგარზე, რომლის ძირითად ელემენტებს წარმოადგენდა:საცირკულაციო ჭურჭელი მოცულობით 50 ლ, ცენტრიდანული ტუმბო მწარმოებლობით 0,6...3,6 $м^3$/სთ მაქსიმალური მუშა წნევით 0,6 მპა, საფილტრაციო აპარატი, რომლის შიგნითაც განლაგებულია მემბრანული მოდული, შემდგარი რვა ერთარხიანი მილისებრი KMФЭ ტიპის კერამიკული მემბრანებისაგან. მექანიკა-მანქანათმშენებლობის დეპარტამენტში და საწარმოო პირობებში ჩატარებულმა წინასწარმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა განგვესაზღვრა

პროცესის რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები და ფილტრების ოპტიმალური თანმიმდევრობა, (პროცესის პარამეტრები: ლუდის ტემპერატურა 273...276 K, ტანგენციალური ნაკადის სიჩქარე არაუმეტეს 2მ/წმ, მუშა წნევა მემბრანებისათვის 5 მკმ - 0,14 მპა, 0,4 მკმ - 0,34 მპა; ფილტრების თანმიმდევრობა: ფილტრი ფორების ზომით 5 მკმ ერთდროულად უხეში და დახვეწილი ფილტრაციისათვის, შემდგომ მასტერილებელი (გამაუსნებოვნებელი) ფილტრი ფორების ზომებით 0,4 მკმ, რომლებიც რეკომენდებული იქნა საწარმოო გამოცდისათვის.

ცდების ჩატარების დროს საცდელ პროდუქტად გამოიყენებოდა გაუფილტრავი ლუდი „გერმანული", ნიმუშის აღება ხდებოდა უშუალოდ ტანკიდან. ლუდის ფილტვრადობის შესაფასებლად ვიყენებდით გამოცდას კომპიუტერული პროგრამით.

ექსპერიმენტაბს ვატარებდით სამი საათის განმავლობაში ჭურჭლის გაცლამდე, მიღებულ პერმეატს ვაგროვებდით 0,4 მკმ მემბრანაზე შემდგომი ფილტრაციისათვის. 0,4 მკმ მემბრანაზე ფილტრაციის დროს მიღებულ პერმეატს ვაბრუნებდით ჭურჭელში. თითეულ ცდაზე ვსაზღვრავდით მუშა წნევას და კერამიკული მემბრანების მწარმოებლობას გაუფილტრავი ლუდის მიხედვით.

ცდების შედეგებით მიღებული იქნა მემბრანებისთვის ფორის დიამეტრებით 5 და 0,4 მკმ გაღწევადობის მიკროფილტრაციის ხანგრძლივობაზე და მუშა წნევის სიდიდეზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

ფილტრაციის პროცესის ხარისხის შესაფასებლად მოწმდებოდა გაფილტრული ლუდის ისეთი ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლები როგორებიცაა: ექსტრაქტულობა, სპირტის მოცულობითი წილი, მიკროორგანიზმების შემცველობა, pH, სიმღვრიე.

ხდებოდა აგრეთვე საწარმოოს მოწყობილობებზე და მემბრანულ აპარატებზე გაკრიალებული ლუდების შედარებითი ორგანოლეპტიკური შეფასება შემდეგი მაჩვენებლებით: გამჭირვალობა, ფერი, არომატი, გემო, ქაფწარმოქმნა და ნახშირორჟანგით გაჯერება.

ლაბორატორული კვლევების საწარმოო აპრობაციის შედეგად დადასტურებული იქნა ლუდის მიკროფილტრაციის პროცესის რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები მიღებული ლაბორატორიულ პირობებში მოდელურ ხსნარებზე.

დასკვნები

1. ჩატარებული საწარმოო გამოცდის შედეგად დადგენილია ლუდის გაკრიალების შესაძლებლობა რთული და ძვირადღირებული მოწყობილობების გამოყენების გარეშე.

2. ჩატარებულმა კვლევებმა დაადასტურა ლუდის ფილტრაციის რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები. დადგენილია, რომ მიღებული ლუდი თავისი ორგანოლეპტიკური და ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლებით შეესაბამებიან ნორმებს.
3. შემოთავაზებული პულსირებად ტანგენციალურ ნაკადში ლუდის ფილტრაციის მეთოდი რეკომენდირებულია დასანერგად ლუდის მწარმოებელ საწარმოებში.

შპს „ქუთაისის“წარმომადგენლები:

შპს „ქუთაისის„ დირექტორი — იოსებ იობიძე

მოწვეული სპეციალისტი, ტექნოლოგი — ნუკრი სიხარულიძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის წარმომადგენლები:

მექანიკა-მანქანათმშენებლობის დეპარტამენტის

პროფესორი — შოთა რუხაძე

ასოცირებული პროფესორი — ოთარ სესიკაშვილი

ასოცირებული პროფესორი — გია დადუნაშვილი

დოქტორანტი — შალვა ცაგარეიშვილი