

ნანა თომაძე

**მცენარეული საკვებ-პროზილაქტიკური ემულსიების
წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივნისი, 2014 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერნი, გავეცანით ნანა თომაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ მცენარეული საკვებ-პროფილაქტიკური ექსტრაქტების წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება “ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის“ სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

“-----“----- 2014 წ.

ხელმძღვანელი: კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის

სრული პროფესორი ზურაბ ჯაფარიძე

რეცენზენტი: ტ.მ.დ., სრული პროფესორი

თ.მეგრელიძე

რეცენზენტი: ქიმიის დოქტორი, ასოც. პროფესორი

ლ.ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2014 წელი

ავტორი: თომაძე ნანა
დასახელება: მცენარეული საკვებ-პროფილაქტიკური ექსტრაქტების
წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება
ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის
ხარისხი: დოქტორის აკადემიური ხარისხი
სხდომა ჩატარდა: "-----"----- 2014 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთმოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

მცენარეული საკვებ-პროფილაქტიკური ექსტრაქტების წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება. ნანა თომაძე. 133 გვ, ილუსტრაცია 53, ცხრილი 9.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტები ფართოდ გამოიყენება როგორც საკვები პროდუქტების დანამატები და სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალებები. ნედლეულში არსებული ანტოციანები, ფლავონოიდები და სხვა ფენოლური ნაერთები მათი გამოხატული ანტიოქსიდანტური მოქმედების მექანიზმით, დიდ ყურადღებას იმსახურებს. ანტიოქსიდანტური ეფექტი ხელს უშლის თავისუფალი რადიკალების მოქმედებას. სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით, ეს ნივთიერებები ხელს უწყობენ ადამიანის სასიცოცხლო ორგანოების ფუნქციონირების მკვეთრ გაუმჯობესებას.

ამჟამად ცნობილია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტის შემცველი რამოდენიმე დასახელების ბიოლოგიურად აქტიური დანამატი საკვებზე-ოფიციალური ინფორმაცია საქართველოში მცენარეული ნედლეულის გამოყენებით რაიმე საკვები ან სამკურნალო-პროფილაქტიკური დანიშნულების პროდუქციის წარმოების შესახებ ნაკლებად მოიპოვება. ნაკლებად არის მეცნიერულად შესწავლილი და დასაბუთებული საქართველოში გაგრძელებული მრავალი მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციული მახასიათებლები. სრულყოფას მოითხოვს ექსტრაქციის პროცესის მანქანა-აპარატურული უზრუნველყოფა.

სამუშაოს მიზანია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ახალი მეთოდების კვლევა, შესაბამისი მოწყობილობების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების მეთოდური საფუძვლების დამუშავება, ზოგიერთი მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება და წარმოების რაციონალური პროცესულ-აპარატურული სქემის დამუშავება.

სამუშაოს მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ორიგინალური კონსტრუქციის ექსტრაქტორის დამუშავება, მასში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური, დიფუზიური და კინეტიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირება, კონკრეტული მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციული მახასიათებლების და ექსტრაქციის პროცესის კვლევა, ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება და წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემის შექმნა.

სადისერტაციო ნაშრომში შესწავლილი და გაანალიზებულია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის მეთოდები და მოწყობილობები, რის სფუძველზედაც დამუშავებულია ორიგინალური საექსტრაქციო აპარატი, რომელშიც თხევადი ფაზის ეჟექციური ცირკულაციით მიღწეულია პროცესის ინტენსიფიკაცია მაღალი ტექნოლოგიური ეფექტით. წარმოდგენილია ექსტრაქტორში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესის თეორიული ანალიზი. მიღებულია განტოლება, რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას აპარატის მთავარ კვთებში წნევათა ფარდობით ვარდნას, ფართობებს, სიჩქარეთა კოეფიციენტებს და ინჟექციის კოეფიციენტს შორის. განსაზღვრულია აგრეთვე აპარატის მთავარი კვთების ფართობების ოპტიმალური ფარდობის სხვა ძირითად ფაქტორებთან დამოკიდებულებათა კანონზომიერებები.

გაკეთებულია ექსპტორულ ექსტრაქტორში მიმდინარე პროცესის ენერგეტიკული სეფასება. ამ მიზნით გაანალიზებულია თხევადი და მყარი ფაზების ნარევის მოძრაობის კანონზომიერებები შემწოვ და შემრევ მილებში ცვლადი წნევების და სიჩქარეებისაგან დამოკიდებულებით. წარმოდგენილია ნარევის ნაკადზე გადაცემული დამატებითი ენერჯის საანგარიშო ფორმულა.

ჩატარებულია მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიის, როგორც სტოქასტიკური პროცესების, ალბათური შეფასება და განისაზღვრა ამ პროცესების ძირითადი კანონზომიერებები, რომლებიც აღწერილია მათემატიკური გამოსახულებებით. შედგენილია მათემატიკური მოდელი, რომლითაც აღწერილია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესი. მიღებულია ამ პროცესის განმსაზღვრელი კონსტანტას ექსპონენციალური განტოლება. მოცვის ნაყოფიდან ფენოლური ნაერთების გამოყოფის მაგალითზე ჩატარებულია წინასწარი ექსპერიმენტული კვლევები და მიღებულია მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავლიანობის დამოკიდებულება ძირითად ფაქტორებზე. მიღებულია ემპირიული კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები. მიღებულია მიზნობრივი პროდუქტის წონასწორულ კონცენტრაციამდე გამოყოფის დამოკიდებულება: ექსტრაგენტის ტემპერატურაზე, ექსტრაგენტის ცირკულაციური ციკლების სიხშირეზე, ექსტრაგენტის კონცენტრაციაზე, მყარი და თხევადი ფაზების თანაფარდობაზე და მათი მოცულობითი მასების ფარდობაზე. დადგენილია, რომ ფაზური, წონასწორული კონცენტრაციის დამყარება ფაქტორების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის ხდება დაახლოებით 11-12 სთ-ის განმავლობაში.

ჩატარდა კვლევის ობიექტის – ქართული მთის მოცვის ნედლეულის ლაბორატორიული გამოკვლევა, რომელიც უნიკალურია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შემადგენლობით. ქრომატოგრაფირების მეთოდით განისაზღვრა გამომშრალ მოცვის ნაყოფში ძლიერი ანტიოქსიდანტური ნივთიერებების - ანტოციანების და ფლავონოიდების შემცველობა. ჩვენს მიერ, ქართული მთის მოცვის ბაზაზე, ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული ექსტრაქტების ანალიზმა აჩვენა, რომ საქართველოში გავრცელებული მოცვის კენკრა შეიცავს, გაცილებით (1,4-1,5-ჯერ) მეტ ანტოციანიდებს, ვიდრე ლიტერატურული მონაცემებით ამერიკისა და ევროპის მრავალ ქვეყანაში გავრცელებული.

მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტების ქიმიური ანალიზი შესრულდა მაღალი წნევის სითხური ქრომატოგრაფირების მეთოდით. გამოყენებული იყო გრადიენტული ქრომატოგრაფი, ქრომატოგრაფიული სეეტი, დეტექტირება 360 და 510 ნმ ტალღის სიგრძეზე. გამსხნელთა სისტემები იყო: I. 5%-იანი ჭიანჭველმჟავა; II. მეთანოლი. გამსხნელის სიჩქარე იყო 1 მლ/წთ-ში, საკვლევი ნიმუშის რაოდენობა 20 მლ, ქრომატოგრაფირების ხანგრძლივობა 45 წთ.

ანტოციანების საკვლევი ხსნარის მისაღებად ნიმუშს ვაქუცმაცვებით და ვამატებდით 40%-იან ეთანოლს, რომლის შემჟავება ხდებოდა 1%-იანი მარილმჟავათი ან ლიმონმჟავათი. ნიმუშისა და ექსტრაგენტის თანაფარდობა შეადგენდა – 1:10. ექსტრაქციის ხანგრძლივობა იყო 24 საათი ოთახის ტემპერატურაზე. მიღებული ექსტრაქტი იფილტრებოდა.

ფლავონოიდების საკვლევი ხსნარის მისაღებად დაქუცმაცებულ ნიმუშს ვამატებდით 80%-იან ეთანოლს და მდუღარე წყლიან აბაზანაზე ვაექსტრაჰირებდით 40 წუთის განმავლობაში. მიღებულ ექსტრაქტი იფილტრებოდა და კონცენტრირებდებოდა ვაკუუმის პირობებში 50°C-ზე.

ექსტრაქტული წყალხსნადი ნივთიერებების რაოდენობა მოცვის ნიმუშებსა და მის ექსტრაქტებში განისაზღვრა აორთქლებისა და მუდმივ წონამდე დაყვანის მეთოდით.

ექსპერიმენტულ დანადგარზე ჩატარებულია ექსპერიმენტული კვლევები. კვლევის ობიექტად შერჩეული იყო ქართული მთის მოცვის ნაყოფი. კვლევები ჩატარდა მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვით. მოქმედ ცვლად ფაქტორებად მიღებული იყო: ექსტრაქციის ტემპერატურა; ექსტრაქციის ხანგრძლივობა, ექსტრაგენტისა და ნედლეულის მასური თანაფარდობა და საექსტრაქციო მოცვის ნაყოფის წინასწარ დამუშავების ხასიათი. ცდების შეფასების კრიტერიუმებად განისაზღვრა: ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა და მოცვის ნაყოფიდან ექსტრაქტული ნივთიერების გამოსავლიანობა. შესაბამისად მიღებულია ორი რეგრესიის განტოლება. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოძახილების ერთზომადი კვეთებით აგებულია ოპტიმიზაციის კრიტერიუმების ცვლად ფაქტორებზე დამოკიდებულებათა გრაფიკული გამოსახულებები. პარამეტრების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტით მოცვის ნაყოფის წინასწარი დამუშავების კატეგორიების მიხედვით განისაზღვრა კრიტერიუმების ოპტიმალური მნიშვნელობების ზღვრები: ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობისათვის – 5,9...9,9 პირობითი ერთეული და მოცვის ნაყოფიდან ექსტრაქტული ნივთიერების გამოსავლიანობისათვის – 397...461 კგ/ტ.

პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენდა მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტის დაკონცენტრირების პროცესში ანტიოქსიდანტური აქტივობის ცვალებადობის ხასიათის დადგენა ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ვარიანტების მიხედვით. განისაზღვრა, რომ კონცენტრირების პროცესში ადგილი აქვს ანტიოქსიდანტური აქტივობის შემცირების ტენდენციას. ამასთან, რაც მეტია მოცვის ექსტრაქტის საწყისი ანტიოქსიდანტური აქტივობა, მით ინტენსიურად მიმდინარეობს მისი დაცემა. ამასთან, არის პირდაპირი კავშირი ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტურ აქტივობასა და ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ვარიანტებს შორის.

სამუშაოს დასკვნით ნაწილში დამუშავდა მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური თხევადი ექსტრაქტის ხარისხის კონტროლის მეთოდი, თხევადი დაკონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტების წარმოების ტექნოლოგიური სქემა და შესრულდა პროცესის აპარატურული გაფორმება.

Abstract

Process-equipment developments and prevention of food extracts of plant materials. Nana Tomadze. 133 p.,53 illustrations, 9 tables.

Extracts of plant materials are widely used as food additives and as preventive medication. Availability of anthocyanin and flavonoids with its expressed mechanism of antioxidant effect in raw materials deserves close attention. Antioxidant effect prevents the reaction of free radicals. According to different authors, these substances bring about a sharp improvement in the functioning of vital organs.

Nowadays, several nominations of biologically active additives to food are known. Official information on the manufacture of food or medical-preventive products using plant materials in Georgia is less accessible. There are no scientific studies and evidence of different types of extraction of plant material characteristics in Georgia. Machine-extraction process requires improvement.

The aim is: to study new methods of extraction of vegetable raw materials, the development of methodological principles of calculation and design of the equipment, to prove technological conditions of extraction process of certain vegetable raw materials and to handle a rational process-instrumental patterns of production.

The scientific novelty of the work is a creation of the original design of the extractor, the mathematical analysis of hydrodynamic, diffusion and kinetic processes in the extractor and the study of the extraction process on the example of a specific plant material, justification of technological regimes and the creation of a process-equipment pattern of production.

The thesis studies and analyses the methods of extraction and its equipment, on the bases of which an original extraction apparatus was designed, where by the circulation of the liquid phase injection, an intensification of the process with high technological effect was achieved.

There are presented theoretical analysis of hydrodynamic processes taking place in the extractor. An equation is formulated for the main sections of the unit which intercommunicates between the differential pressure areas, and injection speed ratio. Dependence of the optimal ratio of the area in the main sections of the unit with other basic parameters are defined as compliance with the law.

Energy evaluation process in the injector extractor is conducted. For this purpose the patterns of motion of the mixture of liquid and solid phases in the suction and mixing tubes are analysed, depending on the variable pressure and velocity. Calculated formula of additional energy, that is transferred to the flow of the mixture, is presented.

Probabilistic assessment of stochastic processes of molecular diffusion and convection is held and the main regularities of these processes are determined and depicted by mathematical expressions. The mathematical model, which describes the kinetic process of extraction of plant materials, is being proposed. An exponential equation of constants in the specified process is formulated. On the example of the fruits of bilberry extract phenolic compounds, preliminary experimental studies were done and the dependence of the yield of the desired product from the main factors and numerical values of the empirical coefficients was obtained. Alongside there are obtained relationships between recovery of the target product to the equilibrium concentration of the following factors: the temperature of the extractant, the frequency of circulation cycles of extractant, its concentration and the ratio of the masses liquid and solid phases. It was stated, that the phase, the equilibrium concentration for different values of the factors, are achieved in approximately 11-12 hours.

The laboratory studies were held on raw fruits- blueberries, which are unique to

qualitative and quantitative content of their biologically active substances. Chromatography determined the content of strong antioxidant substances - anthocyanin and flavonoids in dried fruit- blueberries. The analysis made in laboratory on the basis of bilberry extract has shown, that in Georgia the rock blueberries contain approximately 1.4-1.5 times more similar materials to anthocyanin than blueberries in many countries of Europe or America.

Chemical analyse on bilberry extract was performed under high pressure liquid chromatography. A gradient chromatograph had been used. Chromatographic waves were detected at 360 and 510 nm length waves. The solvent systems used were: I. 5% formic acid; II. Methanol. The rate of solvent was 1 ml / min, the amount of the sample - 20 ml, and the duration of chromatography – 45 min.

To obtain the sample solution of anthocyanin, the sample was grounded and 40% ethanol was added, the oxidation was carried out with 1% hydrochloric acid or citric acid, the ratio of the sample and the extractant was - 1:10, extraction duration - 24 hours at room temperature, the extract was subjected to filtration.

To obtain the sample solution of flavonoids, 80% ethanol was added to a particular sample and boiling water extraction was performed for 40 minutes. The extract was filtered and concentrated in a vacuum at a temperature of 500 C.

The amount of extractives, water-soluble substances in the samples of blueberries and its solutions were determined by evaporation, and was brought to a constant weight.

At the pilot production- experimental studies were carried out. The object of the study was selected fruit- Georgian rock blueberry. The method of mathematical planning of multifactor experiment was used. Variable factors were: extraction temperature, duration of extraction, the weight ratio of the extractant and the raw material and the nature of pre-treated bilberry fruit. As the evaluation criteria antioxidant activity of the extract and the yield of extractives were selected. Respectively two regression equations were received .By one-dimensional sections of optimization parameter responses were plotted out the graphic presentation of optimization parameters dependence to variable factors. By solving the problem of optimizing the parameters of blueberry raw fruit pre-treated by categories the best value of limits of criteria were defined: for the antioxidant activity of the extract - 5.9 ... 9.9 units, and to exit the extractives from bilberry fruit - 397 ... 461 kg/t.

Practical interest aroused to state the nature of variability of antioxidant activity of raw materials according to pre-treated options in the process of concentration of blueberry fruit.

It was determined that in the process of concentration a tendency of reduction of antioxidant activity was occurred. In this case, more the initial antioxidant activity of blueberry extract, more intensive is its decrease. In addition might be mentioned that, there is a direct link between the antioxidant activity and pre-treatment options.

In the final part of the results of the development: the method of quality control of the active liquid extract of bilberry was worked out, technological process of concentrated liquid and dry extracts as well as hardware design process was elaborated.

შინაარსი

შესავალი	15
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	19
1.1. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ბიო-ფიზიკური მექანიზმი	19
1.2. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის თეორიული საფუძვლების მიმოხილვა	22
1.3. ექსტრაქციის მეთოდების კლასიფიკაცია	28
1.4. მყარი მასალიდან ნივთიერებათა საექსტრაქციო მოწყობილობები	29
1.5. I თავის დასკვნები	48
2. შედეგები და განსჯა	49
2.1. მცენარეული ნედლეულის ორიგინალური ექსტრაქტორის დამუშავება	49
2.2. ექსტრაქციის ჰიდროდინამიკური პროცესის თეორიული ანალიზი	52
2.3. ექსტრაქციის ექსტრაქციის ენერგეტიკული ეფექტის შეფასება	62
2.4. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის ალბათური შეფასება	66
2.4.1. დიფუზიური პროცესის ანალიზი	66
2.4.2. კონვექციური დიფუზიის პროცესის ანალიზი	69
2.5. ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის კვლევა	72
2.6. ექსტრაქციის პროცესის კონსტანტას ექსპერიმენტული კვლევა	76
2.7. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ექსპერიმენტული კვლევა	83
2.7.1. ნედლეულის დახასიათება	83
2.7.2. ნედლეულის ლაბორატორიული გამოკვლევა	85
2.7.3. მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება	87
2.7.4. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობების დასაბუთება	88
2.7.5. საწარმოო-ექსპერიმენტული დანადგარი	93
2.7.6. მოცვის ექსტრაქტების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრის მეთოდოლოგია	96
2.7.7. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის რეალიზაცია	99
2.7.8. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის ოპტიმიზაცია	105
2.7.9. მოცვის ნაყოფის თხევადი ექსტრაქტის დაკონცენტრირება	107
2.7.10. მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური თხევადი ექსტრაქტის ხარისხის კონტროლის მეთოდის დამუშავება	109

2.7.11. მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა და აპარატურული გაფორმება	111
2.7.12. ექსტრაქტორის რეკომენდებული ტექნიკური მახასიათებლები	116
3. დასკვნა	118
გამოყენებული ლიტერატურა	121
დანართი	127
დანართი 1	128
დანართი 2	132

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ექსტრაქციის პროცესის კონსტანტას ექსპერიმენტული კვლევის გეგმა	78
ცხრილი 2. ანტოციანებისა და ფლავონოლების შემცველობა მოცვის ნაყოფში	86
ცხრილი 3. ფლავონოიდური ნაერთების რაოდენობრივი შემცველობა, მგ/კგ	86
ცხრილი 4. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები	91
ცხრილი 5. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები	100
ცხრილი 6. რეგრესიის განტოლებების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები	101
ცხრილი 7. ოპტიმიზაციის პარამეტრების მნიშვნელობები ფაქტორების ოპტიმალურ მნიშვნელობებზე მოცვის ნაყოფის წინასწარი დამუშავების კატეგორიების მიხედვით	107
ცხრილი 8. დაკონცენტრირების პროცესში ანტიოქსიდანტური აქტივობის ცვალებადობის დინამიკა (3%-იან კონცენტრატზე გადაანგარიშებით), ნმ/ ებ	109
ცხრილი 9. მოცვის ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის მეტროლოგია (ეტალონი-კვერცეტინი, ნედლეულის წინასწარი გადამუშავების II ვარიანტისთვის)	111

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. ექსტრაქციის მეთოდების კლასიფიკაცია	29
ნახ.2. უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორების კლასიფიკაცია	31
ნახ.3. პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატი	31
ნახ.4. უწყვეტი ქმედების, შნეკური, ვერტიკალური ექსტრაქტორის სქემა	32
ნახ.5. დახრილი ექსტრაქტორის სქემა	32
ნახ.6. თანაბრად განაწილებული ნედლეულის რეპერკოლაციის სქემა	34
ნახ.7. რეპერკოლაცია ნედლეულის დაყოფით არათანაბარ ნაწილებად	35
ნახ.8. რეპერკოლაციის სქემა ბოსინის მიხედვით	36
ნახ.9. შნეკური სარწყავი ექსტრაქტორი	38
ნახ.10. ღენტური სარწყავი ექსტრაქტორი	39
ნახ.11. მრავალკოლონიანი საექსტრაქციო აპარატი	39
ნახ.12. მარცვლის დამღობობი როფი	40
ნახ.13. ვხვედელიძის სისტემის საექსტრაქციო აპარატი	43
ნახ.14. ცირკულაციური საექსტრაქციო დანადგარის სქემა	44
ნახ.15. მაგნიტურ-იმპულსური აპარატის სქემა	45
ნახ.16. პულსაციური ექსტრაქტორი	46
ნახ.17. საექსტრაქციო აპარატის სქემა	50
ნახ.18. ჭავჭავური აპარატის საანგარიშო სქემა	54
ნახ.19. ექსტრაქტორის ჰიდროდინამიკური პროცესის საანგარიშო სქემა	56
ნახ.20. $\nabla p_{\text{ჟ}} / \nabla p_{\text{ა}}$ და $f_{\text{ჟ}} / f_{\text{ა}}$ დამოკიდებულება ინჟექციის კოეფიციენტთან u	59
ნახ.21. საექსტრაქციო აპარატში ნაკადების სიჩქარეთა განაწილება	60
ნახ.22. შემწოვ მილში ნაკადის მოძრაობის საანგარიშო სქემა	64
ნახ.23. მყარ სფერულ ნაწილაკში დიფუზიური პროცესის ფიზიკური მოდელი	67
ნახ.24. ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკური გრაფიკები ექსტრაგენტის 70°C ტემპერატურის დროს	79
ნახ.25. ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკური გრაფიკები ექსტრაგენტის 50°C ტემპერატურის დროს	80
ნახ.26. ექსტრაქციის მეორე საფეხურის კინეტიკური გრაფიკი	80
ნახ.27. $C_{\text{თ.ფ.}}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის ტემპერატურაზე	81
ნახ.28. $C_{\text{თ.ფ.}}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის ცირკულაციური ციკლების სიხშირეზე (n)	82
ნახ.29. $C_{\text{თ.ფ.}}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის კონცენტრაციაზე	82

ნახ.30. $C_{თ.ფ.}$ დამოკიდებულება მყარი და თხევადი ფაზების მოცულობითი მასების ფარდობაზე	83
ნახ.31. საწარმო-ექსპერიმენტული დანადგარი ვ.ხვედელიძის სისტემის აპარატის ბაზაზე	94
ნახ.32. ლაბორატორიული საექსტრაქციო აპარატი	95
ნახ.33. ხუთი თანმიმდევრობით განხორციელებული დოზირების აღმწარმოებლობის ნიმუში	99
ნახ.34. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოდახილების ერთზომადი კვებები X_1 ფაქტორისათვის (ექსტრაქციის ტემპერატურა)	102
ნახ.35. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოდახილების ზედაპირები X_2 ფაქტორისათვის (ექსტრაქციის ხანგრძლივობა)	103
ნახ.36. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოდახილების ერთზომადი კვებები X_3 ფაქტორისათვის (ექსტრაგენტი/ნედლეული)	104
ნახ.37. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოდახილების ერთზომადი კვებები X_4 ფაქტორისათვის (ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ხასიათი)	104
ნახ.38. მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა	112
ნახ.39. მცენარეული ნედლეულის თხევადი და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების აპარატურული სქემა	115
ნახ.40. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ-სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი	116
დანართი	127
ქრომატოგრამა 1, 2	128
ქრომატოგრამა 3, 4	129
ქრომატოგრამა 5, 6	130
ქრომატოგრამა 7, 8, 9	131
ნახ.დ.1. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა (ეტალონი კვერცვინი, V ვარიანტი)	132
ნახ.დ.2. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა (ეტალონი კვერცვინი, IV ვარიანტი)	132
ნახ.დ.3. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა (ეტალონი კვერცვინი, III ვარიანტი)	133
ნახ.დ.4. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა (ეტალონი კვერცვინი, II ვარიანტი)	133

ავტორი გამოხატავს მადლიერებას ქუთაისის წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორის ვარდენ ხვედელიძის და ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორის ალექო კალანდიას მიმართ ნაშრომის ექსპერიმენტულ ნაწილში გაწეული დახმარებისა და საქმიანი შენიშვნებისათვის.

შესავალი

უკანასკნელ წლებში მნიშვნელოვნად გაიზარდა მოთხოვნილება ბუნებრივი, ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მიმართ, როგორც კვების პროდუქტების დანამატები. ასეთ ნაერთებს მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს ველური მცენარეების მრავალი სახეობა [1,2,3,4,5,6,7].

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტები უხსოვარი დროიდან გამოიყენებოდა როგორც საკვები პროდუქტი და სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალება ხალხურ მედიცინაში. მათ ნაყოფში შემავალი ანტოციანინები და ფლავონოიდები, მათი გამოსატული ანტიოქსიდანტური მოქმედების მექანიზმით, დიდ ყურადღებას იმსახურებს. ანტიოქსიდანტური ეფექტი ხელს უშლის თავისუფალი რადიკალების მოქმედებას. სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით, ეს ნივთიერებები ხელს უწყობენ ადამიანის სასიცოცხლო ორგანოების ფუნქციონირების მკვეთრ გაუმჯობესებას [8].

ამჟამად ცნობილია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტის შემცველი რამოდენიმე დასახელების ბიოლოგიურად აქტიური დანამატი საკვებზე. ოფიციალური ინფორმაცია საქართველოში მცენარეული ნედლეულის გამოყენებით რაიმე საკვები ან სამკურნალო-პროფილაქტიკური დანიშნულების პროდუქციის წარმოების შესახებ ნაკლებად მოიპოვება. ჯეროვნად არ არის მეცნიერულად შესწავლილი და დასაბუთებული საქართველოში გავრცელებული მრავალი მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციული მახასიათებლები.

ამჟამად, ველურ მცენარეულ ნედლეულში არსებული ორგანიზმისათვის სასარგებლო ბიოლოგიურად აქტიური კომპონენტები, ნაკლებად ხელმისაწვდომი და პრაქტიკულად გამოუყენებელია. საკვებ პროდუქტებზე ბიოლოგიურად აქტიური, ნატურალური დანამატების მწვავე დეფიციტის ფონზე, მცენარეული ნედლეულის რაციონალური გამოყენება უაღრესად მნიშვნელოვანი საკითხია [1,9,10,11].

უკანასკნელ პერიოდში, ჩვენს რესპუბლიკაში ძალზე ინტენსიურად მიმდინარეობს სამუშაოები ველური მცენარეების კულტივაციის მიმართულებით. კერძოდ, დასავლეთ საქართველოს რამოდენიმე რეგიონში დაწყებულია განაშენიანება ისეთი ძვირფასი კულტურის

როგორცაა სხვადასხვა ჯიშის მოცვი. აღნიშნული სამუშაოები წინაპირობაა იმის, რომ მკვეთრად გაიზარდოს ბიოლოგიურად აქტიური, სასარგებლო, კვების პროდუქტების დანამატების წარმოება. ამისათვის აუცილებელია განვითარდეს და შეიქმნას მცენარეული ნედლეულის გადამუშავებისათვის საჭირო ტექნიკური ბაზა.

მცენარეული ნედლეულის გადამუშავების ძირითად ტექნოლოგიურ პროცესს წარმოადგენს ექსტრაქცია სელექციური თხევადი გამსხნელებით (ექსტრაგენტებით), რის შედეგადაც მიიღება ღირებული მიზნობრივი პროდუქტები. შესაბამისად, აღნიშნული პროცესის რეჟიმული პარამეტრების დასაბუთება და ექსტრაქტების წარმოების პროცესულ-აპარატურული გაფორმება აქტუალური საკითხია, რომლის განხორციელებაც ხელს შეუწყობს კვების წარმოებისა და მომიჯნავე დარგების სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესს.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტების წარმოების ამაღლებისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია შესაბამისი აპარატურის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ამაღლება. ეს კი შესაძლებელია ექსტრაქციის ისეთი მეთოდების გამოყენებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ პროცესის ინტენსიფიკაციას.

საკვებ-სამკურნალო მცენარეების კომპლექსური და უნარჩუნო გამოყენება თანამედროვე პირობებში განსაკუთრებით აქტუალურია. ამ მხრივ მრავალი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოა ჩატარებული საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრში პროფესორების რ.მელქაძის და ვ.ხვედელიძის ხელმძღვანელობით [8,10,12,13,14,15,16,17], საქართველოს კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში პროფესორ ნ.ბაღათურიას ხელმძღვანელობით. საქართველოში გავრცელებულ მცენარეებში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების კვლევებისადმი მნიშვნელოვანი გამოკვლევებია შესრულებული ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტიში პროფესორების ა.კალანდიას, მ.ვანიძის და სხვა მეცნიერების მიერ [6,7,18,19,20,21]. კვლური მცენარეული ნედლეულის მეცნიერულ გამოკვლევებში დიდი წვლილი აქვს შეტანილი პროფესორ თ.კაჭარავას.

მიუხედავად მრავალრიცხოვანი სამეცნიერო-ტექნიკური ნაშრომისა ამაჟამად ბიოლოგიურად აქტიური საკვებ-სამკურნალო მცენარეული

ექსტრაქტების სამრეწველო წარმოება პრაქტიკულად აღარ არსებობს. ამ ტენდენციის შესაჩერებლად საჭიროა მცენარეული ნედლეულის, სრულიად ახალი მიმართულების - კომპლექსური უნარჩუნო ტექნოლოგიური ასპექტების მეცნიერული წინაპირობებისა და შესაბამისი არატრადიციული საკვებ-პროფილაქტიკური და სამკურნალო-ფარმაცევტული დანიშნულების ბიოლოგიურად აქტიური კომპონენტების შემცველი კონცენტრატების წარმოების საფუძვლების დამუშავება.

ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციის ამადლება მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური ამოცანაა მრეწველობის მრავალი დარგისათვის. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ჩატარება ისეთ აპარატებში, რომლებშიც პროცესი მიმდინარეობს თხევადი ფაზის ინტენსიური ბარბოტირების პირობებში, წარმოადგენს პერსპექტიულ მიმართულებას კვების მრეწველობაში.

სამუშაოს მიზანი და ამოცანები. სამუშაოს მიზანია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ახალი მაღალეფექტური მეთოდების კვლევა, შესაბამისი მოწყობილობების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების მეთოდური საფუძვლების დამუშავება, ზოგიერთი მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება და წარმოების რაციონალური პროცესულ-აპარატურული სქემის დამუშავება.

ამ მუშის მისაღწევად დასმული იყო შემდეგი ამოცანები:

- ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე ზოგიერთი გადასამუშავებელი მცენარეული ნედლეულის ძირითადი ექსტრაქციული მახასიათებლების შესწავლა;

- მცენარეული ნედლეულის “მყარი სხეული – სითხე” სისტემის ექსტრაქციის ახალი მეთოდის და მოწყობილობის დამუშავების მიზანშეწონილობის დასაბუთება;

- საექსტრაქციო აპარატში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების ანალიზური გამოკვლევა;

- ექსტრაქციის პროცესის განმსაზღვრელი ცალკეული პარამეტრების გავლენის შესწავლა მიზნობრივი კომპონენტის გამოყოფის სიჩქარეზე;

- მყარი, ფოროვანი სტრუქტურის ნედლეულიდან მიზნობრივი კომპონენტის ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკის ანალიზური გამოკვლევა;

- ექსტრაჰირების პროცესის ფიზიკური მოდელის შექმნა და თეორიული კვლევების ექსპერიმენტული დასაბუთება;

- ჩვენი ქვეყნის მცენარეული სანედლეულო ბაზის მნიშვნელოვანი სახეობის - მთიანი რეგიონების მოცვის ნაყოფის ლაბორატორიული გამოკვლევა, მასში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობის განსაზღვრის მიზნით;

- მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება;

- ექსპერიმენტულ დანადგარზე კვლევების ჩატარება, პროცესის მიმდინარეობის ძირითადი კანონზომიერებების დადგენა და საწარმოო ექსპერიმენტის ოპტიმიზაცია;

- მოცვის ექსტრაქტების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრა და მეთოდის დამუშავება;

- მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური თხევადი ექსტრაქტის ხარისხის კონტროლის მეთოდის დამუშავება;

- კვლევების საფუძველზე მოცვის ნაყოფის თხევადი, კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტების წარმოების ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება და აპარატურული გაფორმება.

სამუშაოს მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ორიგინალური კონსტრუქციის ექსტრაქტორის დამუშავება, მასში მიმდინარე პიდროდინამიკური, დიფუზიური და კინეტიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირება, კონკრეტული მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის კვლევა, ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება და წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემის შექმნა.

სამუშაოს პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტორების განგარიშებისა და კონსტრუირებისათვის მეთოდური საფუძვლების შექმნა და ზოგიერთი მცენარეული ნედლეულის გადამუშავების ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება.

სადისერტაციო ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია კომპიუტერზე დაბეჭდილ 133 გვერდზე, შეიცავს 53 ნახაზს, 9 ცხრილს, შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისაგან, შედეგებისა და განსჯისაგან, ძირითადი დასკვნებისაგან და 68 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურისაგან.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ბიო-ფიზიკური მექანიზმი

უჯრედოვანი სტრუქტურის მქონე მშრალი და დაქუცმაცებული ნედლეულის ექსტრაქცირება რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესია, რომელსაც საფუძვლად უდევს ნივთიერებათა მასაცვლა და მასაგადაცემა. აღნიშნული პროცესები უზრუნველყოფენ ნივთიერების გადატანას მაღალი კონცენტრაციის ფაზიდან დაბალი კონცენტრაციის ფაზაში. კონკრეტული პროცესისაგან დამოკიდებულებით, მასაცვლა “მყარი სხეული-სითხის” სისტემაში, შეიძლება იყოს განსხვავებული. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესში მიმდინარეობს ურთიერთმოქმედება სითხესა და ფორიან სხეულებს შორის, რომლებიც შეიცავენ ხსნად ნივთიერებებს ფორების კედლებზე ან ხსნარს ფორების შიგნით [22,23,24].

გამომშრალი ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესში აღინიშნება შემდეგი სტადიები: ექსტრაგენტის შეღწევა ნედლეულში; უჯრედებში არსებული ნივთიერებების დასველება და გახსნა; ნივთიერებათა გამორეცხვა დარღვეული უჯრედებიდან და გახსნილი ფორებიდან; ნივთიერებათა მასაგადატანა უჯრედოვანი კედლებიდან მოლეკულური დიფუზიით; ნივთიერებათა მასაგადატანა მასალის ზედაპირიდან ხსნარში.

ექსტრაგენტის ნედლეულში შეღწევის პროცესი მიმდინარეობს კაპილარული ძალების მოქმედებით. კაპილარებსა და უჯრედებში არსებული ჰაერის გამო მათი სრული შევსების დრო შეიძლება იყოს დიდი. ეს დრო განისაზღვრება ჰაერის დიფუზიის სინქარით სითხეში. პროცესის დაჩქარება შესაძლებელია ვაკუუმირებით ან სითხეში წნევის გაზრდით.

ნივთიერებათა დასველების პროცესი მიმდინარეობს ექსტრაგენტის შეღწევასთან ერთდროულად. ეს პროცესი დამოკიდებულია ნივთიერებებისა და ექსტრაგენტის ქიმიურ თავისებურებებზე. ის ნივთიერებები, რომლებიც ამცირებენ დაძაბულობას სითხეებსა და გაზებს შორის, აუმჯობესებენ დასველების პროცესს და ექსტრაგენტის შეღწევას ნედლეულში კაპილარული გზით.

ნივთიერების გახსნის სიჩქარე ნაწილაკის შიგნით განისაზღვრება მასაგადაცემის სიჩქარით ფოროვან სხეულში, ხოლო ნაწილაკის ზედაპირზე – სხეულის ზედაპირიდან მასაგადაცემის სიჩქარით. რამდენადაც მასაგადაცემის პროცესი შეიძლება დაჩქარდეს სათანადო ჰიდროდინამიკური პირობების შექმნით, ამდენად ნივთიერებათა გახსნის სიჩქარე შესაძლებელია მნიშვნელოვნად გაიზარდოს. ამ პერიოდში ხდება ნივთიერებათა გამორეცხვა დარღვეული უჯრედებიდან და გახსნილი ფორებიდან.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის ბოლო სტადიას წარმოადგენს ნივთიერებათა მასაგადაცემა მასალის ზედაპირიდან ხსნარში, რაც მიმდინარეობს კონვექციური დიფუზიით.

ექსტრაქციის პროცესის შეფასების უმთავრესი მახასიათებელია ნივთიერებათა გამოსავალი, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომლებიც შეიძლება გაიყოს ნედლეულის სასაქონლო და ტექნოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელ და თბოგადაცემის პროცესზე მოქმედ ფაქტორებად. სასაქონლო მაჩვენებლებს მიეკუთვნება: ნედლეულში ტენის და ექსტრაქტული ნივთიერებების შემცველობა, დაქუცმაცების ხარისხი და სხვა. ტექნოლოგიური მაჩვენებლებია: ნედლეულის მიერ ტენის შთანთქმის უნარი, ფორიანობა, მოცულობის ზრდა ექსტრაქტული ნივთიერებების გახსნის შედეგად და სხვა.

ექსტრაქციის პროცესის მიმდინარეობაზე დიდ გავლენას ახდენს ნედლეულის დაქუცმაცების ხარისხი, რომლის დროსაც ხდება უჯრედების გარკვეული რაოდენობის რღვევა. ეს ექსტრაქციის პროცესში ხელს უწყობს ნივთიერებების სწრაფად გახსნას ექსტრაგენტით და მათ გამორეცხვას დარღვეული უჯრედებიდან. თუ დაქუცმაცებულ ნედლეულში დარღვეული უჯრედების რაოდენობა მცირეა, მაშინ ექსტრაქციის პროცესი მნიშვნელოვნად ყოვნდება და ძირითადად განისაზღვრება დიფუზიის სიჩქარით. გამორეცხილი ნივთიერებების რაოდენობა, ანუ გამორეცხვის კოეფიციენტი, წარმოადგენს ექსტრაქციის პროცესის ძირითად განმსაზღვრელ კრიტერიუმს.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქცია, სხვა მყარი სხეულებისგან განსხვავებით, ხასიათდება უჯრედების სრუქტურისა და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებთან დაკავშირებული მრავალი თავისებურებებით.

ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები განთავსებული არიან უჯრედებში, უჯრედებს შორის ფორებსა და ნაპრალებში და ექსტრაგენტმა მათში შესაღწევად უნდა გადალახოს უჯრედული და სხვა შიგა ბარიერები. ნედლი და მშრალი მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესები ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. პირველ შემთხვევაში მოქმედი ნივთიერებები იმყოფებიან უჯრედის შიგნით ხსნარში, მეორე შემთხვევაში – მშრალი კონგლომერატების სახით უჯრედების კედლებზე ან ფორებში. აქედან გამომდინარე, სხვადასხვა ექსტრაქციის პროცესისადმი მიდგომაც განსხვავებულია. ხშირ შემთხვევაში განიხილება ორივე შემთხვევა – როგორც ნედლი ნაყოფის სხვადასხვა რეჟიმულ პარამეტრებზე შრობა კონდიციურ, შენახვისათვის ოპტიმალურ ტენიანობამდე, შემდგომი დაქუცმაცებითა და ექსტრაქციით.

მცენარეული ნედლეულის შრობის დროს უჯრედების თვისებები იცვლება და ისინი გადადიან პლაზმურ მდგომარეობაში. უჯრედული მემბრანები იძენენ ფოროვანი ტიხრების თვისებებს, რომლებიც მოითვლიან რამოდენიმე ათას ფორს დიამეტრით 0,2...0,3 მმ-დან რამოდენიმე ათეულ ნანომეტრამდე. ექსტრაქციის პროცესი ამ დროს ფოროვან მემბრანაში დიალიზის ხასიათს იძენს.

ექსტრაგენტის უჯრედში შეღწევის პროცესი განისაზღვრება ნედლეულის ჰიდროფილურობის ხასიათით, ექსტრაგენტის თვისებებით, უჯრედთა კედლების ფორების ზომებითა და რაოდენობით. ამასთან, მცენარეული ნედლეული წარმოადგენს კაპილარულ-ფოროვანი სტრუქტურის სხეულს და რაც მეტია მსგავსება სხეულსა და ექსტრაგენტს შორის, მით უფრო სწრაფად ხდება კაპილარების დასველება და მასში ექსტრაგენტის მოხვედრა – მაკრო- და მიკრობზარებიდან, უჯრედშორისი გზით, უჯრედის ფორებიდან დიფუზიის გზით. მიმდინარეობს უჯრედოვანი სტრუქტურის შემადგენელი ცელულოზისა და სხვა მაღალმოლეკულური ნივთიერებების მოცულობის ზრდა. ამავდროულად, წარმოიქმნება შიგაუჯრედული წვენი – ექსტრაგენტი აღწევს უჯრედის შიგნით და ხსნის უჯრედის გამშრალ წვენს. პროცესის ხანგრძლივობა სტაციონარულ პირობებში დამოკიდებულია მცენარეული ნედლეულის მორფოლოგიურ თავისებურებებზე და გრძელდება 3...4 სთ-დან 20...30 სთ-მდე.

კაპილარებში ექსტრაგენტის მოხვედრას ხელს უშლის მათში ჰაერის არსებობა. ამ წინააღმდეგობის დასაძლევად და პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის მიმართავენ სხვადასხვა ხერხს. მაგალითად, ექსტრაგენტს აწოდებენ გაზრდილი წნევით, ახდენენ წინასწარ ვაკუუმირებას, იყენებენ საექსტრაქციო მასის პულსაციას და სხვა.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის მექანიზმის და მოქმედი ფაქტორების სწორად გაანალიზება ქმნის პროცესის რეჟიმული პარამეტრების ოპტიმიზაციის წინაპირობას, აგრეთვე საექსტრაქციო აპარატების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების მეთოდოლოგიური საფუძვლების დამუშავების შესაძლებლობას.

12. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის თეორიული საფუძვლების მიმოხილვა

მცენარეული ნედლეულის ორფაზიანი (მყარი სხეული-სითხე) ექსტრაქციის პროცესში მონაწილეობს სამი ნივთიერება: მიზნობრივი პროდუქტის მატარებელი მყარი მყარი ფაზა; მიზნობრივი პროდუქტის გამხსნელი თხევადი ფაზა და თვით მიზნობრივი ნივთიერება, რომელიც გადადის ერთი ფაზიდან მეორეში. ნივთიერების მოძრაობა ფაზებს შორის დამოკიდებულია მის კონცენტრაციაზე ორივე ფაზაში, წონასწორობის პირობის დაცვით [22].

მასაცვლის პროცესის თეორიის საფუძველზე ნივთიერების გადატანა შესაძლებელია ორი გზით – მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიით. ორივე შემთხვევაში პროცესის მამოძრავებელი ძალა არის ფაზებს შორის კონცენტრაციითა სხვაობა [25,26,27,28].

მოლეკულური დიფუზია წარმოადგენს ნივთიერების თავისუფალ გადატანას მაღალი კონცენტრაციის ფაზიდან დაბალში, ანუ პროცესი მიმდინარეობს კონცენტრაციის გრადიენტის არსებობის შემთხვევაში.

მოლეკულური დიფუზიის მათემატიკური ფორმულირება გამოისახება ა.ფიკის პირველი კანონის საფუძველზე

$$M = -DF \frac{dc}{dx} \tau, \quad (1)$$

სადაც M - დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობაა, კგ;

D - დიფუზიის კოეფიციენტი, $\text{მ}^2/\text{წმ}$;

F - ზედაპირის ფართობი დიფუზიის მიმართულების მართობულად, მ^2 ;

dc/dx - კონცენტრაციის გრადიენტი x მიმართულებით;

τ - დიფუზიის დრო, წმ.

განტოლებაში ნიშანი “მინუსი” მიუთითებს, რომ პროცესი მიმდინარეობს კონცენტრაციის შემცირების მიმართულებით.

ექსტრაქციის პროცესის მიმდინარეობაზე გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დიფუზიის D კოეფიციენტს, რომელსაც (1) განტოლების თანახმად აქვს $\text{მ}^2/\text{წმ}$ განზომილება. აქედან გამომდინარეობს ამ კოეფიციენტის ფიზიკური არსი, რომელიც გვიჩვენებს ნივთიერების რა რაოდენობის მასა გადის დროის ერთეულში ერთეულ ფართობში ერთის ტოლი კონცენტრაციის გრადიენტის დროს. იგი წარმოადგენს მოცემული ნივთიერების ფიზიკურ კონსტანტას, რომელიც ახასიათებს მის უნარს შეადწიოს უძრავ არეში და არ არის დამოკიდებული პროცესის მიმდინარეობის ჰიდროდინამიკურ პირობებზე.

დიფუზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობას ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განსაზღვრავენ ექსპერიმენტული მონაცემებით ან თეორიული და ნახევრად ემპირიული განტოლებებით.

მოლეკულური დიფუზიის პროცესში განსახილველი არეს ნებისმიერ წერტილში კონცენტრაცია წარმოადგენს კოორდინატების და დროის ფუნქციას

$$C = f(x, y, z, \tau)$$

ა.ფიკის მეორე კანონის მიხედვით მოლეკულური დიფუზიის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

იგი ახასიათებს დიფუნდირებული ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილებას სისტემის მოცემულ წერტილში, როგორც დროის ფუნქციას.

ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილება ელემენტარულ მოცულობაში, τ დროის განმავლობაში აღიწერება განტოლებით

$$\frac{dc}{d\tau} = \frac{\partial c}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z}, \quad (3)$$

სადაც ω_x , ω_y , ω_z - ნაკადის სიჩქარეებია კოორდინატთა შეესაბამისი ღერძების მიმართულებით.

(2) და (3)-ის გათვალისწინებით დიფუზიის დიფერენციალური განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

სტაციონარული პროცესებისათვის, სადაც $\partial c / \partial \tau = 0$, განტოლება (4) გარდაიქმნება კონვექციური დიფუზიის დიფერენციალურ განტოლებად

$$\omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

კონვექციური დიფუზიისათვის დამახასიათებელია ნივთიერების გადატანა მოძრავ გარემოში, სადაც ადგილი აქვს მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიების კომბინირებულ მოქმედებას. კონვექციური დიფუზია ძირითადად დამოკიდებულია ფაზათა კონტაქტის ფარდობით სიჩქარეზე, ანუ რაც უფრო ინტენსიურია ფაზათა ურთიერთმოძრაობა, მით უფრო მეტია დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობა.

მაღალი ინტენსივობის საექსტრაქციო აპარატებში მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიები მიმდინარეობს ერთდროულად. ასეთ შემთხვევაში მასათა გადაცემის პროცესის მათემატიკურ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე

$$M = K.F.\Delta C.\tau$$

სადაც M - ერთი ფაზიდან მეორეში გადასული ნივთიერების რაოდენობაა;

K - მასათა გადაცემის კოეფიციენტი;

F - ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართობი;

ΔC - ფაზათა კონცენტრაციების სხვაობა, ანუ პროცესის მამოძრავებელი ძალა;

τ - დროა.

კავშირი მასათა გადაცემის კოეფიციენტსა და ყველა სახის დიფუზიის კოეფიციენტებს შორის გამოსახება შემდეგი განტოლებით

$$K = \frac{1}{\frac{2r}{nD_{\text{ჰ}}} + \frac{\delta}{D} + \frac{1}{\beta}},$$

სადაც $2r$ - მცენარეული ნედლეულის ნაწილაკის სისქეა;

n - შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მცენარის მორფოლოგიურ აგებულებაზე;

$D_{\text{ჰ}}$ - შიგა დიფუზიის კოეფიციენტი;

δ - დიფუზიური სასაზღვრო ფენის სისქე;

D - მოლეკულური დიფუზიის კოეფიციენტი;

β - კონვექციური დიფუზიის კოეფიციენტი.

იმ ფაქტორებიდან, რომლებიც გავლენას ახდენენ მიზნობრივი პროდუქტის გამოყოფის სისრულესა და სინქარზე და მათი რეგულირებით შესაძლებელია პროცესის სასურველი მიმართულებით შეცვლა, ძირითადია: ექსტრაგენტის შერჩევა, ნედლეულის დაქუცმაცების ხარისხი, კონცენტრაციათა სხვაობა, ტემპერატურა, ექსტრაგენტის სიბლანტე; გამოყოფის ხანგრძლივობა და ჰიდროდინამიკური პირობები.

როგორც აღვნიშნეთ, ფაზის შიგნით ნივთიერების გადატანა შესაძლებელია განხორციელდეს ან მხოლოდ მოლეკულური დიფუზიით ან კონვექციური და მოლეკულური დიფუზიებით ერთდროულად. ტურბულენტურ ნაკადში მოლეკულური დიფუზიის ფაქტორი მაღალია ფაზების საზღვრის სიახლოვეს. ასეთი რეჟიმის დროს წარმოიქმნება ნაკადის სინქარის არარეგულარული პულსაციები, რომელთა მოქმედებით, ნაკადის საერთო მოქმედებასთან ერთად, ხდება ნაწილაკების გადაადგილება ყველა მიმართულებით. ნივთიერების კონვექციურ გადატანას, რომელიც ხორციელდება ტურბულენტური პულსაციით, ხშირად უწოდებენ ტურბულენტურ დიფუზიას. ამ შემთხვევაში მოლეკულური დიფუზიის როლი უმნიშვნელოა.

ნივთიერების გადატანა ფაზების გაყოფის ზღვარზე ხასიათდება მასაგაცემით. ა.შჩუკარევის მიერ შემოთავაზებული მიზნობრივი პროდუქტის ხსნადობის ხარისხის კანონზომიერების საფუძველზე მასაგაცემის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$M = \beta(C_{\text{გ}} - C_{\text{ტ}})F,$$

სადაც M - დროის ერთეულში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობაა,

კგ/წმ;

β - მასაგაცემის კოეფიციენტი, მ/წმ.

C_{δ} - ფაზების გაყოფის ზღვარზე გაჯერებული ხსნარის

კონცენტრაციაა, კგ/მ³;

C_{τ} - ნაკადში ნივთიერების ფაქტიური კონცენტრაციაა დროის

მოცემულ მომენტში, კგ/მ³;

F - ფაზათა გაყოფის ზედაპირის ფართობი, მ²;

მასაგაცემის კოეფიციენტი β ახასიათებს ნივთიერების გადატანას ერთდროულად როგორც კონვექციით, ასევე დიფუზიით, ამიტომ აღნიშნული კოეფიციენტი დამოკიდებულია დინების ჰიდროდინამიკურ პირობებზე.

ს.ბერტენევის მიერ შემოთავაზებულია დიფუზიის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა არასტაციონარული რეჟიმისათვის

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}.$$

ავტორი თვლის, რომ ექსტრაქციის მრუდი შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს ექსპონენტის სახით. მის მიერ წარმოდგენილ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$C_{\text{საა}} = \frac{C_{\text{ექსტ.}}}{1-N} e^{-k\tau} + (C_{\tau} - \frac{C_{\text{ექსტ.}}}{1-N}) e^{-\frac{k\tau}{N}},$$

სადაც $C_{\text{საა}}$ -საწყისი მასალის ფენაში საშუალო კონცენტრაციაა;

$N = kR\delta / D$;

R - მასალის ფენის სისქეა;

δ - ფაზათა შორის სასაზღვრო დიფუზიური ფენის სისქეა;

D - დიფუზიის კოეფიციენტი;

$C_{\text{ექსტ.}}$ - ექსტრაქტის კონცენტრაციაა;

k - პროცესის კონსტანტაა;

τ - მიმდინარე დროა.

როგორც განხილული თეორიული მოდელებიდან ჩანს ექსტრაქციის პროცესის ძირითად განმსაზღვრელ პარამეტრებს წარმოადგენენ დიფუზიის და მასათა გადაცემის კოეფიციენტები. პირველი ახასიათებს

ნივთიერების გადატანის სინქარეს მყარი სხეულის შიგნით, ხოლო მეორე – მყარი სხეულის ზედაპირიდან საექსტრაქციო სითხეში.

საექსტრაქციო ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტი მყარ სხეულში დამოკიდებულია ამ სხეულის აგებულებასა და ფიზიკურ თვისებებზე, საექსტრაქციო ნივთიერების ფიზიკურ თვისებებზე, ტემპერატურასა და კონცენტრაციაზე და არ არის დამოკიდებული ფაზების გამყოფი ზედაპირის პირობებზე.

იმის გამო, რომ აღნიშნული კოეფიციენტები შედიან პროცესის საანგარიშო განტოლებებში, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მათ სწორად, მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას, რომელიც მიიღწევა ექსპერიმენტული გზით.

ფართოდ არის გავრცელებული ფოროვან სტრუქტურებში ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტის გაზომვის რამოდენიმე მეთოდი [22]: საექსტრაქციო მასალის ფენებად დაყოფის, მემბრანული და ექსტრაქციული.

ფენებად დაყოფის მეთოდს ახასიათებს ის თავისებურება, რომ ექსპერიმენტში არ მონაწილეობს საექსტრაქციო სითხე, ამიტომ გაზომვის სიზუსტეზე არ მოქმედებს გარე დიფუზიური წინააღმდეგობა. ექსპერიმენტი ითვალისწინებს შესასწავლი ნივთიერების სხვადასხვა კონცენტრაციის მქონე ორი ბრტყელი ნიმუშის მჭიდრო კონტაქტს გარკვეული დროისა და ტემპერატურის პირობებში, რის შემდეგაც ხდება მათ ფენებში კონცენტრაციათა განსაზღვრა.

მემბრანული მეთოდით საზღვრავენ დიფუზიის ეფექტურ კოეფიციენტს (ანუ დიფუზიის კოეფიციენტს კაპილარულ-ფოროვან სხეულებში). ამისათვის იყენებენ მცენარეული ქსოვილის მემბრანით გაყოფილ ჭურჭელს. ჭურჭელში, მემბრანის ორივე მხარეს ათავსებენ განსხვავებული კონცენტრაციის სითხეებს. თიხრის ორივე მხარეს C_A და C_B კონცენტრაციათა ცვლილების მიხედვით საზღვრავენ τ დროში მემბრანაში გასული ნივთიერების Δm რაოდენობას და ა.ფიკის კანონის განტოლებებით ანგარიშობენ დიფუზიის ეფექტურ კოეფიციენტს

$$D = \frac{\Delta m h}{\tau F (C_A - C_B)},$$

სადაც h - მემბრანის სისქეა, ხოლო F - მისი ფართი.

აღსანიშნავია, რომ დიფუზიის და მასათა გადაცემის კოეფიციენტების ექსპერიმენტული გაზომვა ხდება ფიქსირებული პარამეტრების პირობებში და ხშირ შემთხვევაში ვერ ხერხდება ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკის განმსაზღვრელი ყველა ძირითადი რეჟიმული პარამეტრის გათვალისწინება.

გარდა ამისა, ექსტრაქციის კინეტიკის განტოლებების განმსაზღვრელ ერთერთ ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს ფაზათა გაყოფის ფართი, რომლის განსაზღვრა ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელია, განსაკუთრებით წვრილდისპერსიული სტრუქტურის საექსტრაქციო მასალებისათვის, რაც ზოგჯერ ართულებს თეორიული მოდელების გამოყენებას პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს.

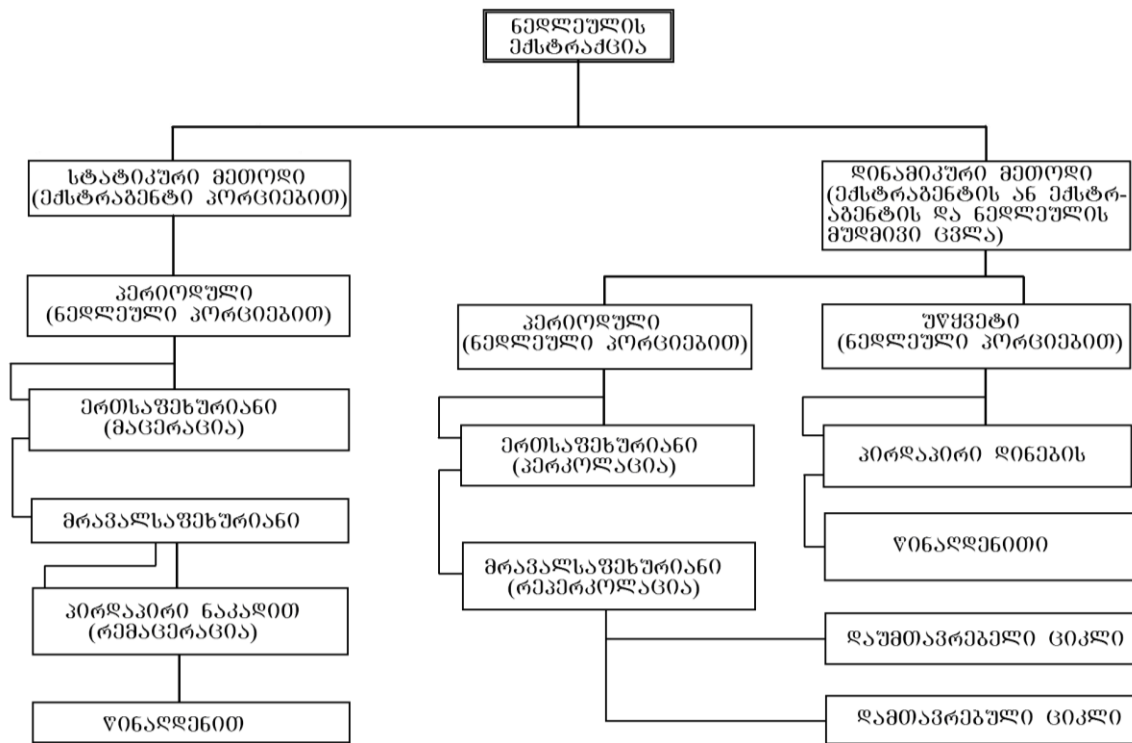
1.3. ექსტრაქციის მეთოდების კლასიფიკაცია

ექსტრაქციის ყველა არსებული მეთოდი კლასიფიცირდება სტატიკურ და დინამიკურ მეთოდებად (ნახ.1). სტატიკურ მეთოდებში ნედლეულს პერიოდულად ასხავენ ექსტრაგენტს და აყოფენ გარკვეული დროით. დინამიკურ მეთოდებში გათვალისწინებულია მუდმივი ცვლა ექსტრაგენტის ან ექსტრაგენტის და ნედლეულის.

ექსტრაქციის სტატიკურ და დინამიკურ მეთოდებში გამოყოფენ პერიოდულ მეთოდებს, როდესაც ნედლეულის ერთი ან რამოდენიმე პორციის ექსტრაქცია წარმოებს დროის გარკვეულ პერიოდში, ანუ ნედლეულის და ექსტრაგენტის მიწოდება საექსტრაქციო აპარატებში ხორციელდება პერიოდულად.

სტატიკურ პერიოდულ მეთოდებს მიეკუთვნება ერთსაფეხურიანი მაცერაცია და მრავალსაფეხურიანი – რემაცერაცია, ანუ ცირკულაცია ხსნარის პერიოდული გამოყოფით (მრავალსაფეხურიან პირდაპირი დინების სქემებში), აგრეთვე მრავალსაფეხურიანი წინაღონითი რეპერკოლაცია ხსნარის პერიოდული გამოყოფით.

დინამიკურ პერიოდულ მეთოდებს მიეკუთვნებიან ერთსაფეხურიანი პერკოლაცია და მრავალსაფეხურიანი რეპერკოლაცია, დასრულებული და დაუსრულებელი ციკლებით.



ნახ.1. ექსტრაქციის მეთოდების კლასიფიკაცია

დინამიკურ მეთოდებს შორის გამოყოფენ უწყვეტ (ნედლეულის უწყვეტი მიწოდებით) პირდაპირი დინების (ექსტრაგენტი და მასალა ერთ ნაკადში) და წინაღმართის (ექსტრაგენტის და მასალის შემხვედრი მოძრაობა) მეთოდებს.

ყველაზე უფრო გავრცელებული ექსტრაქციის ჰიდროდინამიკური მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ინტენსიფიკაციით შევამციროთ პროცესის ხანგრძლივობა, მაქსიმალურად გამოვყოთ ღირებული კომპონენტები და შევამციროთ ენერგოდანახარჯები.

14. მყარი მასალიდან ნივთიერებათა საექსტრაქციო მოწყობილობები

კვების მრეწველობის სხვადასხვა დარგში მყარი ნივთიერებებიდან სასარგებლო კომპონენტების ექსტრაქციისათვის ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის პერიოდული და უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორები. პერიოდული ქმედების ექსტრაქტორებს მიეკუთვნებიან საექსტრაქციო როფები, რეცირკულაციური, ვიბრო და ვაკუუმ-ექსტრაქტორები და მრავალი სხვა.

უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორებს მიეკუთვნებიან: კოლონისებური (ერთკოლონიანი, ორკოლონიანი, მრავალკოლონიანი), დახრილი და ჰორიზონტალური (შნეკური და ფრთებიანი), როტაციული, სარწყავი, აპარატები მდუღარე და ვიბრომდუღარე ფენით და სხვა.

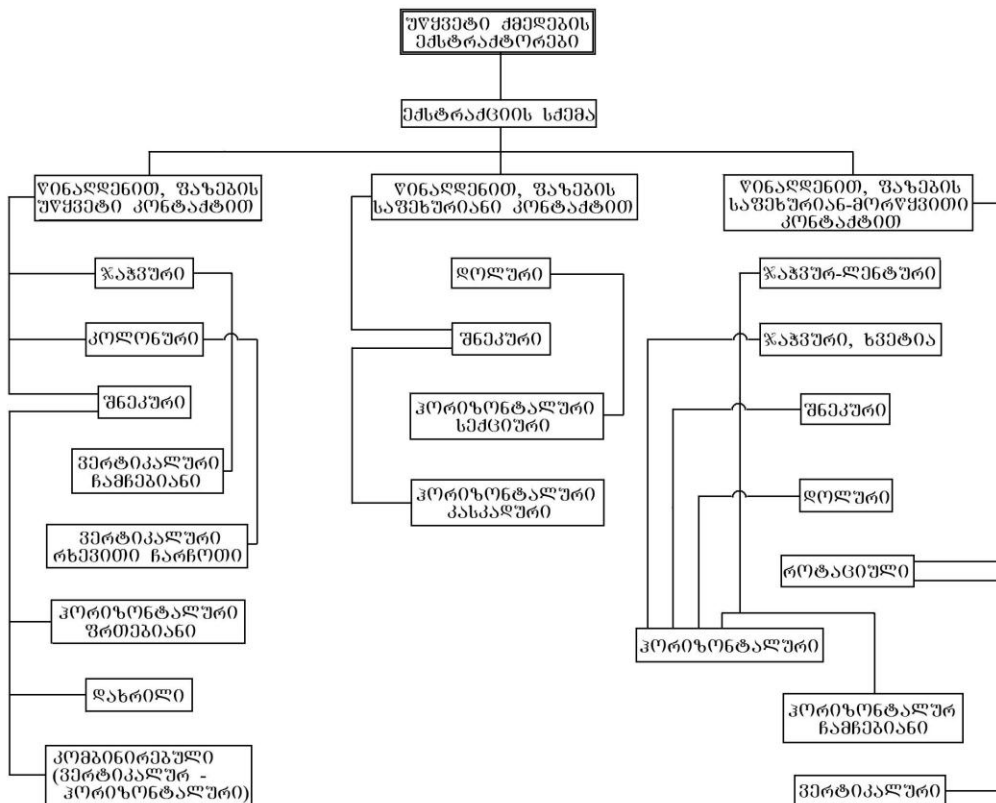
საექსტრაქციო მოწყობილობები კლასიფიცირდება რამოდენიმე ნიშნით – მუშა ციკლით; ნედლეულის და ექსტრაგენტის ფარდობითი მოძრაობით; მუშა ორგანოების ტიპით, გადაადგილებით და სხვა, ნახ.2-ზე მოცემულია საექსტრაქციო მოწყობილობების კლასიფიკაციის სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს ექსტრაქტორები ხასიათდებიან მეთოდების და კონსტრუქციების მრავალფეროვნებით. ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის ოპტიმალური მოდელის შერჩევა მოითხოვს მათ ყოველმხრივ ანალიზს და შეფასებას.

პერიოდული ქმედების მარტივი საექსტრაქციო აპარატის სქემა მოცემულია ნახ. 3-ზე. საექსტრაქციო მასალა აპარატის კორპუსში 1 თავსდება ჩამტვირთი ლიუკიდან 2. ასეთ აპარატებში ექსტრაგენტს ხშირ შემთხვევაში წარმოადგენს თბილი წყალი, რომელიც გაივლის მასალაში ზევიდან ქვევით, გამოყოფს წყალში ხსნად ნივთიერებებს და კონუსური ბადის გავლით, მილყელით, ექსტრაქტის სახით გამოდის აპარატიდან. ნარჩენი მასალის გამოტვირთვა წარმოებს აპარატის ძირიდან შემოსაბრუნებელი სახურავის გახსნის შემდეგ. ანალოგიური აპარატები გამოიყენება შაქრის ჭარხლის, მცენარეული ზეთების წარმოებაში და სხვა.

თანამედროვე უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორები მუშაობენ საექსტრაქციო მასალისა და ექსტრაგენტის უწყვეტი წინაღდენი მოძრაობით, ან მასალის ექსტრაგენტით მორწყვის მრავალ საფეხურიანი მეთოდით.

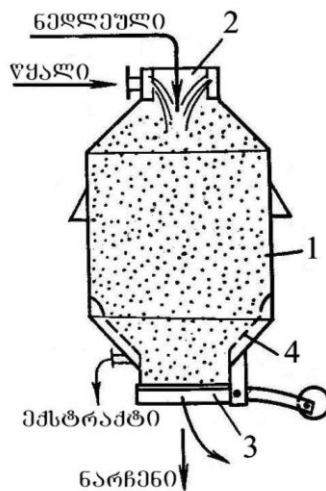
ფაზების წინაღდენით პრინციპზე მომუშავე ექსტრაქტორებიდან ფართო გავრცელება პოვენს შნეკური ტიპის ვერტიკალურმა და დახრილმა აპარატებმა.

ნახ.4-ზე წარმოდგენილია უწყვეტი ქმედების, შნეკური, ვერტიკალური, კოლონის ტიპის ექსტრაქტორის სქემა, რომელიც გამოიყენება მარცვლეული კულტურებიდან მცენარეული ზეთების გამოსაყოფად.



ნახ.2. უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორების კლასიფიკაცია

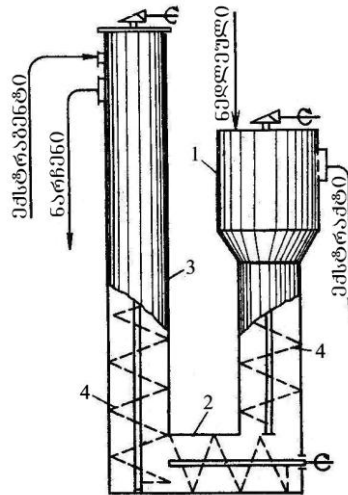
ექსტრაქტორი შედგება ჩამტვირთი კოლონისაგან 1, ჰორიზონტალური უბნის 2 და საექსტრაქციო კოლონისაგან 3. კოლონების შიგნით მოთავსებულია პერფორირებული შნეკები 4, რომლებიც გადაადგილებენ ნედლეულს და ამასთან სვიების ნახვრეტებში ატარებენ ექსტრაგენტს.



ნახ.3. პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატი

ჩამტვირთი კოლონის ზედა ნაწილი შესრულებულია კონუსური სახით, რომელიც მთავრდება ცილინდრული დეკანტატორით.

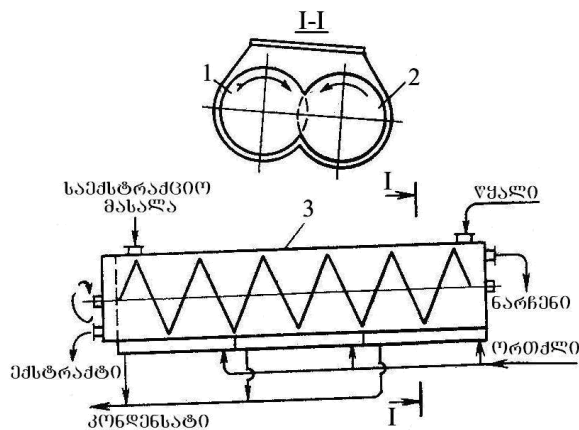
საწყისი მასალა მიეწოდება ჩამტვირთ კოლონაში 1 და შნეკებით 4 გადაადგილდება საექსტრაქციო კოლონაში 3 ქვევიდან ზევით. იმავედროულად საექსტრაქციო კოლონის ზედა ნაწილში მიეწოდება ექსტრაგენტი მასალის მოძრაობის შემხვედრი მიმართულებით.



ნახ.4. უწყვეტი ქმედების, შნეკური, ვერტიკალური ექსტრაქტორის სქემა

მიღებული ექსტრაქტი შედის ჩამტვირთ კოლონაში, სადაც ის იფილტრება მიწოდებული მასალის ფენაში და ზედა ნაწილიდან ბადის გავლით გამოდის აპარატიდან.

დახრილმა ექსტრაქტორმა (ნახ.5) ფართო გამოყენება პოვა ჭარხლის შაქრის წარმოებაში. იგი შედგება დახრილი ღარისაგან 3, რომელშიც ჩადგმულია ორი პარალელური შნეკი 1 და 2.



ნახ.5. დახრილი ექსტრაქტორის სქემა

შნეკები განლაგებულია ისე, რომ ერთის ხვიები შედიან მეორეში. ხვიებს შორის არსებული ღრეხო დანიშნულია წვენის გასასვლელად. საექსტრაქციო მასალა და ექსტრაგენტი აპარატში მიეწოდება ისრებით ნაჩვენები მილყელებიდან და მოძრაობენ წინაღდენის პრინციპით. ღარის დახრა უზრუნველყოფს მყარი და თხევადი ფაზების გაყოფას. ექსტრაქტი გამოიყოფა ღარის დახრილი ბოლოდან, ხოლო ნარჩენი კი - მისი საწინააღმდეგო მხრიდან.

ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმალური ტემპერატურული რეჟიმის დასაცავად აპარატს ორთქლი მიეწოდება ორთქლის პერანგის რამოდენიმე ზონაში. ასეთი ტიპის აპარატებში ექსტრაქციის ხანგრძლივობა შეადგენს დაახლოებით 1 სთ-ს.

პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატების ბატარეული, თანმიმდევრული გაერთიანებით ღებულობენ ნახევრად უწყვეტ პროცესს. ამ მიზნით ხშირად გამოიყენება რეპერკოლაციის პერიოდული მრავალსაფეხურიანი მეთოდები დასრულებული ან დაუსრულებელი ციკლებით. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს დიფუზორების (პერკოლატების) ბატარეის გამოყენებაში. ამ დროს გამონაწველი მასა პერკოლატიდან გამოიყენება მეორე პერკოლატში ნედლეულის პერკოლაციისთვის და ა.შ. ამრიგად, ექსტრაგენტი გაივლის რა პერკოლატების აღნიშნულ ბატარეას ნედლეულით, გაჯერებულია საჭირო რაოდენობის მოქმედი ნივთიერებებით [29].

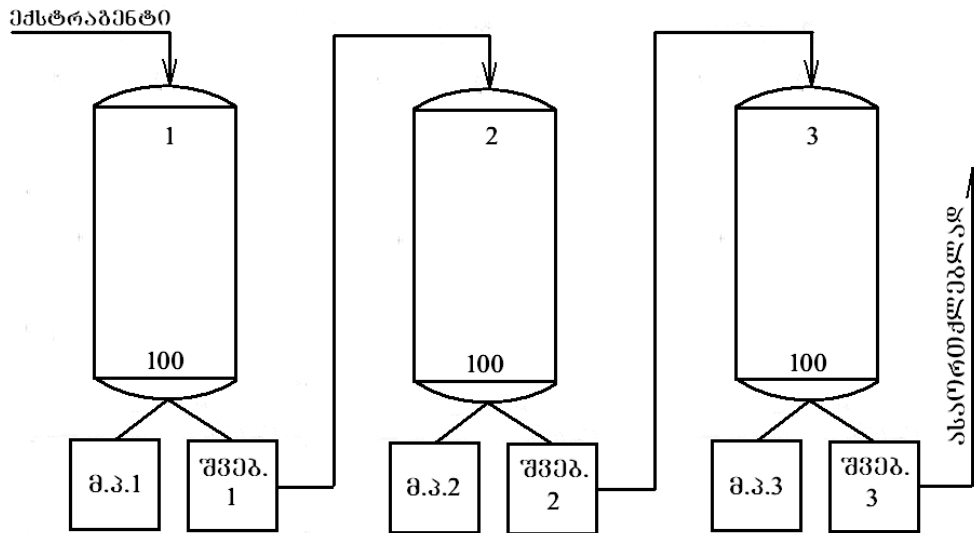
ახალი ექსტრაგენტი ყოველთვის მიეწოდება ყველაზე გამოფიტულ ნედლეულიან ექსტრაქტორს, ხოლო გამონაწველი ღებულობენ ნედლეულით ახლად ჩატვირთული ექსტრაქტორიდან.

რეპორკოლაცია დასრულებული ციკლით, თანაბარ ნაწილებად დაყოფილი ნედლეულით, მიმდინარეობს პერკოლატების ბატარეაში. პერკოლატების რაოდენობა ბატარეაში დამოკიდებულია ნედლეულის მახასიათებლებზე. რაც უფრო ძნელად ექსტრაჰირდება ნედლეული, მით მეტი პერკოლატია საჭირო ბატარეაში.

დასრულებული ციკლით თანაბარ ნაწილებად დაყოფილი ნედლეულის რეპერკოლაციის სქემა ნაჩვენებია ნახ.6-ზე.

ტოლ ნაწილებად დაყოფილი ნედლეული იტვირთება პერკოლატებში. I პერკოლატში მას ასველებენ გაჯირჯევებისთვის 4-6 სთ, რის შემდეგ,

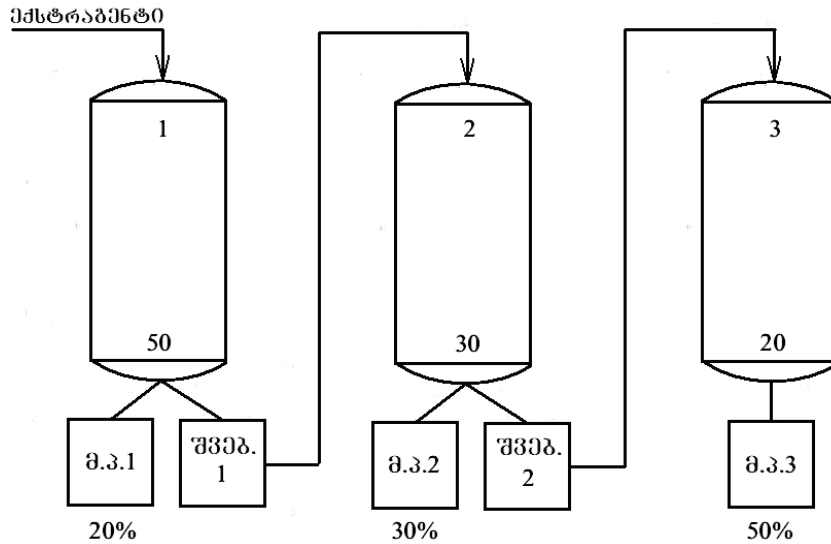
პერკოლატორში აწოდებენ ექსტრაგენტს ნიშნულამდე და აყოვნებენ 24 სთ. შემდეგ გამოიტანენ ექსტრაქტს ცალკე მოცულობაში და ღებულობენ მზა პროდუქციის 80%-ს (მ.პ.1, 80%), ამ პერკოლატორში არსებული ნედლეულის მასასთან ფარდობაში.



ნახ.6. თანაბრად განაწილებული ნედლეულის რეპერკოლაციის სქემა

პერკოლირებას აგრძელებენ ნედლეულის სრულ გამოფიტვამდე – ღებულობენ “I შვებულს” (ჩამონადენს), რომლითაც ახდენენ ნედლეულის დასველებას, დაყოვნებას და პერკოლაციას მე-2 პერკოლატორში, საიდანაც ღებულობენ მზა პროდუქტს (მ.პ.2, 100%) და მე-2 შვებულს. ამ უკანასკნელით ხდება დასველება, დაყოვნება და პერკოლაცია მე-3 პერკოლატორში არსებული ნედლეულის, საიდანაც ღებულობენ მზა პროდუქტს (მ.პ.3, 100%) და მე-3 შვებულს. ასე მიმდინარეობს პროცესი ყოველი მომდევნო პერკოლირებისთვის, თუ მათი რაოდენობა სამზე მეტია. უკანასკნელი პერკოლატორის შვებულს აორთქლებენ მასში დანაკლისი მზა პროდუქტის 20%-მდე დასაყვანად. ამ წესით 300 კგ ნედლეულზე ღებულობენ თხევად ექსტრაქტს: $80+100+100=280$ ლ, ანუ დაახლოებით თანაფარდობით 1:1.

რეპერკოლაცია ნედლეულის დაყოფით არათანაბარ ნაწილებად. ამ მეთოდის მიხედვით ნედლეულის საწყისი რაოდენობა მიღებულია 100%-ად და მას პერკოლატორების ბატარეაში ანაწილებენ ფარდობით 5:3:2 (ნახ.7).

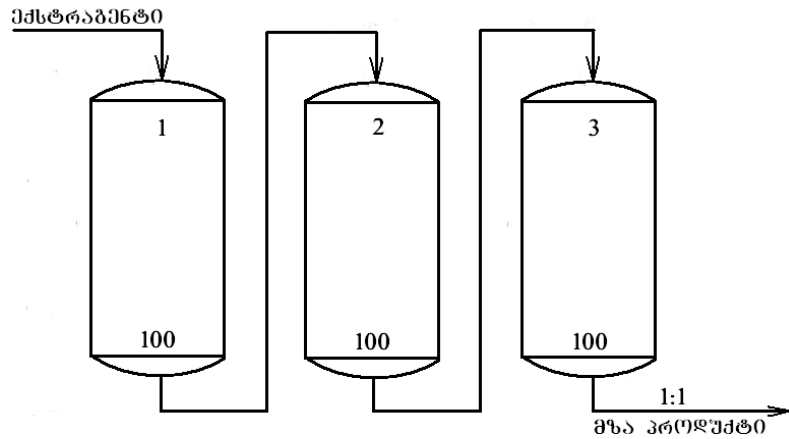


ნახ.7. რეპერკოლაცია ნედლეულის დაყოფით არათანაბარ ნაწილებად

ექსტრაქციას იწყებენ ნედლეულის მაქსიმალური ულუფიდან და მას ამუშავებენ სუფთა ექსტრაგენტით. პერკოლაცია აგროვებენ ორჯერადად: I მზა პროდუქტი 20% ოდენობით ნედლეულის საერთო რაოდენობიდან და შვებულები, რომელსაც იყენებენ მე-2 პერკოლატორში ნედლეულის გაჯირჯვების, დაყოვნების და პერკოლაციისთვის. მე-2 პერკოლატორიდან დებულობენ მზა პროდუქტს (მ.პ.2) 30%-ის რაოდენობით ნედლეულის საწყისი რაოდენობიდან და შვებულებს 2, რომელსაც იყენებენ მე-3 პერკოლატორისთვის. მე-3 პერკოლატორიდან დებულობენ 50% მზა პროდუქტს (მ.პ.3) ნედლეულის საწყისი რაოდენობიდან. სულ მიიღება $20+30+50=100\%$ მზა პროდუქტი 100% საწყისი ნედლეულიდან, ანუ 1:1.

რეპერკოლაცია ნედლეულის სხვადასხვა არათანაბარ ნაწილებად დაყოფით შესაძლებელია გამოყენებული იყოს მცირე წარმოებისათვის, ვინაიდან ამ მოდიფიკაციაში ნედლეული მე-2 და მე-3 პერკოლატორებში არასრულად იფიტება. ყველაზე ნაკლებად კი ნედლეული გამოიფიტება მე-3 პერკოლატორში. უნდა აღინიშნოს, რომ სწორედ რეპერკოლაციის ეს მოდიფიკაცია მისაღები საქართველოს პირობებისათვის, სადაც მცირე საწარმოების არსებობა გამართლებულია და ნედლეულის მიწოდებაც უზრუნველყოფილია.

რეპერკოლაცია ბოსინის მიხედვით. ბოსინის მეთოდის მიხედვით ნედლეულს თანაბარი რაოდენობით ათავსებენ ბატარეის ყოველ პერკოლატორში (ნახ.8).



ნახ.8. რეპერკოლაციის სქემა ბოსინის მიხედვით

ნედლეული პერკოლატორში 1 ექსტრაჰირდება სუფთა გამხსნელით, ხოლო შემდგომ პერკოლატორში მიეწოდება წინა პერკოლატორიდან შვებულები. პერკოლატორების რიცხვს ისე ირჩევენ, რომ ბოლო პერკოლატორიდან მიღებული მზა პროდუქტის მასური რაოდენობა ტოლი იყოს საექსტრაქციო ნედლეულის მთლიანი მასის, ანუ დაცული იყოს ფარდობა 1:1.

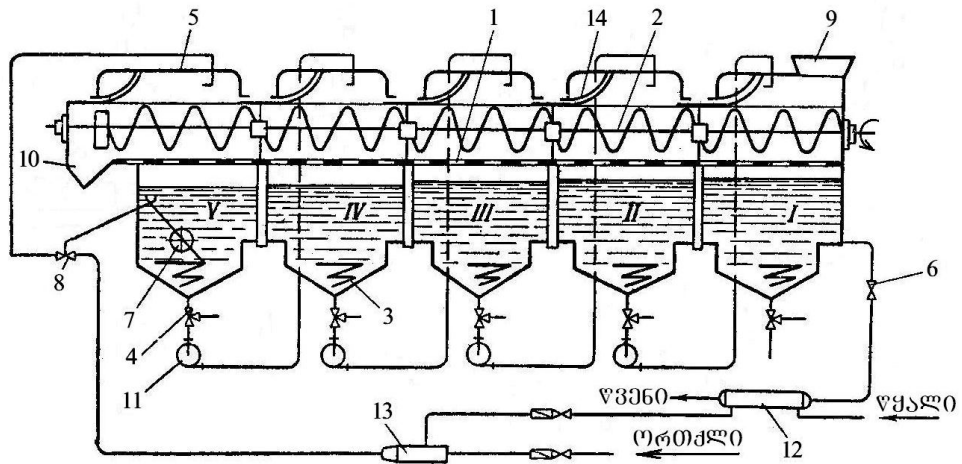
რეპერკოლაცია ჩულკოვის მეთოდით. ამ შემთხვევაში ექსტრაჰირება მიმდინარეობს ოთხ ან მეტ პერკოლატორში. განასხვავებენ ორ პერიოდს: გასაშვებ პერიოდში ყოველდღიურად იტვირთება ერთი პერკოლატორი და მზა პროდუქტი არ გამოიტვირთება. თითოეულ პერკოლატორში თავსდება ტოლი რაოდენობის ნედლეული და ემატება ექსტრაგენტის ტოლი რაოდენობა. პირველ ექსტრაქტორს ემატება სუფთა ექსტრაგენტი, დანარჩენებს – გამონაწვლილი წინა ექსტრაქტორებიდან. გაჯირჯვებულ ნედლეულს ათავსებენ პირველ პერკოლატორში, ამატებენ ექსტრაგენტს ნიშნულამდე (სარკემდე) და აყოვნებენ 24 სთ-ის განმავლობაში. მეორე დღეს პირველი პერკოლატორიდან ჩამოასხავენ გამონაწვლილს ორ ულუფად: პირველი ულუფა, რომელიც პერკოლატორში ჩატვირთული ნედლეულის მასის ტოლია, გამოიყენება მეორე პერკოლატორში ნედლეულზე დაყენებისათვის. ამ დროს პირველ პერკოლატორს აწოდებენ სუფთა ექსტრაგენტს საერთო გამონაწვლილის რაოდენობით. შემდეგ დღეს, მეორე პერკოლატორიდან იღებენ ორ ულუფად გამონაწვლილს მესამე პერკოლატორის ნედლეულისთვის. მეორე

პერკოლატორს უმატებენ გამონაწვლილს პირველი პერკოლატორიდან, ხოლო ამ უკანასკნელში ისევ უმატებენ ახალ ექსტრაგენტს. შემდეგ პროცესი მიმდინარეობს ანალოგიურად. უკანასკნელი ექსტრაქტორის დატვირთვიდან ერთი დღე-ღამის შემდეგ იწყება მუშა პერიოდი. ამ დროს უკანასკნელი პერკოლატორიდან უშვებენ მზა პროდუქტის პირველ პორციას, რომელიც ამ პერკოლატორში ჩატვირთული ნედლეულის მასის ტოლია. იმავედროულად, პირველი პერკოლატორიდან გამოაქვთ მთელი გამონაწვლილი.

მელვინეობაში, ჭაჭის ექსტრაქციისათვის წარმატებით გამოიყენება შნეკური ტიპის სარწყავი ექსტრაქტორები, რომლის სქემა მოცემულია ნახ.9-ზე.

ექსტრაქტორი შედგება პერფორირებული ღარისაგან 1, რომლის შიგნით მოთავსებულია შნეკი 2. ღარის ქვეშ განლაგებულია ექსტრაქტის შემკრებები I..V, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან სითხის გადასასვლელი მოწყობილობებით. შემკრებების სარეგულირებელი ტიხრები დაყენებულია ისე, რომ სითხის დონე პირველი შემკრებიდან საფეხურებად მცირდება. შემკრებები აღჭურვილი არიან: კლაკნილებით 3 წვენის გასაცხელებლად, სამსვლიანი ვენტილებით 4 წვენის ცირკულაციის და აპარატიდან ჩამოდინებისათვის, აგრეთვე - სახურავებით 5. პირველ შემკრებზე დაყენებულია წვენის ჩამოსაშვები ონკანი 6, ხოლო მეხუთე შემკრებში ჩადგმულია დონის ტივტივა რეგულატორი 7, რომელიც ბერკეტული სისტემით დაკავშირებულია ექსტრაქტორში წყლის მიმწოდებელ ონკანთან 8.

საექსტრაქციო მასალა მიეწოდება ბუნკერიდან 9 და შნეკით 2 გადაადგილდება პერფორირებულ ღარზე 1 გამომტვირთავი ღარისაკენ 10. ყოველი შემკრების თავზე ჭაჭა ირწყვება წინა შემკრებიდან ტუმბოთი 11 მიწოდებული წვენით. V შემკრების თავზე ჭაჭის გამორეცხვა ხდება 60-70°C - მდე გაცხელებული, დარბილებული წყლით. წყალი ცხელდება ჯერ თბომცველში 12 გამავალი წვენით, შემდეგ კი – ორთქლის შემრევ-გამაცხელებელში 13. წვენით დასველებული ჭაჭა ღარის ერთი ზონიდან მეორეში გადასვლის დროს ნაწილობრივ იწნეხება მიმმართველი ღარებით 14. ექსტრაქტირებული ჭაჭის გამოტვირთვა ხდება ღარიდან 10.



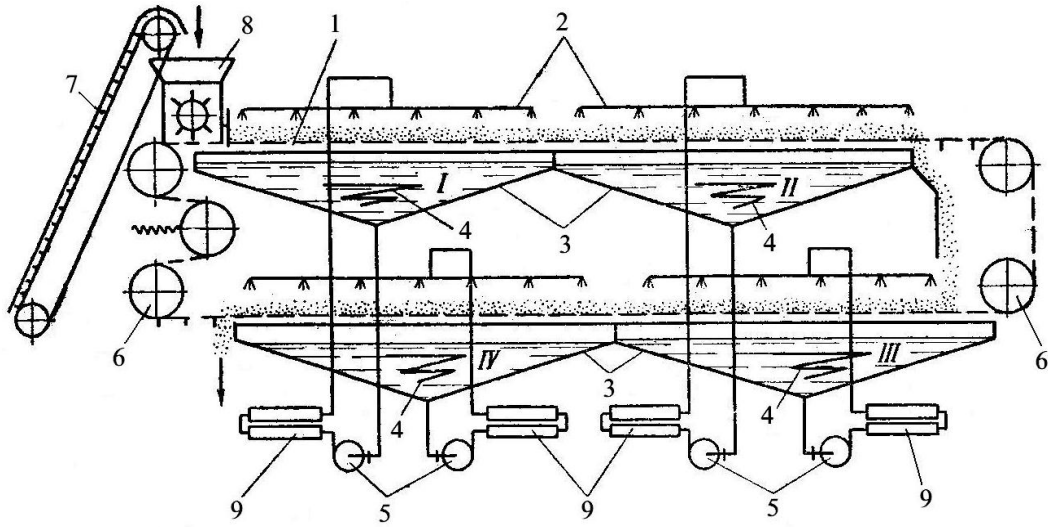
ნახ.9. შნეკური სარწყავი ექსტრაქტორი

შნეკური ტიპის ექსტრაქტორების ძირითად ნაკლოვან მხარეს შეადგენს საწყისი ნედლეულის ზედმეტად დაქუცმაცება, რაც ხშირად იწვევს ექსტრაქტში პროდუქტის ნაწილაკების გადასვლას და ართულებს მის შემდგომ გაწმენდას.

მელვინეობაში ასევე წარმატებით გამოიყენება უწყვეტი ქმედების ლენტური სარწყავი ექსტრაქტორი, რომლის სქემა მოცემულია ნახ.10-ზე.

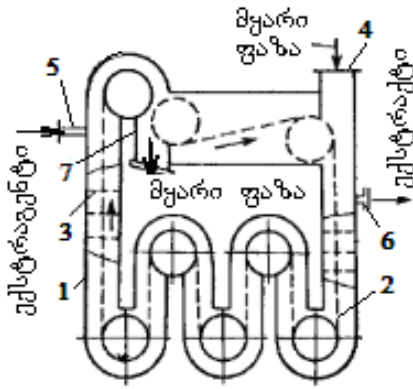
ექსტრაქტორი შედგება: ჰორიზონტალური ტრანსპორტიორისაგან 1, რომლის ზედა და ქვედა შტოები მუშა შტოებია; ტრანსპორტიორის თავზე განლაგებული სარწყავი სისტემისაგან 2; დიფუზიური წვეწვების შემკრებებისაგან 3 ორთქლის კლანილა გამაცხელებლებით 4; რეცირკულაციური ტუმბოებისაგან 5; ორთქლისა და წყლის კომუნიკაციებისაგან. ტრანსპორტიორის ლენტი შედგება ორი პარალელური ჯაჭვის შტოსაგან, რომლებიც გადადებულია ვარსკვლავების 6 სისტემაზე. ჯაჭვებზე სახსრულად, ერთი ბოლოთი დამაგრებულია პერფორირებული ფოლადის ფირფიტები, რომლებიც განტვირთვის უბნებში ვერტიკალურად არიან დაკიდებული. ექსტრაქტორი აღჭურვილია ჩამტვირთი ელევატორით 7 და მიმღები ბუნკერით 8. ექსტრაგენტი სარწყავ სისტემაში შედის წნევით, ტუმბოების 5 დახმარებით და ესხმება საექსტრაქციო ჭაჭას. ჭაჭის ფენაში გავლის შედეგად ხდება შაქრისა და ღვინისმჟავა შენაერთების ექსტრაჰირება, რომელიც ჩაედინება შემკრებებში I..IV. შემკრებიდან IV დიფუზიური წვეწვი ტუმბოთი 5, თბომცვლელის 9 გავლით კვლავ მიეწოდება

მოსარწყავად. ყველაზე მაღალი კონცენტრაციის წვენი მიიღება I უემკრებში.



ნახ.10. ლენტური სარწყავი ექსტრაქტორი

მაღალმწარმოებლურ საწარმოებში წარმატებით იყენებენ მრავალკოლონიან უწყვეტი ქმედების საექსტრაქციო აპარატებს, რომელთა ერთერთი სახე წარმოდგენილია ნახ.11-ზე.



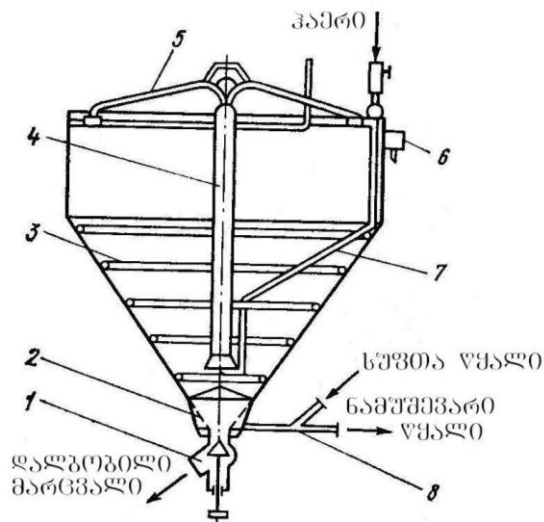
ნახ.11. მრავალკოლონიანი საექსტრაქციო აპარატი

აპარატის კორპუსში 1 მოძრაობს უწყვეტი ჯაჭვი 2, რომელზედაც დამაგრებულია ბადეები 3. მყარი ფაზა მიეწოდება ხვრელიდან 4, ხოლო ექსტრაგენტი – მილყელიდან 5. ექსტრაქტი გამოედინება მილყელიდან 6, ხოლო მყარი ფაზა ხვრელიდან 7. ამრიგად, აპარატში ექსტრაქციის პროცესი მიმდინარეობს ფაზათა წინააღმდეგობითი მოძრაობის პრინციპით.

“მყარი სხეული – სითხე” სისტემაში მასაცვლის პროცესის ინტენსივობის გაზრდის მიზნით ალალს წარმოებაში ფართოდ იყენებენ

დამლობო როფებს, რომლებშიც მარცვლის, წყლის და ჰაერის ნარევის ბარბოტირებით იზრდება მარცვლის ქერქში სითხის შეღწევადობის სიჩქარე და შესაბამისად მცირდება პროცესის ხანგრძლივობა

პერიოდული ქმედების მარცვლის დამლობი როფი წარმოადგენს ცილინდრულ ჭურჭელს კონუსური ძირით (ნახ.12). კონუსურ ზედაპირზე დამაგრებულია წრიული, პერფორირებული, საბარბოტერო მილები 3, რომლებსაც მიეწოდება შეკუმშული ჰაერი 0,3 მპა წნევით. აპარატის ცენტრში დაყენებულია ვერტიკალური მილი 4, რომლის ქვედა გაფართოებულ ბოლოში შეყვანილია შეკუმშული ჰაერის მიმწოდი მილი 7. მილის 4 ზედა ბოლოზე თავისუფლად არის დამაგრებული ამრეკლი თაღფაქი 5. აპარატის კონუსურ ნაწილში ჩადგმულია ფოლადის ბადე 2, რომელიც დანიშნულია მარცვლის დასაჭერად ნამუშევარი წყლის გამოშვების დროს (მილით 8).



ნახ.12. მარცვლის დამლობი როფი

დალბობილი მარცვალი როფიდან ჩამოედინება მილით 1, რომელიც იკეტება სარქველით. როფში სუფთა წყალი შედის ბადის 2 გავლით. შევსების შემდეგ მასში თანდათანობით ყრიან ქერის მარცვალს და ბარბოტერის მილებში 3 შეჰყავთ შეკუმშული ჰაერი მარცვლის ასარევად, გასარეცხად და დალბობის ინტენსივობის გაზრდის მიზნით. გაჭუჭყიანებული წყალი და მსუბუქი მარცვლები ჩაედინება დამჭერში 6, რომელიც მიმაგრებულია როფის ზედა ნაწილში გაკეთებულ ჭრილში. ცენტრალური მილი 4 დანიშნულია მარცვლის გადასაადგილებლად

ქვევიდნ ზევით, რაც ხორციელდება მილიდან 7 შეკუმშული ჰაერის მიწოდებით. წყლის, მარცვლის და ჰაერის ნარევი მილით 4 ადის ზევით და ამრეკლი თაღფაქით 5 თანაბრად ნაწილდება როფის პერიფერიაზე. ამრეკლი თაღფაქის ბრუნვა ხორციელდება, როფის კედლიდან მიღებული რეაქციის ძალით, რომელსაც წარმოქმნის ნარევის ჭავლი. ამრიგად, მარცვალი ცირკულირებს როფის ძირიდან მის ზედა ნაწილში და პირიქით, რითაც კიდევ უფრო იზრდება დაღბობის ინტენსივობა. დაღბობის დამთავრების შემდეგ, ჯერ გაუშვებენ ნამუშევარ წყალს, შემდეგ გახსნიან სარქველს და დამბალი მარცვალი ჩამოედინება მილით 1, საიდანაც ის იგზავნება სააღაოში ასაღოჯებლად.

დასაღბობად საჭირო წყლის ტემპერატურა შეადგენს 10-15⁰C. დაღბობის პროცესში ჰაერით შებერვა ხდება ყოველ საათში 5 წუთით. დაღბობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია წყლის ტემპერატურაზე მარცვლის სახეობაზე და გრძელდება 48-72 სთ-ის განმავლობაში.

როფის მოცულობას განსაზღვრავს დასაღბობი მარცვლის რაოდენობა. დაღბობის დროს მარცვლის მოცულობა იზრდება დაახლოებით 40%-ით. გარდა ამისა, აპარატს უნდა ჰქონდეს კიდევ მოცულობის გარკვეული მარაგი, რადგან ბარბოტირების დროს შესძლებელია ადგილი ჰქონდეს მარცვლის და წყლის გაშხეფებას. ამის გათვალისწინებით, აპარატის სრული მოცულობა უნდა იყოს 45- 50%-ით მეტი ჩასატვირთი მარცვლის მოცულობაზე, ანუ

$$V = 1,5 \frac{G}{\rho} ,$$

სადაც G - დასაღბობი მარცვლის მასაა, კგ; ρ - მარცვლის მოცულობითი მასა, კგ/მ³;

მიუხედავად პროცესის მაღალი ინტენსივობისა აღნიშნული მოწყობილობის გამოყენება მთელი რიგი მცენარეული ექსტრაქტის მისაღებად მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ხდება ექსტრაქტული ნივთიერებების ზედმეტად გაჯერება ჟანგბადით, რომელიც გამოისახება შემდეგი განტოლებით

$$M_{O_2} = K_{\text{ახ.}} F(c_{\text{გაჯ.}} - c_{\tau})\tau ,$$

სადაც M_{O_2} - სითხის მიერ შთანთქმული ჟანგბადის რაოდენობაა τ

დროის განმავლობაში მოცემული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში, მგ;

$K_{\text{ახ.}}$ - აბსორბციის კოეფიციენტი;

F - სითხესა და ჰაერს შორის კონტაქტის ზედაპირის ფართობი, მ^2 ;

$C_{\text{გაჟ.}}$ - ჟანგბადის კონცენტრაციაა გაჟერების ზღვრული

მნიშვნელობისას, $\text{მგ}/\text{მ}^3$;

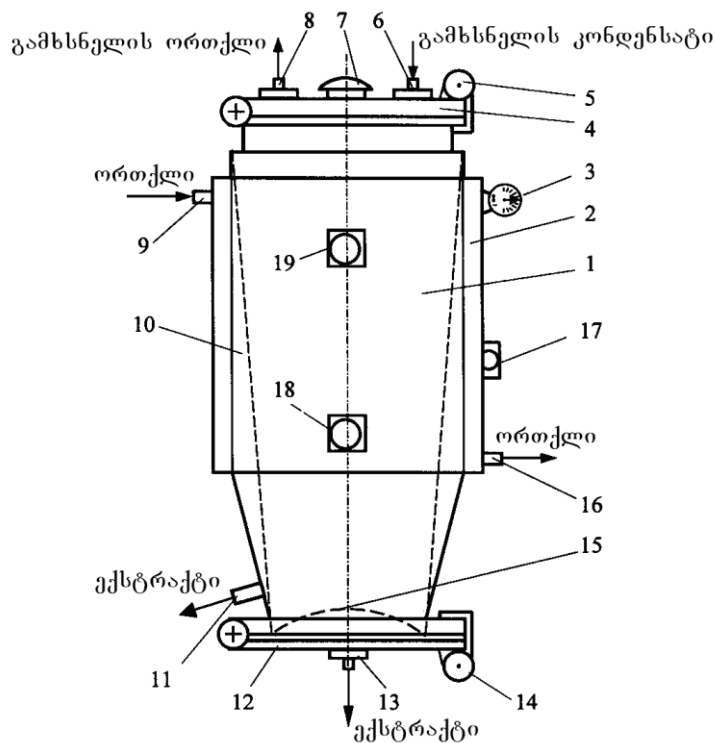
C_{τ} - ჟანგბადის კონცენტრაციაა τ დროის მოცემულ მომენტში,

$\text{მგ}/\text{მ}^3$.

ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით ხშირად იყენებენ საექსტრაქციო მასალაზე გარე ზემოქმედების სხვადასხვა მეთოდს, მათ შორის: ელექტრულს, ლაზერულს, მიკროტალღურ გამოსხივებას, მექანიკურ, ჰიდრაულიკურ, პნევმატიკურ აღმგზნებ საშუალებებს და სხვა [30,31,32,33,34,35,36,37,38].

ამ თვალსაზრისით საინტერესოა ქუთაისის აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტთან არსებულ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სამეცნიერო ცენტრში, პროფესორ ვ. ხვედელიძის მიერ დამუშავებული საწარმოო-ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელშიც პროცესის ინტენსიფიკაცია ხდება ვიბრაციული აღმგზნები საშუალებებით [39].

დანადგარში შემავალი აპარატი (ნახ.13) შედგება კორპუსისაგან 1, რომლის ცილინდრულ ნაწილს გარს აკრავს ორთქლის პერანგი 2, ექსტრაქციისათვის საჭირო ტემპერატურის მისაღწევად. ნედლეულის ჩატვირთვა წარმოებს ზედა ხუფიდან 4, რომელიც პერმეტულად იკეტება ჩამკეტით 5, ხოლო ექსტრაჰირებული ნარჩენის გამოტვირთვა წარმოებს ქვედა ხუფიდან 12 ჩამკეტით 14. კორპუსის 1 შიგნით, მთელ სიმაღლეზე მოთავსებულია კონუსური ცრუ კედელი 10 უჟანგავი ლითონის ფურცლოვანი ბადის სახით და ამოფენილია მიკროფილტრით ისე, რომ მასში თავისუფლად იმოძრაოს ექსტრაგენტმა და შეძლებისდაგვარად არ გავიდეს საექსტრაქციო ნედლეული. ქვედა ხუფზეც 12 დამაგრებულია სფერული ფორმის ასეთივე ბადე 15, რომელიც ანალოგიურ ფილტრის როლს ასრულებს.



ნახ.13. ვაკუუმის სისტემის საექსტრაქციო აპარატი

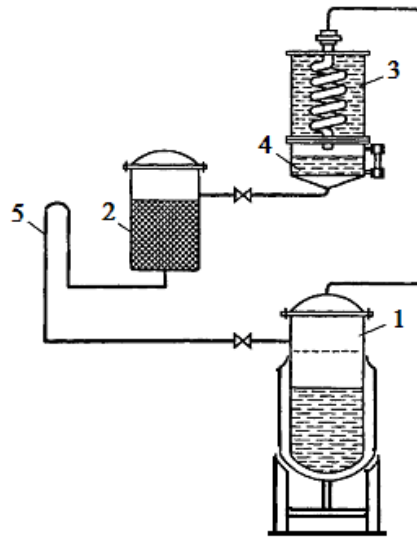
პერანგში გამაცხელებელი აგენტის მიწოდება (ორთქლი, წყალი) ხდება მილყელიდან 9, ხოლო გამოშვება – მილყელიდან 16. ექსტრაქტს ღებულობენ მილყელებიდან 11 და 13, რომლებზეც განთავსებულია სათანადო ონკანები. ექსტრაქტორი აღჭურვილია საზომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით: წნევის სარქველით 7, მანომეტრით 3, თერმორეგულატორით 17 ექსტრაქტორში ექსტრაგენტის ტემპერატურის სარეგულირებლად.

ექსტრაქციის პროცესში ექსტრაგენტის ორთქლი სარქველიდან 8 გაივლის თბომცვლელში (სქემაზე ნაჩვენები არ არის) და კონდენსატის სახით, სარქველის 6 გავლით ბრუნდება ექსტრაქტორში. თბომცვლელი დამონტაჟებულია დახრილად და კონდენსატი თვითდინებით ჩაედინება ექსტრაქტორში.

ექსტრაქტორის შიგა მოცულობაა შეადგენს 3,5 მ³, მუშა მოცულობა კი 2,6-2,7 მ³-ის ტოლია.

ექსტრაქტორი აღჭურვილია ვიბრატორებით 18 და 19 (სულ ოთხი ცალი ექსტრაქტორის გარშემო სიმეტრულად), რომლებიც დანიშნულია პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის.

ექსტრაქციული პროცესის სრული ტექნოლოგიური ციკლის ერთ დანადგარში დამთავრების მიზნით ხშირად იყენებენ ცირკულაციური ექსტრაქციის მეთოდს, რომლის არსი დაფუძნებულია სუფთა ექსტრაგენტის მრავალჯერადი ცირკულირებით საექსტრაქციო ნივთიერების მასაში. დანადგარში (ნახ.14) კომუნიკაციებით თანმიმდევრობით დაკავშირებულია ერთმანეთთან გამოსახდელი კუბი 1, ექსტრაქტორი 2, მაცივარ-კონდენსატორი 3 და კონდენსატის შემკრები 4. ექსტრაგენტად გამოიყენება აქროლადი ორგანული გამსხნელები, რომლებსაც აქვთ დაბალი დუდილის ტემპერატურა.



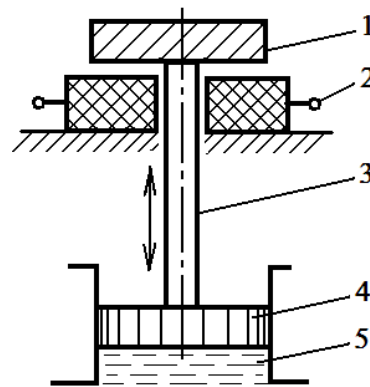
ნახ.14.ცირკულაციური საექსტრაქციო დანადგარის სქემა

ნედლეულის ჩატვირთვა ხდება ექსტრაქტორში 2, რომელშიც ისხმება ექსტრაგენტი სიფონური მილის 5 ქვედა ნიშნულის დონემდე. ექსტრაქტორში 2 პროცესის დამთავრების შემდეგ შემკრებიდან 4 აწვდიან იმდენ ექსტრაგენტს, რომ ექსტრაქტულმა ხსნარმა მიაღწიოს სიფონური მილის 5 ზედა დონეს და გადავიდეს გამოსახდელ კუბში 1. კუბის გაცხელების შედეგად ექსტრაგენტის ორთქლი ადის კონდენსატორში 3, იქედან კი ჩაედინება შემკრებში 4 და ციკლი მეორდება. გაჯერებული ექსტრაქტული ხსნარი ჩაედინება გამოსახდელ კუბში 1. ექსტრაგენტის ცირკულაცია ტარდება მრავალჯერადად ნედლეულის სრულ გამოტუტვამდე. კუბში რჩება ექსტრაქციული ნივთიერებების კონცენტრირებული ხსნარი. ამრიგად, დანადგარში

სრულდება სრული ტექნოლოგიური ციკლი თხევადი ექსტრაქტის საბოლოო პროდუქტის მიღებამდე.

ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციის მრავალ ფაქტორს შორის მნიშვნელოვანია ტემპერატურის და წნევის სწრაფი ცვლილება. ამ პარამეტრების ცვლილება მიიღწევა პროცესის მიმდინარეობაზე სხვადასხვა ფიზიკური და ელექტროფიზიკური ზემოქმედებით, მათ შორის იმპულსური მაგნიტური ველის გამოყენებით, ლაზერის სხივის მოქმედებით ექსტრაგენტზე და ნედლეულზე, აკუსტიკური გამოსხივებით, იმპულსური ელექტროგანმუხტვით და სხვა.

მაგნიტურ-იმპულსურ აპარატში (ნახ.15) ამპლიტუდური რხევები გადაეცემა დისკით 1, რომელიც მოთავსებულია ინდუქტორის 2 თავზე და ძელით 3 შეერთებულია დგუშთან 4. დგუში მოძრაობს ექსტრაქტორის მუშა კამერაში, რომელიც შევსებულია ექსტრაგენტით 5 დგუშის ქვედა სიბრტყემდე. ინდუქტორში იმპულსის მიწოდებას რხევით მოძრაობაში მოჰყავს დგუში, რაც იწვევს თხევადი არეს მრავალჯერად გახლენას მიშანცვლადი წნევით. ამით მაღლდება მასათა ცვლის სიჩქარე და შესაბამისად პროცესის ინტენსივობა. გახლენის ჯერადობას განსაზღვრავს ელექტროიმპულსის ინდუქტორში მიწოდების სიხშირე.



ნახ.15. მაგნიტურ-იმპულსური აპარატის სქემა

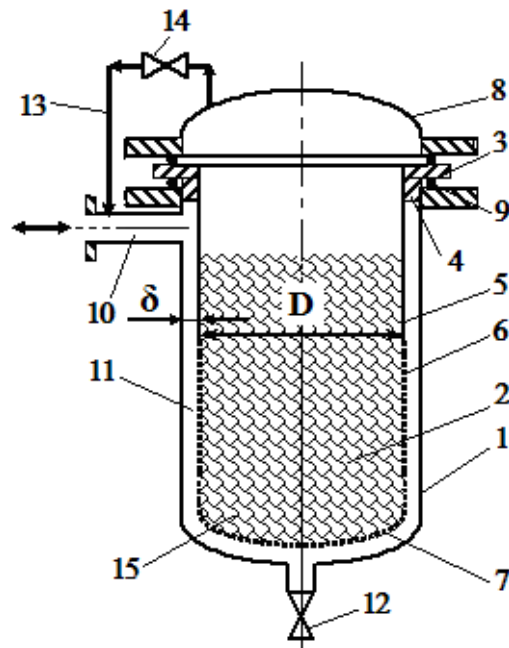
ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციისთვის იყენებენ პნევმო-ჰიდრაულიკური პულსაციის მეთოდზე მომუშავე აპარატებს. ამ აპარატების შექმნის დროს დასახული იყო ორი ამოცანა, რომლებიც უზრუნველყოფდნენ ექსტრაჰირების მაღალ სიჩქარეს.

პირველ ამოცანას უნდა გადაეწყვიტა შიგა მასაგადატანის გაუმჯობესება ნაწილაკის კაპილარებში სითხის პულსაციის გზით,

ხოლო მეორე ამოცანას – გარე მასაგადატანის ინტენსიფიკაცია აპარატში ნაწილაკების ფენის პულსაციური გაფხვიერებით. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დიდი მოცულობის აპარატებისთვის და მცირე ზომის ნაწილაკებისთვის, როდესაც ფორმირდება ძნელად გამტარი ფენა.

ნახ.16–ზე წარმოდგენილი აპარატი შედგება კორპუსისაგან 1, რომელშიც ჩადგმულია D დიამეტრის კონტეინერი 2, რგოლით 3 და მაცენტრებელი საფეხურით 4. კონტეინერის ზედა გვერდითი ზედაპირი 5 მთლიანია, ხოლო ქვედა ნაწილი 6 და ძირი 7 გამტარია სითხისთვის და გაუმტარი ნაწილაკებისთვის.

აპარატის ჰერმეტიკობა ხორციელდება სახურავით 8 და სადებით 9. წნევის პულსაცია ხორციელდება მილყელიდან 10, რომელიც დაკავშირებულია წრიულ არესთან 11. სარქველი 12 დანიშნულია პროდუქტის ჩამოსაშვებად. აპარატის ზედა არე დაკავშირებულია წრიულ არესთან 11 მილით 13, მარეგულირებელი სარქველის 14 გავლით. წრიული არეს სიგანე (დრეჩო δ) შეიძლება იყოს თანაბარი კონტეინერის მთელ სიმაღლეზე, ან იყოს ცვლადი.



ნახ.16. პულსაციური ექსტრაქტორი

აპარატი მუშაობს შემდეგნაირად: ნედლეულით 15 შევსებულ კონტეინერს 2 დგამენ კორპუსში და ასხავენ მასში ექსტრაგენტს.

ჩაირთვება წნევის პულსაციის აღმგზნები, რომლისგანაც მიღყელით 10 წრიულ არეში 11 მიეწოდება შეკუმშული ჰაერი. ჰაერი წრიული არედან გამოდევნის სითხეს, რომლის დონე კონტეინერში იწვევს მაღლა და სახურავის ქვეშ მყოფი ჰაერი იკუმშება. როგორც კი სისტემაში წნევა გათანაბრდება, წნევის პულსაციის აღმგზნები, გადაირთვება ჰაერის დაჭირხნიდან მის გამოშვებაზე, ანუ მიღყელი 10 დაუკავშირდება ატმოსფეროს. ამის შედეგად, სითხე დაბრუნდება უკან წრიულ არეში. ამ პროცესის გარკვეული სიხშირით განმეორება იწვევს აპარატში მყოფი მასის ინტენსიურ პულსაციას, რაც ზრდის პროცესის ინტენსივობას.

ექსტრაქციული პროცესების ტრადიციული მეთოდებისა და მოწყობილობების ანალიზი გვიჩვენებს ორ ძირითად ნაკლოვან მხარეს – ნედლეულიდან მიზნობრივი პროდუქტის არასრულ გამოყოფას და პროცესის დიდ ხანგრძლივობას.

თეორიული კვლევების ანალიზით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიუხედავად მეცნიერული კვლევების დიდი სიმრავლისა არ არსებობს ისეთი უნივერსალური მათემატიკური აპარატი, რომელიც საშუალებას მოგვცემდა შეგვექმნა ახალი ორიგინალური მოწყობილობების გაანგარიშების და კონსტრუირების საფუძვლები.

1.5. I თავის დასკვნები

- ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია საკითხის დასმის აქტუალობა და მცენარეული ნედლეულიდან მიღებული ბიოლოგიურად აქტიური საკვებ-პროფილაქტიკური ნივთიერებების მოხმარების შედეგად მიღებული დადებითი ეფექტი;

- მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესების კვლევისათვის არ არსებობს უნივერსალური თეორიული მოდელი. კვლევები დამყარებულია მსათა ცვლის და მასათა გადაცემის კლასიკურ თეორიულ პრინციპებზე, რომლებიც ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში მოითხოვენ სპეციფიკურ მიდგომას;

- მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის არსებული მეთოდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უმრავლეს შემთხვევაში პროცესის ინტენსიფიკაცია მიიღწევა მასალაზე გარე ფაქტორების ზემოქმედების საფუძველზე, რომლებიც შეიძლება იყოს მექანიკური, ჰიდრაულიკური, პნევმატიკური, ელექტრო-მაგნიტური, კომბინირებული და სხვა.

- მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციისათვის გამოყენებული მოწყობილობების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ჩვენი რესპუბლიკის ველური მცენარეული სანედლეულო ბაზის რაოდენობის გათვალისწინებით მიზანშეწონილია დამუშავებული იყოს შედარებით მცირე მოცულობის (0,5-1,0მ³ ტევადობის) და მწარმოებლობის, პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატები;

- პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატების (ან აპარატების ბატარეების) ბაზაზე შესაძლებელია შეიქმნას რაციონალური მანქანა-აპარატურული სქემა, რომელიც უზრუნველყოფს მიზნობრივი პროდუქტის მაღალ გამოსავლიანობას და ხარისხს, მინიმალური მატერიალური დანახარჯებით.

2. შედეგების განსჯა

2.1. მცენარეული ნედლეულის ორიგინალური ექსტრაქტორის დამუშავება

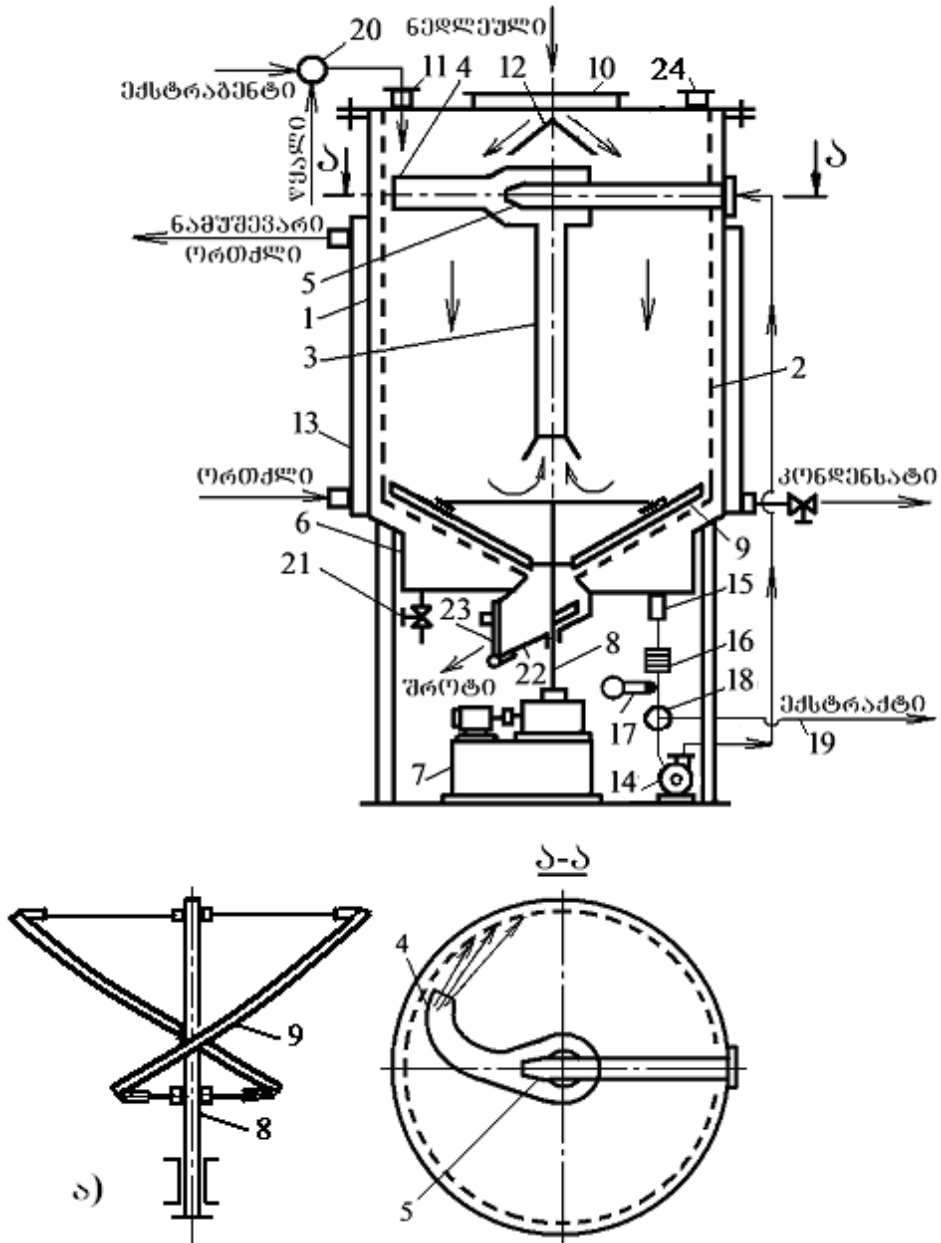
ექსტრაქციის მეთოდების და მოწყობილობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ისინი ძალზე მრავალფეროვანია და განსხვავდებიან არა მარტო კონსტრუქციული აგებულებით, არამედ ტექნოლოგიური ეფექტურობით და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით. ძირითადი მოთხოვნები, რომლებიც უნდა დააკმაყოფილოს ნებისმიერი კონსტრუქციის აპარატმა არის საექსტრაქციო ნივთიერებების მაქსიმალური გამოყოფა მინიმალური დროისა და მატერიალური დანახარჯების პირობებში.

ჩვენი რესპუბლიკის საექსტრაქციო მცენარეული ნედლეულის ბაზა ძალზე მრავალფეროვანია, მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ დამზადების მასშტაბებს, მაშინ უფრო რაციონალურია პერიოდული ქმედების აპარატების შექმნა, რომლებშიც საჭირო მწარმოებლობა მიიღწევა პროცესის ინტენსიფიკაციის სათანადო მეთოდების გამოყენებით.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია რამოდენიმე მოდიფიკაციის, ორიგინალური კონსტრუქციის მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქტორის სქემა. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციის ერთერთ მეთოდს წარმოადგენს თხევადი და მყარი ფაზების აქტიური ბარბოტირება. ჩვენს მიერ დამუშავებულ კონსტრუქციებში ეს მეთოდი განხორციელებულია ექსტრაგენტის ცირკულირებით ჩაკეტილ ციკლში ჭავლური ტუმბოს მოქმედების პრინციპით. ნახ.17-ზე წარმოდგენილ აპარატში განხორციელებულია ორფაზიანი სისტემის (მყარი სხეული - სითხე) ექსტრაქციის პროცესი, რომელშიც ინტენსიფიკაციის ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს მუშა არეს ბარბოტირება ექსტრაგენტის ჭავლით, რასაც თან ახლავს მასაცვლის პროცესის ინტენსიფიკაცია.

აპარატი წარმოადგენს ცილინდრულ ჭურჭელს 1, რომელშიც კოაქსიალურად ჩადგმულია ცილინდრული ბადე 2 კონუსური ძირით. ცილინდრში თანადერძულად დაყენებულია ჭავლური ტუმბო შემწოვი 3, შემრევი 4 მილებით და საქშენით 5. ცილინდრული ბადის კონუსურ ძირს გარედან გაკეთებული აქვს თხევადი ფაზის შემკრები კოლექტორი 6.

აპარატის კონუსურ ძირში ჩადგმულია დახრილი ფრთებისაგან შედგენილი როტორი 9 (ნახ.17,ა), რომლის ლილვი 8 ბრუნვით მოძრაობას იღებს რევერსიული ამძრავიდან 7. ამ მექანიზმს აქვს ორმაგი დანიშნულება – იგი ასრულებს მომრევის როლს პროცესის ინტენსივობის გაზრდის მიზნით, ხოლო პროცესის დამთავრების შემდეგ იგი ემსახურება აპარატიდან შროტის გამოტვირთვას.



ნახ.17. საექსტრაქციო აპარატის სქემა

რევერსიული ამძრავი უზრუნველყოფს როტორის გადართვას სხვადასხვა მიმართლების ბრუნვაზე. ექსტრაქციის პროცესში როტორი გადაადგილებს მასას კონუსური ძირის ქვედა ნაწილიდან ზემოთ, ხოლო შროტის გამოტვირთვის დროს კი – პირიქით.

შროტი გამოიტვირთება ღარით 22, რომელიც ექსტრაქციის პროცესში ჰერმეტიკულად იკეტება საკეტით 23.

აპარატის სახურავზე განლაგებულია მყარი მასალის ჩასატვირთი ლიუკი 10 და ექსტრაგენტის მისაწოდებელი მილყელი 11. ლიუკის 10 ძირში, თანადერძულად მოთავსებულია მიწოდებული მასალის აპარატის კორპუსის პერიფერიებზე გამანაწილებელი თალფაქი 12.

კორპუსს გარედან გაკეთებული აქვს პერანგი 13, ორთქლის შემშვები, ნამუშევარი ორთქლის და კონდენსატის გამოშვანი მილყელებით.

აპარატის ძირში დაყენებულია ცენტრიდანული ტუმბო 14, რომელიც თხევად ფაზას შეიწოვს კოლექტორიდან 6 მილით 15 და ჭირხნის საქშენში 5. მილზე 15 დაყენებულია თხევადი ფაზის კონცენტრაციის 16 და ტემპერატურის 17 საკონტროლო ხელსაწყოები, აგრეთვე სითხის ნაკადის გადამრთველი 18.

აპარატში დადგენილი პროპორციით აწვდიან ნედლეულს ფხვიერი მასალის სახით ლიუკიდან 10 და ექსტრაგენტს – მილყელიდან 11. ამავე მილყელით, საჭირო დროს, აპარატში შეჰყავთ გამრეცხი წყალი.

ფხვიერი მასალა იკავებს ცილინდრულ ბადესა 2 და შემწოვ მილს 3 შორის არეს, ხოლო ექსტრაგენტი ჭურჭელში ჩასხმის შემდეგ შედის აგრეთვე მილში 3 და იკავებს მასში ჭურჭელში არსებულის თანაბარ დონეს. თხევადი ფაზა ბადის ნახვრეტების გავლით ჩაედინება კოლექტორში 6. ტუმბო 14 თხევად ფაზას ჭირხნის საქშენში 5, რომელიც შემრევ მილთან 4 ქმნის ინჟექციის ეფექტს, რაც იწვევს ჭურჭელში არსებული თხევადი და მყარი ფაზების ნარევის შესვლას შემწოვ მილში 3 და ბარბოტირების ეფექტით მის ცირკულაციას. შემრევი მილის 4 მოხრილი ბოლო (კვეთი ა-ა) ნაკადს მიმართავს ჭურჭლის კედლისადმი ტანგენციალურად, რაც იწვევს სითხის ნაკადის ზედა ფენების ბრუნვას და ექსტრაჰირების პროცესის ინტენსივობის კიდევ უფრო გაზრდას.

ექსტრაქციის პროცესისათვის საჭირო ტემპერატურა ნარევის გადაცემა ორთქლის პერანგიდან 13, რომელიც კონტროლდება თერმომეტრით 17. როდესაც ხსნარში ექსტრაქციული ნივთიერებების კონცენტრაცია მიაღწევს სასურველ დონეს, ფოტო-ელექტრული რეფაქტომეტრი 16 გადასცემს იმპულსს გადამრთველს 18 და ექსტრაქტი მილით 19 გამოიყოფა აპარატიდან. ამის შემდეგ, გახსნიან საკეტს 23, ჩართავენ როტორის 9 ამძრავს 7 და ჭურჭელში არსებული ნარჩენი (შროტი) აპარტიდან შამოედინება გამომტვირთავი ღარით 22. ამის შემდეგ, აპარატი ირეცხება წყლით, რომელიც მიეწოდება მას მილყელით 11 გადამრთველის 20 გავლით და მზადდება მორიგი ჩატვირთვისათვის. აპარატის სანიტარული მომსახურებისთვის გათვალისწინებულია ონკანი 21 გამრეცხი წყლის ჩამოსაცლელად. ექსტრაგენტის წარმოქმნილი ორთქლი აპარატიდან მილყელით 24 მიეწოდება თბომცველს.

ამრიგად, წარმოდგენილ აპარატში ექსტრაქციული პროცესი ხორციელდება ჩაკეტილ ციკლში, ორფაზიან არადრეკად არეს შორის მასაცვლის შედეგად.

აპარატის გამოყენება თანაბარი წარმატებით შესაძლებელია როგორც “მყარი სხეული – სითხის” ასევე “სითხე-სითხის” სისტემების ექსტრაქციისთვის.

წარმოდგენილ მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ჰიდროდინამიკურ მეთოდს გააჩნია რიგი უპირატესობანი:

- ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაცია;
- ექსტრაქციის დროის შემცირება;
- გამოყოფილი მიზნობრივი ნივთიერების რაოდენობის გაზრდა;
- ენერგოდანახარჯების შემცირება.

2.2. ექსტრაქციის ჰიდროდინამიკური პროცესის თეორიული ანალიზი

წარმოდგენილ ექსტრაქციული ტიპის ექსტრაქტორში (ნახ.17) მნიშვნელოვანია მის მთავარ კვეთებში ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ანალიზური დასაბუთება და სწორად შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალ ტექნოლოგიურ ეფექტს.

ჭავჭავი აპარატების თეორიას საფუძველი ჩაეყარა ჯერ კიდევ ცეინერისა და რენკინის შრომებში. მათი თეორია დაფუძნებული იყო ნაკადების იმპულსების განტოლებებზე. მაგრამ ეს თეორია არ იძლევა ჭავჭავი აპარატების გაანგარიშების სრულ შესაძლებლობას, კერძოდ მათი ძირითადი კონსტრუქციული პარამეტრების ზუსტად განსაზღვრას.

ჭავჭავი აპარატების თეორიის შექმნას ფართო შესაძლებლობები მისცა აპარატებში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური მოვლენების შემდგომმა დეტალურმა შესწავლამ, რაშიც დიდი წვლილი მიუძღვის ვ.გონჩარევის შრომებს.

კბაულინის და ლ.ბერმანის შრომების საფუძველზე დამუშავდა გაანგარიშების მეთოდოლოგია და შეიქმნა ჭავჭავი აპარატების საკმაოდ სრულყოფილი კონსტრუქციები. ამავდროულად შრომებში გამოყვანილია მახასიათებლების განტოლებები, რომლებიც აღწერენ ჭავჭავი აპარატების მუშაობას ცვლად რეჟიმებში.

გარდა აღნიშნულისა, ჭავჭავი აპარატების თეორიისადმი მიძღვნილია მრავალი შრომა, რომელთა მიზნობრივ დანიშნულებას, როგორც წესი, წარმოადგენს ძირითადი პარამეტრების საანგარიშო ფორმულების გამოყვანა მოცემული ტიპის აპარატისა და პირობებისათვის [40,41].

ნახ.18-ზე ნაჩვენებია ჭავჭავი აპარატების მოქმედების ტიპური პრინციპული სქემა, სახასიათო კვანძები და ძირითადი პარამეტრები.

ნებისმიერი ჭავჭავი აპარატის მახასიათებელი პროცესები აღიწერება სამი კანონით [40]:

- ენერჯის მუდმივობის

$$i_a + ui_o = (1 + u)i_g ,$$

სადაც i_a , i_o , i_g - შესაბამისად მუშა, ინექტირებული და შერეული

ნაკადის ენტალპიებია, კჯ/კგ;

u - ინექციის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია $u = G_o / G_a$.

- მასის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$G_g = G_a + G_o ,$$

სადაც G_a, G_o, G_a - შესაბამისად მუშა, ინჟექტირებული და შერეული ნაკადების მასური ხარჯია, კგ/წმ.

- იმპულსების კანონის თანახმად

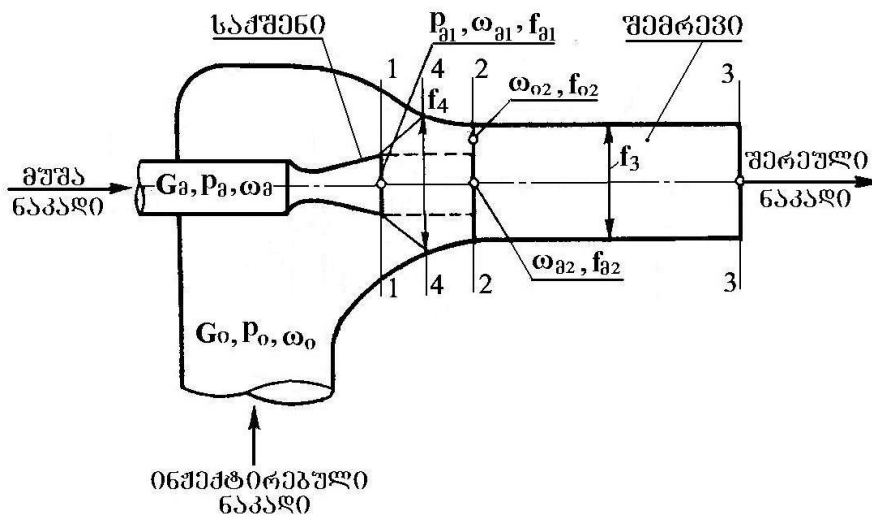
$$G_a \omega_{a1} + G_o \omega_{o1} - (G_a + G_o) \omega_3 = p_3 f_3 + \int_{f_3}^{f_1} p df - (p_{a1} f_{a1} + p_{o1} f_{o1}), \quad (5)$$

სადაც $\omega_{a1}, \omega_{o1}, \omega_3$ - შესაბამისად მუშა, ინჟექტირებული და შერევი კამერის გამოსასვლელში შერეული ნაკადის სიჩქარეებია, მ/წმ;

P_{a1}, P_{o1}, P_3 - მუშა და ინჟექტირებული ნაკადების სტატიკური წნევებია შერევი კამერის შესასვლელში და შერეული ნაკადის სტატიკური წნევაა ამავე კამერის გამოსასვლელ კვეთში, პა;

f_{a1}, f_{o1}, f_3 - მუშა და ინჟექტირებული ნაკადების კვეთების ფართობია შერევი კამერის შესასვლელში და შერეული ნაკადის კვეთის ფართობია იმავე კამერის გამოსასვლელში, მ²;

$\int_{f_3}^{f_1} p df$ - შერევი კამერის გვერდით ზედაპირზე ძალთა იმპულსის ინტეგრალია 1-1 და 3-3 კვეთებს შორის (ნახ.18).



ნახ.18. ჭავლეური აპარატის საანგარიშო სქემა

იმპულსების კანონის საფუძველზე (5) არადრეკადი გარემოსათვის შესაძლებელია მივიღოთ ჭავლეური აპარატის მახასიათებლების განტოლება

$$\frac{\nabla p_a}{\nabla p_a} = \varphi_1^2 \frac{f_{a1}}{f_3} [2\varphi_2 + (2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2}) \frac{\nu_0}{\nu_a} \frac{f_{a1}}{f_{o2}} u^2 - (2 - \varphi_3^2) \frac{\nu_a}{\nu_a} \frac{f_{a1}}{f_3} (1+u)^2] \quad (6)$$

მოცემულ განტოლებაში ∇p_a და ∇p_a - შესაბამისად შემრევი და საქშენში წნევათა ვარდნაა, რომლებიც ტოლია

$$\nabla p_a = p_a - p_o; \quad \nabla p_a = p_a - p_o$$

კვეთების ფართობისთვის გვაქვს

$$f_{o2} = f_3 - f_{a1}; \quad \frac{f_{a1}}{f_{i2}} = \frac{f_{a1}}{f_3 - f_{a1}}$$

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - სიჩქარის კოეფიციენტებია შესაბამისად: საქშენის, შემრევი კამერის, დიფუზორის და შემრევი კამერის შესასვლელი უბნის.

ν_a, ν_o, ν_a - ხვედრითი მოცულობებია შესაბამისად: მუშა, ინჟექციური და შერეული ნაკადების, მ³/კგ.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილ კონსტრუქციაში დიფუზორი არ წარმოადგენს უშუალოდ შემრევი მილის გაგრძელებას და მის როლს ასრულებს აპარატის დანარჩენი მოცულობა, ამდენად $\varphi_3 = 1$. გარდა ამისა, ხვედრითი მოცულობები აპარატის ყველა კვეთში პრაქტიკულად ტოლია, ანუ $\nu_a = \nu_o = \nu_a$.

ყოველივე აღნიშნულის გათვალისწინებით (2) განტოლება მიიღებს სახეს

$$\frac{\nabla p_a}{\nabla p_a} = \varphi_1^2 \frac{f_a}{f_a} [2\varphi_2 + (2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2}) \frac{f_a}{f_a} u^2 - 2 \frac{f_a}{f_a} (1+u)^2] \quad (7)$$

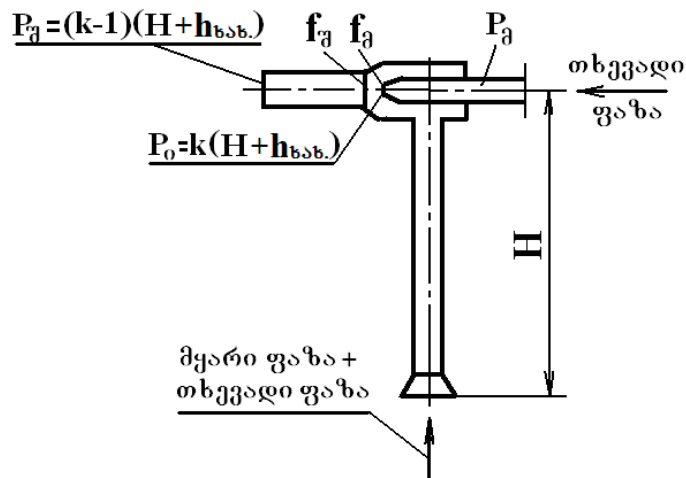
(7) განტოლება ამყარებს დამოკიდებულებას აპარატის მთავარ კვეთებში წნევათა ფარდობით ვარდნას, ფართობებს, სიჩქარეთა კოეფიციენტებს და ინჟექციის კოეფიციენტს შორის.

მიღებულ განტოლებაში მნიშვნელოვანია შემრევი მილში სიჩქარის კოეფიციენტის განსაზღვრა. საქშენის ჭავლიდან გამოსული სითხის ნაკადის სიჩქარის დანაკარგს ძირითადად განსაზღვრავს შემწვოვ მილში არსებული სითხის H ჰიდროსტატიკური დაწნევა. ამის გათვალისწინებით განისაზღვრა φ_2 კოეფიციენტი

$$\varphi_2 = \sqrt{\frac{kH - H}{kH}} = \sqrt{\frac{k-1}{k}},$$

სადაც H - შემწოვი მილის სიმაღლე ანუ ჰიდროსტატიკური უკუ დაწნევაა. $k > 1$ - საქშენის კვეთში დაწნევის მარაგის კოეფიციენტია H ჰიდროსტატიკური წნევის დასაძლევად და ბარბოტირების მაღალი ეფექტის შესქმნელად.

აპარატში მუშა და ინჟექციის წნევების სიდიდეზე წარმოდგენას გვაძლევს ნახ.19 -ზე წარმოდგენილი საანგარიშო სქემა.



ნახ.19. ექსტრაქტორის ჰიდროდინამიკური პროცესის საანგარიშო სქემა

საქშენში წნევის ვარდნა განისაზღვრება ფორმულით

$$\nabla p_a = p_a - p_0 = \frac{G_a^2 v_a^2}{\varphi_1^2 2 f_a^2} \text{ პა,} \quad (8)$$

სადაც ∇p_a -საქშენში წნევის ვარდნაა, ანუ მუშა წნევის ვარდნა, პა;

p_a - ტუმბოს მიერ განვითარებული მუშა წნევა, პა;

p_0 - საქშენის გამოსასვლელ კვეთში წნევა, ანუ ინჟექციის წნევა,

პა;

G_a - მუშა სითხის ხარჯია, კგ/წმ;

v_a - მუშა სითხის ხვედრითი მოცულობაა, მ³/კგ;

φ_1 - სიჩქარის დანაკარგის კოეფიციენტია;

f_a - საქშენის გამოსასვლელი ხერხელის ფართობი, მ².

იმისათვის, რომ განხორციელდეს ინჟექციის ეფექტი საჭიროა, რომ დაცული იყოს პირობა

$$p_0 > k(H + h_{\text{b.s.}}) \quad \text{პა,}$$

სადაც H - სითხის შეწოვის ჰიდროსტატიკური წნევაა, პა;

$h_{\text{b.s.}}$ - ხახუნზე დანაკარგებია შემწოვ მილში, პა;

$k.>1$ - კოეფიციენტია, რომელიც განსაზღვრავს პროცესის ინტენსივობას.

ხახუნზე დანაკარგები მილში განისაზღვრება ჰიდრომექანიკიდან ცნობილი დამოკიდებულებით

$$h_{\text{b.s.}} = \lambda_{\text{b.s.}} \frac{L}{d} \frac{v_{\text{c.}}}{2g},$$

სადაც $\lambda_{\text{b.s.}}$ - ხახუნის კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია

სითხის სიბლანტეზე, მოძრაობის სიჩქარეზე და მილის დიამეტრზე;

L - მილის სიგრძეა, მ;

d - მილის დიამეტრია, მ;

$v_{\text{c.}}$ -სითხის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეა, მ/წმ;

g -სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, მ/წმ².

$\lambda_{\text{b.s.}}$ სიდიდეს განსაზღვრავს სითხის მოძრაობის ხასიათი, კერძოდ ლამინარული დინების დროს $\lambda_{\text{b.s.}} = 64/\text{Re}$, ხოლო ტურბულენტური დინების შემთხვევაში - $\lambda_{\text{b.s.}} = 0,3164/\sqrt[4]{\text{Re}}$, სადაც Re - რეინოლდსის კრიტერიუმი.

(8) ფორმულიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ მუშა წნევის სიდიდე

$$p_a = \frac{G_a^2 v_a^2}{\varphi_1^2 2 f_a^2} + k(H + h_{\text{b.s.}}), \quad \text{პა.}$$

შემდეგ კამერაში წნევის ვარდნა ტოლია

$$\nabla p_a = H + h_{\text{b.s.}}, \quad \text{პა}$$

ექსტრაქტორის ტექნოლოგიური ეფექტურობისათვის მნიშვნელოვანია აგრეთვე აპარატის მთავარი კვთების ფართობების ოპტიმალური ფარდობის სხვა ფაქტორებთან დამოკიდებულების განსაზღვრა. მოცემული ინჟექციის კოეფიციენტისათვის, განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$\left(\frac{f_a}{f_a}\right)_{\text{ობ.}} = [2(1+u)^2 - (2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_3^2})nu^2] / \varphi_2, \quad (9)$$

სადაც

$$n = \frac{f_a / f_a}{(f_a / f_a) - 1}.$$

თუ ცნობილია შემრევისა და მუშა წნევების ფარდობითი ვარდნა, მაშინ აპარატის მთავარი კვთების ფართობის ოპტიმალური ფარდობა განისაზღვრება უფრო მარტივი ფორმულით

$$\left(\frac{f_a}{f_a}\right)_{\text{ობ.}} = \varphi_1^2 \varphi_2 \frac{\nabla p_a}{\nabla p_a} \quad (10)$$

მიღებული სხვა ტექნოლოგიური, კონსტრუქციული და ჰიდრაულიკური პარამეტრების გათვალისწინებით (7) და (9) განტოლებებმა მიიღო შემდეგი სახე

$$\frac{\nabla p_a}{\nabla p_a} = 0,205 - 0,12u - 0,017u^2 \quad (11)$$

$$\left(\frac{f_a}{f_a}\right)_{\text{ობ.}} = 2,5 + 5u + 0,275u^2 \quad (12)$$

ნახ.20-ზე წარმოდგენილია (11), (12) განტოლებების გრაფიკული გამოსახულება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ცნობილია ∇p_a წნევის ვარდნა, მაშინ საქმენის გამოსასვლელი ხვრელის კვეთი განისაზღვრება ფორმულით

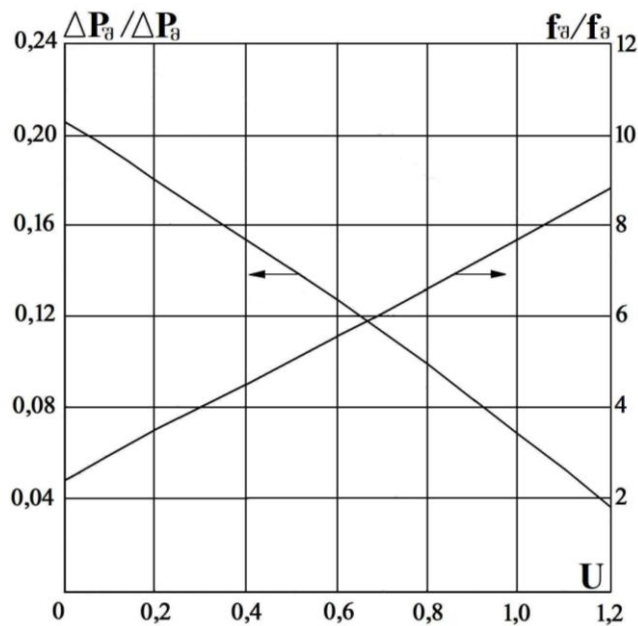
$$f_a = \frac{G_a}{\varphi_1} \sqrt{\frac{v_a}{2\nabla p_a}} \varphi^2, \quad (13)$$

აქედან იანგარიშება საქმენის გამოსასვლელი ხვრელის დიამეტრი $d_{\text{საქ.}}$.

შემრევი კამერის კვეთის ფართი $f_ა$ და შესაბამისად დიამეტრი, განისაზღვრება (10) და (13) ფორმულების ერთობლივი ამოხსნით.

როგორც მიღებული განტოლებები გვიჩვენებს, ექსტრაქტორის ძირითად მახასიათებელ პარამეტრს წარმოადგენს ინჟექციის კოეფიციენტი, რომელიც ერთერთი განმსაზღვრელია ექსტრაქციის პროცესის ინტენსივობის. იგი განისაზღვრება ინჟექტირებული ნარევის (G_o) და მუშა სითხის ($G_ა$) ხარჯების (კგ/წმ) ფარდობით

$$u = \frac{G_o}{G_ა}$$



ნახ.20. $\nabla P_ა/\nabla P_ა$ და $f_ა/f_ა$ დამოკიდებულება ინჟექციის კოეფიციენტთან u

ორფაზიანი სისტემის – “მყარი სხეული – სითხე” ექსტრაქტირების პროცესში აღნიშნული კოეფიციენტი წარმოადგენს მყარი და თხევადი ფაზების ინჟექციის ორი კერძო კოეფიციენტის ჯამს

$$u = u_{ა.ფ.} + u_{თ.ფ.},$$

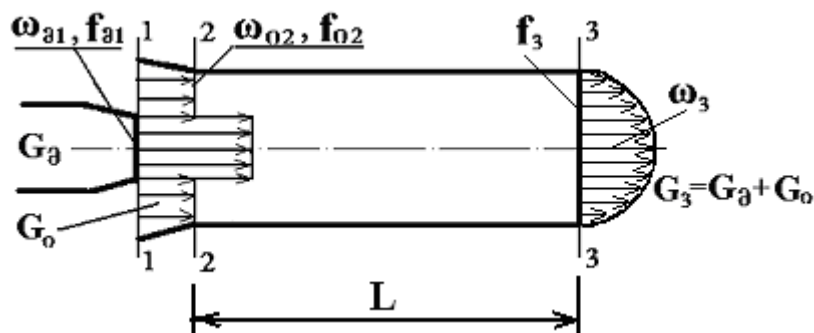
რომლებიც განისაზღვრებიან ტოლობებით:

$$u_{ა.ფ.} = \frac{G_{ა.ფ.}}{G_ა}; \quad u_{თ.ფ.} = \frac{G_{თ.ფ.}}{G_ა},$$

სადაც $G_{ა.ფ.}$ - მყარი ფაზის ხარჯია, კგ/წმ; $G_{თ.ფ.}$ - თხევადი ფაზის ხარჯია, კგ/წმ; $G_{ა.}$ - საქშენში გამავალი მუშა სითხის ხარჯია, კგ/წმ.

მიღებული ანალიზური დამოკიდებულებები საშუალებას გვაძლევს ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად განისაზღვროს ექსტრაქტორის ძირითადი კონსტრუქციული და ჰიდროდინამიკური პარამეტრები.

ექსტრაქციების ინჟექციური ეფექტი განისაზღვრება თხევადი ფაზის მოძრაობის თავისებურებებით. სითხის მუშა ნაკადი საქშენიდან შედის აპარატის მიმდებ კამერაში მაღალი სიჩქარით და წარიტაცებს უფრო დაბალი წნევის ინჟექციურ არეს. შემრევი მილის შესასვლელში მუშა ნაკადის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება ინჟექტირებული ნაკადის სიჩქარეს (ნახ.21) ამასთან მუშა ნაკადის კინეტიკური ენერგია ნაწილობრივ გადაეცემა ინჟექტირებულ ნაკადს. შემრევი მილში გადაადგილების დროს ხდება ნაკადების სიჩქარეთა გათანაბრება და შერეული ნაკადის კინეტიკური ენერგიის უკუ გარდაქმნა პოტენციურ ენერგიად. ამრიგად აპარატში ადგილი აქვს ნაკადებში წნევათა და სიჩქარეთა სწრაფად და ხშირად ცვლილებას, რაც აჩქარებს მყარი ფაზიდან მიზნობრივი კომპონენტების გადასვლას თხევად ფაზაში და მნიშვნელოვნად ზრდის კონვექციური დიფუზიის ინტენსივობას.



ნახ.21. საექსტრაქციო აპარატში ნაკადების სიჩქარეთა განაწილება

საქშენიდან მუშა ნაკადის გამოსვლის სიჩქარეს განსაზღვრავს მუშა სითხის ხარჯი (ტუმბოს მწარმოებლობა) და საქშენის გამოსასვლელი ხვრელის ფართი

$$\omega_{a1} = \frac{G_a}{\rho_a f_{a1}} \text{ მ/წმ,} \quad (14)$$

სადაც $\omega_{\text{მ1}}$ - მუშა ნაკადის სიჩქარეა საქშენის ბოლოზე ანუ 1-1 კვეთში, მ/წმ;

$G_{\text{მ}}$ - საქშენში გამავალი მუშა სითხის ხარჯია, კგ/წმ;

$\rho_{\text{მ}}$ - თხევადი ფაზის სიმკვრივეა, კგ/მ³;

$f_{\text{მ1}}$ - საქშენის გამოსასვლელი ხვრელის ფართია, მ².

ინჟექტირებული ნაკადის სიჩქარე 2-2 კვეთში ტოლია

$$\omega_{\text{ო2}} = \frac{G_{\text{მ}} u}{\rho_{\text{ო}} f_{\text{ო2}}} \quad \text{მ/წმ}, \quad (15)$$

სადაც u - ინჟექციის კოეფიციენტი;

$\rho_{\text{ო}}$ - ინჟექტირებული ნაკადის სიმკვრივეა, კგ/მ³;

$f_{\text{ო2}}$ - ინჟექციური ნაკადის ფართია 2-2 კვეთში, რომელიც ტოლია

$$f_{\text{ო2}} = f_3 - f_{\text{მ1}},$$

სადაც $f_3 = f_{\text{მ3}}$ ცილინდრული შემრევი მილის კვეთის ფართია, მ².

შემრევი მილის ბოლოში გათანაბრებული სიჩქარე ტოლი იქნება

$$\omega_3 = \left(\frac{G_{\text{მ}}}{\rho_{\text{მ}}} + \frac{G_{\text{ო}}}{\rho_{\text{ო}}} \right) / f_3 \quad \text{მ/წმ}, \quad (16)$$

სადაც $G_{\text{ო}}$ - ინჟექტირებული სითხის ხარჯია, კგ/წმ, რომელიც ტოლია

$$G_{\text{ო}} = G_{\text{მ}} u$$

(14), (15) და (16) ტოლობები განსაზღვრავენ სიჩქარეთა ეპიურებს ნახ.21 -ზე.

ნაკადის საშუალო სიჩქარედ 2-2 კვეთში შეიძლება მივიღოთ

$$\bar{\omega}_{2-2} = (\omega_{\text{მ1}} + \omega_{\text{ო2}}) / 2 \quad \text{მ/წმ}$$

ნაკადის კინეტიკური ენერგიის ნაწილი, რომელიც გადადის პოტენციალურ ენერგიაში ტოლი იქნება

$$\Delta E_{\text{კ}} = \sum GL(\bar{\omega}_{2-2} - \omega_3) \quad \text{ნ.მ.}$$

სადაც $\sum G = G_{\text{მ}} + G_{\text{ო}}$ მუშა და ინჟექტირებული სითხეების ჯამური

ნაკადია, კგ/წმ; L - შემრევი მილის სიგრძეა, მ.

2.3. ექსპტორული ექსტრაქციის ენერგეტიკული ეფექტის შეფასება

როგორც ლიტერატურის მიმოხილვაში იყო აღნიშნული, მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით ტექნიკაში მიმართავენ მყარი და თხევადი ფაზების ნარევეზე გარე ზემოქმედებას, მათ შორის ჰიდრო-დინამიკურ და ელექტრო-მაგნიტურ პულსაციას, ულტრა-ბგერით და მრავალი სხვა სახის მექანიკურ ზემოქმედებას, რის შედეგადაც ჩქარდება მყარი ფაზიდან მიზნობრივი პროდუქტის გადასვლა ექსტრაგენტში. მეთოდის შერჩევის დროს მნიშვნელოვანია კონსტრუქციის სიმარტივე, ადვილი მომსახურება და მაღალი ტექნოლოგიური ეფექტი.

პროცესის ინტენსიფიკაციის შესაფასებლად შეიძლება ვისარგებლოთ მასის ერთეულ მოცულობაში გადაცემული ენერჯის სიდიდით. განსახილველ შემთხვევაში მყარი და თხევადი ფაზების ნარევეს გადაეცემა როგორც თბური, ასევე მექანიკური ენერჯია.

თბური ენერჯის გადაცემა ხდება მასის გაცხელების მიზნით t_1 ტემპერატურიდან t_2 ტემპერატურამდე და გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$Q_{\text{თბ.}} = Gc(t_2 - t_1) \text{ ჯ,} \quad (17)$$

სადაც G გასაცხელებელი ნივთიერების მასაა, კგ;

c - გასაცხელებელი ნივთიერების თბოტევადობაა, ჯ/კგ. $^{\circ}C$;

ჩვენს მიერ დამუშავებულ ექსპტორულ ექსტრაქტორში (ნახ.17) გარდა მასის ცირკულაციისა, მყარი და თხევადი ფაზების ნარევეზე გარე ზემოქმედება ხორციელდება ექსპტორის შემწოვ და შემრევ მილებში ნაკადის ფენების ფარდობითი მოძრაობის შედეგად წარმოქმნილი მხეები ძაბვებით, სიჩქარეებისა და წნევების მრავალჯერადი მყისიერი ცვლილებებით.

ექსპტორის კომუნიკაციებში ნარევის ნაკადზე გადაცემული სრული მექანიკური ენერჯია შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$E_{\text{ექსტ.}} = E_c + E_r + E_v + E_p + E_R \text{ ჯ,} \quad (18)$$

სადაც E_c ნარევი მასის ცირკულაციით გადაცემული ენერჯია, ჯ;

E_τ - შემწოვი მილის ნაკადში მხები ძაბვების არსებობით
გადაცემული ენერჯიაა, ჯ;

E_v - შემრევ მილში ნაკადების სიჩქარეთა სხვაობით
წარმოქმნილი ენერჯიაა, ჯ;

E_p - შემრევ მილში ნაკადების წნევათა სხვაობით
წარმოქმნილი ენერჯიაა, ჯ;

E_R - ნაკადის მიერ ექსტრაქტორის კედლიდან რეაქციის ძალით
მიღებული ენერჯიაა, ჯ.

მყარი და თხევადი ფაზების ცირკულაციით გადაცემული ენერჯია
გამოითვლება

$$E_c = Q \cdot \mu \quad \text{ჯ}, \quad (19)$$

სადაც Q ცირკულაციის მოცულობითი ხარჯია, მ³/წმ;

μ - ნარევის დინამიკური სიბლანტეა, პა.წმ.

ქსტრაქტორის შემწოვ მილში 3 (ნახ.17) ნაკადის მოძრაობა
გავანალიზოთ ნახ.22-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით.
წონასწორობის პირობით, ძალების ჯამი, რომლებიც მოქმედებენ dx
სიგრძის ნაკადის ელემენტზე ლამინარული დინების დროს ტოლია
ნულის

$$\pi r^2 (p + dp) - \pi r^2 p - 2\pi r \cdot dx \cdot \tau = 0, \quad (20)$$

სადაც r - ელემენტარული ნაკადის რადიუსია, მ;

p და $p + dp$ - ელემენტარული ნაკადის ტორსებზე მოქმედი
წნევებია, პა;

τ - ნაკადის ფენების ფარდობითი მოძრაობის მხები ძაბვაა, პა.

(20)-დან გვაქვს

$$\tau = r dp / 2 dx, \quad \text{პა}. \quad (21)$$

როდესაც $r = R$ მილის კედელზე მხები ძაბვა ტოლია

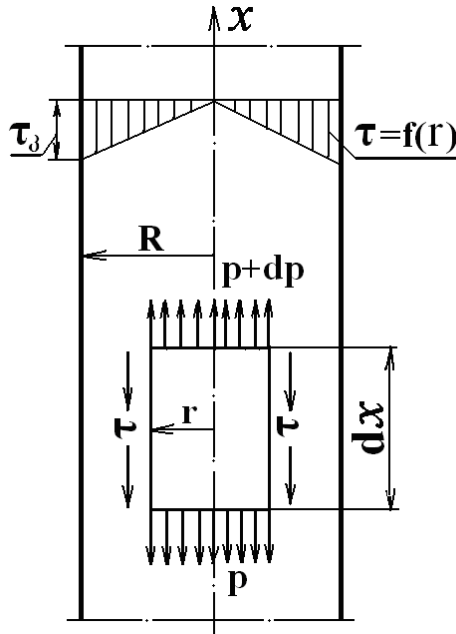
$$\tau_j = R dp / 2 dx, \quad \text{პა} \quad (22)$$

სადაც R - შემწოვი მილის შიგა რადიუსია, მ.

(21) და (22)-დან ვღებულობთ

$$\tau = \tau_j r / R, \quad \text{პა} \quad (23)$$

(23) განტოლება გვიჩვენებს ნაკადში მსები ძაბვების τ საზოგადოებრივ დამოკიდებულებას მიმდინარე რადიუსთან r , რაც ნახ.22-ზე გამოსახულია $\tau = f(r)$ ეპიურის სახით. აქედან გამომდინარე მსები ძაბვების საშუალო მნიშვნელობა ნაკადში ტოლი იქნება $\tau_{\text{საშ}} = \tau_j / 2$ პა.



ნახ.22. შემწოვ მილში ნაკადის მოძრაობის საანგარიშო სქემა

ძვრის ძაბვა მილის კედელზე განისაზღვრება ცნობილი დამოკიდებულებით

$$\tau_j = K_{\varphi} \frac{L_{\text{მ}}}{D} \gamma \frac{\omega_{\text{საშ}}^2}{2g} \quad \text{პა,}$$

სადაც K_{φ} - ნაკადის მოძრაობის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

$L_{\text{მ}}$ - შემრევი მილის სიგრძე, მ;

D - მილის დიამეტრი, მ;

γ - ნარევის ხვედრითი წონაა, ნ/მ³;

$\omega_{\text{საშ}}$ - ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, მ/წმ.

ძვრის ძაბვების არსებობით სითხის ნაკადზე გადაცემული ენერგია იქნება

$$E_{\tau} = \tau_{\text{საშ}} W = \frac{\tau_j}{2} W \quad \text{ჯ,} \quad (24)$$

სადაც W - ნაკადის ანუ შემწოვი მილის მოცულობაა, მ³.

როგორც შემრევ მილში ნაკადის სიჩქარეთა განაწილების ეპიურებიდან (ნახ.21) ჩანს მილის შესასვლელ კვეთში (1-1) მუშა ნაკადის სიჩქარე $\omega_{\text{მ}}$ აღემატება ინჟექტირებული ნაკადის სიჩქარეს $\omega_{\text{ო2}}$, ხოლო მილის ბოლოში (3-3) ხდება სიჩქარეთა გათანაბრება ($\omega_3 = \omega_6$, სადაც ω_6 - ნარევი ნაკადის სიჩქარეა). სიჩქარეთა სხვაობას მილის სიგრძესთან $L_{\text{ჰ}}$ აქვს ხაზოვანი დამოკიდებულება, ამიტომ აღნიშნული ფაქტორის გამო ნაკადზე გადაცემული ენერგია გამოისახება ფრმულით

$$E_v = \frac{L_{\text{ჰ}}}{\omega_{\text{ჰ}} - \omega_{\text{ო}}} (\omega_{\text{ჰ}}^2 G_{\text{ჰ}} - \omega_{\text{ო}}^2 G_{\text{ო}}) \text{ ჯ} \quad (25)$$

სადაც $\omega_{\text{ჰ}}$ და $\omega_{\text{ო}}$ - შესაბამისად მუშა და ინჟექტირებული ნაკადების სიჩქარეებია, მ/წმ;

$G_{\text{ჰ}}$ და $G_{\text{ო}}$ - შესაბამისად მუშა და ინჟექტირებული ნაკადების ხარჯებია, კგ/წმ.

შემრევი მილის შემავალ და გამომავალ კვეთებში (ნახ.21) ნაკადის წნევათა სხვაობის გამო გადაცემული ენერგია ტოლი იქნება

$$E_p = (p_3 - p_1)W \text{ ჯ} \quad (26)$$

შემრევი მილიდან გამომავალი ნაკადის მიერ ექსტრაქტორის კედლიდან რეაქციის ძალით მიღებული ენერგია განისაზღვრება ფორმულით

$$E_R = G_6 \omega_6^2 \sum t_{\text{ც}} / 2 \text{ ჯ}, \quad (27)$$

სადაც $G_6 = G_{\text{ჰ}} + G_{\text{ო}}$ - ნარევის ნაკადის ხარჯია, კგ/წმ;

$\sum t_{\text{ც}}$ - ექსტრაქციის პროცესში ნარევის ცირკულაციური ციკლების ჯამური დროა, წმ.

(17), (18), (19), (24), (25), (26) და (27) განტოლებებით მივიღებთ საექსტრაქციო ნარევზე გადაცემულ ჯამურ ენერგიას

$$\sum E = Q_{\text{თბ.}} + E_{\text{მექ}} = Q_{\text{თბ.}} + E_c + E_r + E_v + E_p + E_R \text{ ჯ}.$$

2.4. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის

ალბათური შეფასება

2.4.1. დიფუზიური პროცესის ანალიზი

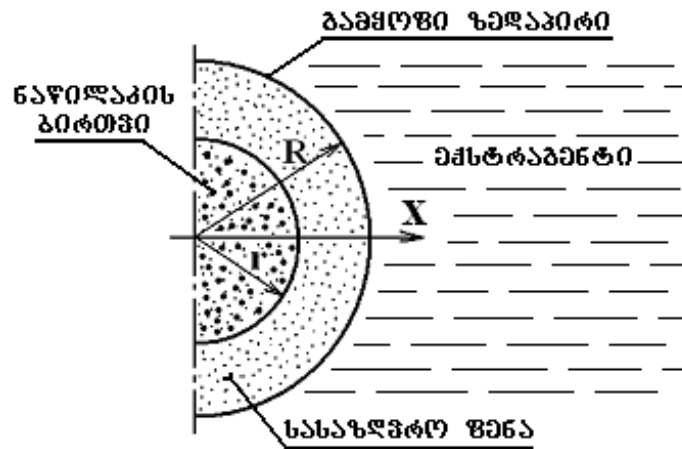
მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის დროს მყარი სხეულიდან ექსტრაგენტში მიზნობრივი პროდუქტის გადასვლის კანონზომიერების დადგენას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება პროცესების ინტენსიფიკაციის განსაზღვრის თვალსაზრისით.

სხვადასხვა პროცესებში მიმდინარე შემთხვევითი მოვლენების კანონზომიერებების დასადგენად ხშირად მიმართავენ ალბათობის თეორიის მეთოდებს [42,43]. ასეთი მიდგომა კარგად არის ცნობილი კვების მრეწველობის მრავალი დარგის პროცესების კვლევის სფეროში. დადასტურებულია თეორიული კვლევების მაღალი საიმედოება და მიღებული შედეგების პრაქტიკისათვის საკმაო სიზუსტე. ამ მხრივ აღსანიშნავია ე.ნეპომნიაშის, ლ.კოტლიარის, ლ.ზაპოროჟეცის და სხვათა შრომები, რომლების მიერ ფხვიერი მასალების მექანიკაში მიღებული თეორიული გამოკვლევების დებულებები საფუძვლად დაედო ექსტრაქციის პროცესის ალბათურ შეფასებას.

ექსტრაქციის დიფუზიურ პროცესში ადგილი აქვს ნივთიერების ნაწილაკების სტოქასტიკურ მოძრაობას, რომლის კანონზომიერების დადგენა შესაძლებელია ალბათობის თეორიის გამოყენებით.

ლიტერატურაში [22] გაანალიზებულია “მყარი სხეული – სითხე” დიფუზიური პროცესის ფიზიკური მოდელი, რომლის თანახმად მყარი ნივთიერების სფერული ფორმის ნაწილაკი გაყოფილია ზონებად. r -ით შემოსაზღვრული მოცულობა შეიცავს მიზნობრივ კომპონენტს მყარ მდგომარეობაში და მის ნაჯერ ხსნარს ფორებში (ნახ.23). მეორე მოცულობა, რომელიც შემოსაზღვრულია $R - r$ არეთი, შეიცავს მიზნობრივ კომპონენტს ხსნად მდგომარეობაში. ამ არეს ეწოდება სასაზღვრო ფენა, ხოლო R -ით შემოსაზღვრულ ზედაპირს – გამყოფი ზედაპირი (R ნაწილაკის რადიუსია). სასაზღვრო ფენის გავლით ხდება ნივთიერების გამოტანა ნაწილაკის ცენტრალური ზონიდან, რაც ხორციელდება მოლეკულური დიფუზიით. ამ ზონაში დიფუზიური ნაწილაკები გამყოფი ზედაპირისაკენ მოძრაობენ სტოქასტიკურად. მათი

გადასვლა ექსტრაგენტში მოხდება გარანტირებულად, როდესაც ისინი აღმოჩნდებიან გამყოფ ზედაპირზე.



ნახ.23. მყარ სფერულ ნაწილაკში დიფუზიური პროცესის ფიზიკური მოდელი

დიფუზიური ნაწილაკის გადაადგილება სასაზღვრო ფენაში გამყოფი ზედაპირისაკენ განიხილება როგორც შემთხვევითი პროცესი და მისი ალბათობა t დროში $x_0 = R - r$ ფენის სისქეში განისაზღვრება

$$F(x_0, t) = \int_0^x \omega(x_0, x, t) dx = \int_0^x \int_0^t \frac{\partial \omega}{\partial \tau} d\tau dx = \int_0^t \int_0^x \frac{\partial \omega}{\partial \tau} dx d\tau \quad (28)$$

სადაც $\omega = \omega(x_0; x; t)$ აღნიშნულია განსახილველ შემთხვევით პროცესში გამყოფი ზედაპირიდან ათვლილი $\xi(t)$ კოორდინატის ცვლილების განაწილების სიმკვრივე. ωdx განსაზღვრავს $\xi(t)$ სიდიდის $(x; x+dx)$ მცირე ინტერვალში მოხვედრის ალბათობას, თუ როდესაც $x=0$, $\xi=x_0$.

$\omega(x_0; x; t)$ ფუნქცია აკმაყოფილებს კოლმოგოროვის განტოლებას

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{b}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + c \frac{\partial \omega}{\partial x} \quad (29)$$

სადაც b და c სტოქასტიკური კოეფიციენტებია, რომლებიც იდენტურია შესაბამისად დიფუზიის და მასაგაცემის კოეფიციენტების განზომილებებით: $მ^2/წმ$ და $მ/წმ$ და განისაზღვრებიან ექსპერიმენტულად.

(29) განტოლების გათვალისწინებით (28) შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$F(x_0; \tau) = \int_0^t \left(\frac{b}{2} \frac{\partial \omega}{\partial x} + c\omega \right) d\tau \quad (30)$$

სასაზღვრო და საწყისი პირობებისთვის გვაქვს

1. $\omega = 0$, როცა $x = 0$
2. $\omega = \delta(x - x_0)$, როდესაც $t = 0$,

სადაც δ - დელტა ფუნქციაა.

პირველ პირობას შეესაბამება დიფუზიური ნაწილაკის გამყოფ ზედაპირზე მიღწევა, რითაც ნაწილაკის გამოყოფის პროცესი დასრულებულია; მეორე პირობის თანახმად გამოირიცხება ნაწილაკის მყისიერი გადაადგილება საბოლოო მანძილზე.

დასმული ამოცანის სასაზღვრო და საწყისი პირობების გათვალისწინებით, (29) განტოლების ამოხსნის გამოყენებით, დიფუზიური ნაწილაკის გამყოფ ზედაპირზე გადასვლის ალბათობა (30) შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$F(x_0; t) = \int_0^t \frac{x_0}{\tau \sqrt{2\pi b \tau}} \exp\left[-\frac{(x_0 - c\tau)^2}{2b\tau}\right] d\tau.$$

პროცესის მიმდინარეობის ძირითადი მაჩვენებელია სასაზღვრო ფენაში გამავალი მიზნობრივი ნივთიერების ნაწილაკების საერთო მასიდან გამოყოფის სისრულის ხარისხი ε .

თუ აღვნიშნავთ გამყოფი ფენის სისქეს $x_0 = h$ და $\frac{ch}{b} = \bar{h}$ და

შემოვიღებთ ახალ ცვლადს $y = \frac{h}{\sqrt{2b\tau}}$, მაშინ მივიღებთ

$$\varepsilon = 1 - \Phi_1(y; \bar{h}),$$

სადაც

$$\Phi_1(y; \bar{h}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp\left[-\left(x - \frac{\bar{h}}{x}\right)^2\right] dx$$

ამ უკანასკნელ ფუნქციას ეწოდება ალბათობის განზოგადებული ინტეგრალი და იგი ტაბულირებულია.

დამოკიდებულებას $\varepsilon = \varepsilon(y; \bar{h})$ შეიძლება ვუწოდოთ დიფუზიური პროცესის უნივერსალური მახასიათებელი, ხოლო y და \bar{h} წარმოადგენენ პროცესის პარამეტრებს.

ხშირ შემთხვევაში, როდესაც ნივთიერების ნაწილაკების და ექსტრაგენტის სიმკვრივეები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან, მაშინ გრაფიტაციული ველის გავლენა ნაწილაკების მოძრაობაზე შეიძლება უგულვებელყოთ და მივიღოთ, რომ $\bar{h} = 0$. ასეთ შემთხვევაში ალბათობის განზოგადებული ინტეგრალი გარდაიქმნება ალბათობის ცნობილ ინტეგრალში

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-y^2) dy$$

ნივთიერების გამოყოფისთვის ვღებულობთ გამოსახულებას

$$\varepsilon = 1 - \Phi(y),$$

რომელიც დამოკიდებულია პროცესის მხოლოდ ერთ პარამეტრზე

$$y = \frac{h}{\sqrt{2bt}}$$

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ფუნქცია $\varepsilon = \varepsilon(y)$ იქნება ერთი და იგივე სხვადასხვა პროცესებისათვის, რომლებიც ხასიათდებიან მხოლოდ ერთი b კოეფიციენტით.

ამრიგად b და c დიფუზიის და მასაგაცემის კოეფიციენტების ცნობილი მეთოდებით ექსპერიმენტულად განსაზღვრის შემდეგ, შესაძლებელია მიღებული მათემატიკური გამოსახულებებით გავიანგარიშოთ მიზნობრივი კომპონენტის ექსტრაგენტში გამოყოფის სისრულე.

2.4.2. კონვექციური დიფუზიის პროცესის ანალიზი

ექსტრაქციის პროცესზე მომქმედი ფაქტორების შესაფასებლად გავაანალიზოთ ექსტრაქტორში მიმდინარე პროცესი. აღვნიშნოთ P_G -თი მყარი ფაზის ნაწილაკის ექსტრაქტორის ცირკულაციურ ციკლში ანუ აქტიურ მუშა არეში მოხვედრის ალბათობა და P_E -თი ნაწილაკის კონვექციური დიფუზიის ალბათობა იმავე ციკლში. მაშინ ამ ორი მოვლენის ერთობლივი დადგომის ალბათობა იქნება $P = P_G + P_E$.

მყარი ფაზის ნაწილაკის ექსტრაქტორის აქტიურ მუშა არეში ანუ შემრეგ მილში მოხვედრის ალბათობას განსაზღვრავს ექსტრაქტორში

ჩატვირთული მყარი და თხევადი ფაზების თანაფარდობის შეფარდება იმავე ფაზების ფარდობასთან შემრევ მილში

$$P_G = \frac{G_{მფ.}^0 / G_{თფ.}^0}{G_{მფ.}^{შმ} / G_{თფ.}^{შმ}}$$

ნაწილაკის კონვექციური დიფუზიის ალბათობას განსაზღვრავს მყარ ფაზაში მიზნობრივი პროდუქტის შემცველობების ფარდობა შემრევი მილის თავში და ბოლოში ანუ 1-1 და 3-3 კვეთებში (ნახ.21)

$$P = \frac{C_{მფ.}^{1-1}}{C_{მფ.}^{3-3}}$$

თუ P -ს მნიშვნელობას მივიღებთ მუდმივ სიდიდედ, მაშინ მიზნობრივი პროდუქტის ფარდობითი შემცველობა თხევად ფაზაში, m რაოდენობის ციკლში ტოლი იქნება

$$C_m = C_{მფ.}^0 (1 - P)^m$$

სადაც $C_{მფ.}^0$ - მყარ ფაზაში მიზნობრივი პროდუქტის საწყისი

შემცველობაა;

m - მუშა ციკლების რაოდენობა, რომელიც განსაზღვრავს ნაწილაკის გავლის ჯერადობას შემრევ მილში.

ექსტრაქტორის აქტიურ მუშა არეში მასალის დამუშავების τ დროისა და 1 წთ დროის ინტერვალში ციკლების k_G რაოდენობისათვის გვექნება $m = k_G \tau$.

შესაბამისად

$$C_m = C_{მფ.}^0 (1 - P)^{k_G \tau}$$

რადგან $(1 - P) < 1$ და $\ln(1 - P) < 0$, ამიტომ

$$\ln C_m = \ln C_{მფ.}^0 + k_G \ln(1 - P) \tau = \ln C_{მფ.}^0 - k \tau, \quad (31)$$

სადაც $k = k_G \ln(1 - P)$ მყარი ფაზის კონცენტრაციის კლების მუდმივაა, რაც ახასიათებს დიფუზიურ პროცესს.

(31)-დან გვაქვს

$$C_m = C_{მფ.}^0 e^{-k\tau} \quad (32)$$

ექსტრაქციის მუშა არეში მიმდინარე პროცესის შედეგად, რასაც განსაზღვრავს ინექციური ზემოქმედება მასალაზე, ნაწილაკის საშუალო მასა შეიძლება გამოვსახოთ

$$\bar{M}_6 = z\tau \quad \text{ან} \quad \frac{d\bar{M}_6}{d\tau} = -z$$

სადაც z ნაწილაკის საშუალო მასის კლებადობის კოეფიციენტია.

აქედან

$$\frac{d\bar{M}_6}{\bar{M}_6} = -\frac{z}{M_6} d\tau = -n_6 d\tau, \quad (33)$$

სადაც $(-n_6)$ ნაწილაკის საშუალო მასის კლებადობის მოდულია, რომლის მნიშვნელობა განპირობებულია მასალის თვისებებით და მუშა არეში მიმდინარე პროცესით.

(33) პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრებით მივიღებთ

$$\int_{\bar{M}_m}^{\bar{M}_0} \frac{d\bar{M}_6}{\bar{M}_6} = -n_6 \int_0^\tau d\tau, \quad \text{ან}$$

$$\frac{\bar{M}_m}{\bar{M}_0} = e^{-n_6 \tau}. \quad (34)$$

$\tau = 0$ და M_0 შემთხვევისათვის, თუ აღვნიშნავთ მიზნობრივი პროდუქტის თხევად ფაზაში გადასვლას u_0 , ხოლო $\tau > 0$ და M_m შემთხვევისათვის u_τ -თი, m ციკლისათვის შეიძლება ჩავწეროთ

$$\frac{u_\tau}{u_0} = A \frac{M_0}{M_m}, \quad (35)$$

სადაც A კოეფიციენტია, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა განსაზღვრავს პროცესის ტექნოლოგიურ ეფექტურობას.

თუ გავითვალისწინებთ (34)-ს, მაშინ (35) შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$\frac{u_\tau}{u_0} = A e^{-n_6 \tau}, \quad \text{საიდანაც}$$

$$u_\tau = u_0 A e^{-n_6 \tau} \quad (36)$$

(36) განტოლებაში τ არგუმენტის ცვლილება ზრდადი არითმეტიკული პროგრესიით იწვევს u_τ ფუნქციის ცვლილებას ზრდადი გეომეტრიული პროგრესიით.

თუ გავადიფერენციალებთ (36) განტოლებას τ -თი მივიღებთ

$$\begin{aligned} \frac{du_\tau}{d\tau} Au_0 n_6 e^{-n_6 \tau} &= n_6 u_\tau \\ du_\tau &= n_6 u_\tau d\tau \end{aligned} \quad (37)$$

(37)-დან გამომდინარეობს, რომ $d\tau$ დროის უსასრულოდ მცირე ზრდის პირობებში, მიზნობრივი პროდუქტის გამოყოფის უსასრულოდ მცირე ზრდა du_τ , პირდაპირ დამოკიდებულებაშია მიღებულ სიდიდეებთან u_τ და n_6 მოდულთან.

2.5. ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის კვლევა

მცენარეული ნედლეულის, ისევე როგორც მრავალი სხვა ნივთიერების ექსტრაქცია წარმოადგენს მასათა ცვლის კარგად ცნობილ პროცესს და ემყარება ამ პროცესში მიმდინარე ძირითად კანონზომიერებებს.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის კვლევისადმი მიძღვნილია მრავალი მეცნიერული ნაშრომი. აღნიშნულ პროცესში მასათა ცვლის და მასაგადატანის კანონზომიერებებს საფუძვლად უდევს ა.ფიკის ფუნდამენტური თეორიული გამოკვლევები. ექსტრაქციის პროცესში მასათა ცვლის თეორიის განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანეს: ი.კრიხევსკიმ, პ.სილინმა, ა.ლიკოვმა, გ.ჰარტლიმ, ჯ.კრანკმა, პ.რომანკოვმა, ა.კასატკინმა, ბ.დერიაგინმა, მ.ალტშულერმა, გ.აკსელრუდმა, ვ.ლისიანსკიმ და სხვა მრავალმა მეცნიერმა.

მიუხედავად არსებული მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემებისა, ჯერ კიდევ სათანადოდ არ არის გამოკვლეული უაღრესად მრავალფეროვანი პროცესის კინეტიკური კანონზომიერებანი და არასაკმარისად არის დამუშავებული სამრეწველო აპარატების გაანგარიშების მეთოდური საფუძვლები.

ყველა არსებული თეორიის ძირითადი არსი მდგომარეობს მიზნობრივი პროდუქტის ექსტრაგენტში გადასვლის სიჩქარის ანუ პროცესის დროის ხანგრძლივობის და მწარმოებლობის განსაზღვრაში.

მცენარეული ნედლეულის მორფოლოგიური სტრუქტურის თავისებურების და ექსტრაქციის პროცესში მიმდინარე რთული ბიოქიმიური გარდაქმნების გამო უაღრესად რთულია ამ პროცესის ზუსტი თეორიული ანალიზი და მათემატიკური მოდელირება, განსაკუთრებით როდესაც ერთდროულად მიმდინარეობს მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიური პროცესები. ამდენადვე რთულია პროცესის აღმწერი მათემატიკური აპარატის პრაქტიკული რეალიზება. საკითხი რამდენადმე მარტივდება თეორიული კვლევის პროცესში ემპირიული მონაცემების გამოყენებით, რომლებიც ამაღლებენ მიღებული შედეგების ადეკვატურობას რეალურ პროცესებთან.

ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის თეორიათა ანალიზი, რომელთა მცირე ნაწილი ლიტერატურის მიმოხილვაშიც არის წარმოდგენილი და წინა პარაგრაფში მიღებული კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ მიზნობრივი პროდუქტის ექსტრაგენტში გადასვლის პროცესს აქვს ექსპონენციალური ხასიათი, ანუ საწყის მასალაში მიზნობრივი პროდუქტის შემცველობა დროში მცირდება, ხოლო ექსტრაგენტში კი იზრდება და პროცესი მთავრდება ფაზათა შორის კონცენტრაციათა თანაფარდობის დროს [22].

ჩვენს მიერ განსახილველი პროცესი სრულიად ემყარება ზემოთაღნიშნულ კანონზომიერებებს და კინეტიკური განტოლება წარმოდგენილი გვაქვს შემდეგი სახით

$$C_{\text{თ.ფ.}} = C_{\text{ა.ფ.}}^0 \frac{G_a}{G} (1 - e^{-K\tau}), \quad (38)$$

სადაც $C_{\text{თ.ფ.}}$ - თხევადი ფაზის მიმდინარე კონცენტრაციაა, გრ/კგ;

$C_{\text{ა.ფ.}}^0$ - მყარ ფაზაში მიზნობრივი პროდუქტის საწყისი შემცველობაა, გრ/კგ;

G_a - ექსტრაქტორში ჩატვირთული ნედლეულის, ანუ მყარი ფაზის რაოდენობაა, კგ;

G - ექსტრაქტორში ჩატვირთული მთლიანი მასის (ნედლეულს +

ექსტრაგენტი) როდენობაა, კგ;

K - პროცესის განმსაზღვრელი კონსტანტაა, 1/სთ;

τ - მიმდინარე დროა, სთ.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ექსტრაგენტი მიზნობრივი პროდუქტის გარკვეული კონცენტრაციით მიეწოდება საწყის ნედლეულს (მაგალითად, მიმდევრობით შეერთებული აპარატების დროს), მაშინ თხევადი ფაზის მიმდინარე კონცენტრაცია განისაზღვრება განტოლებით

$$C_{\text{თ.ფ.}} = C_{\text{თ.ფ.}}^0 + (C_{\text{მ.ფ.}}^0 - C_{\text{თ.ფ.}}^0) \frac{G_{\text{მ.}}}{G} (1 - e^{-k\tau}), \quad (39)$$

სადაც $C_{\text{თ.ფ.}}^0$ - თხევად ფაზაში მიზნობრივი პროდუქტის საწყისი შემცველობაა, გრ/კგ;

პროცესის კვლევის მთავარი სირთულე დაკავშირებულია K კონსტანტას სწორად განსაზღვრასთან, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის ნედლეულის და ექსტრაგენტის ქიმიურ შემადგენლობაზე, ტემპერატურაზე, ნედლეულის დისპერსულობაზე და დიფუზიური პროცესის მიმდინარეობის სხვა თავისებურებებზე. ჩვენს მიერ წარმოდგენილი ექსტრაქტორის ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული თავისებურებებიდან გამომდინარე და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, K კონსტანტას საანგარიშოდ მიღებული იყო შემდეგი ემპირიული გამოსახულება

$$K = (1 - e^{-k_1 C_{\text{მ.}}}) [1 - e^{-k_2 (T_{\text{თ.ფ.}} / T_{\text{ტ.დ.}})}] [1 - e^{-k_3 (\rho_{\text{მ.ფ.}} / \rho_{\text{თ.ფ.}})}] n, \quad (40)$$

სადაც k_1, k_2 და k_3 - ემპირიული კოეფიციენტებია, რომლებიც მოცემული მასალისათვის განსაზღვრავენ შესაბამისად ექსტრაგენტის ქიმიური შემადგენლობის, ტემპერატურის, მყარი მასის დისპერსულობის და თხევადი ფაზის სიბლანტის ფაქტორების გავლენას დიფუზიური პროცესის მიმდინარეობაზე;

$C_{\text{მ.}}$ - ექსტრაგენტის ქიმიური შემადგენლობის განმსაზღვრელი კონცენტრაციაა (მაგალითად, სპირტისა და წყლის ნარევის თანაფარდობა), კგ სპირტი / კგ ნარევი;

$T_{\text{თ.ფ.}}$ - თხევადი ფაზის სამუშაო ტემპერატურაა, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{ტ.ფ.}$ - მოცემული მასალისათვის თხევადი ფაზის

ტექნოლოგიურად დასაშვები მაქსიმალური ტემპერატურაა, $^{\circ}C$;

$\rho_{ა.ფ.}$ - მყარი ფაზის მოცულობითი მასაა, კგ/მ³;

$\rho_{თ.ფ.}$ - თხევადი ფაზის მოცულობითი მასაა, კგ/მ³;

n -ექსტრაქტორში მიმდინარე ექსტრაგენტის ცირკულაციური ციკლების სიხშირეა, 1/სთ.

K კონსტანტას განტოლებაში მყარი ფაზის მოცულობითი მასა $\rho_{ა.ფ.}$ გამოხატავს მასალის დისპერსულობის ხარისხს. ცნობილია, რომ არსებობს კორელაციური კავშირი ფხვიერი მასალის ნაწილაკების ზომებსა და მოცულობითი მასას შორის. მაგალითად, მშრალი ჩაისათვის აღნიშნულ დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{\sqrt{d_{ა.ფ.}}},$$

სადაც γ - მასალის მოცულობითი მასაა, კგ/მ³ ;

γ_0 - მასალის მოცულობითი მასაა 1 მმ ეკვივალენტური დიამეტრის ნაწილაკების შემადგენლობით, კგ/მ³ ;

$d_{ა.ფ.}$ - მასალის ნაწილაკების ეკვივალენტური დიამეტრია, მმ.

ამავე განტოლებაში თხევადი ფაზის მოცულობითი მასა $\rho_{თ.ფ.}$ გამოხატავს ექსტრაგენტის სიბლანტის ხარისხს, რასაც მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს დიფუზიის პროცესში. აქაც კარგად ცნობილია დამოკიდებულება

$$v = \mu / \rho,$$

სადაც v - სითხის კინემატიკური სიბლანტეა, მ²/წმ;

μ - დინამიკური სიბლანტეა, პა.წმ;

ρ - სითხის სიმკვრივეა, კგ/მ³.

აპარატში მიმდინარე ჰიდროდინამიკურ პროცესს და შესაბამისად ექსტრაქციის ინტენსივობას ახასიათებენ ინჟექციის კოეფიციენტი u და ცირკულაციური ციკლების სიხშირე n . მათ შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება

$$n = \frac{G_a(1+u)}{G} \quad 1/\text{სთ},$$

სადაც G_a - ტუმბოს მიერ მიწოდებული მუშა სითხის ხარჯია, კგ/სთ;

G - ექსტრაქტორში ჩატვირთული მასალის მასაა, კგ.

ამრიგად (38) და (40) განტოლებებში შემავალი ყველა ფიზიკური სიდიდე სრულად შეესაბამება ექსტრაქციის პროცესის ფიზიკურ არსს.

მოცემული კონკრეტული პროცესისათვის, კონსტანტების დასადგენად საკმარისია რამოდენიმე მარტივი ცდის ჩატარება, რის შემდეგაც შესაძლებელია პროცესის სრული გაანგარიშება მოქმედი ფაქტორების დიდ დიაპაზონში ვარირებით.

2.6. ექსტრაქციის პროცესის კონსტანტას ექსპერიმენტული კვლევა

ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის K კონსტანტას მნიშვნელობას (40) განტოლებაში განსაზღვრავენ კოეფიციენტები: k_1, k_2 და k_3 , რომლებიც თავის მხრივ განსაზღვრავენ კონკრეტული პროცესის მიმდინარეობაზე ცალკეული პარამეტრის გავლენის ხარისხს. აღნიშნული კოეფიციენტების დადგენის მაზნით ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა ლაბორატორიულ პირობებში. კვლევის ობიექტად შერჩეული იყო მშრალი, დაქუცმაცებული მოცვის ნაყოფი, ნაწილაკების ორი ზომითი ფრაქციით, შესაბამისად 150-300 კგ/მ³ მოცულობითი მასებით, რომლებითაც გამოხატული იყო მყარი ფაზის სათანადო დისპერსულობა - $\rho_{ა.ფ.}$. წინასწარ განისაზღვრა ნედლეულში მიზნობრივი პროდუქტის - ანტოციანების შემცველობა $C_{ა.ფ.}^0$, გრ/კგ. ექსტრაგენტად გამოყენებული იყო ეთილის სპირტის და წყლის ნარევი, რომელსაც ემატებოდა 1% მარილმჟავა. ფაქტორებად განისაზღვრა: ექსტრაგენტის კონცენტრაცია - $C_{ექ.}$ კგ/კგ; თხევადი ფაზის ტემპერატურა - $T_{თ.ფ.}$ °C და მასალის დისპერსულობა - $\rho_{ა.ფ.}$. ცდები ტარდებოდა აღნიშნული ფაქტორების ორი დონისათვის ერთნაირი თანაფარდობით 1/2. ექსტრაგენტის კონცენტრაცია შეადგენდა - 0,2-0,4 კგ სპირტი /კგ წყალზე; თხევადი ფაზის

ტემპერატურა – 35-70⁰C; მყარი ფაზის მოცულობითი მასა –150-300 კგ/მ³. ყოველი ცდა ფასდებოდა თხევად ფაზაში გადასული ანტოციანების რაოდენობით, გრ/კგ. რამდენადაც ცდების მიზანს წარმოადგენდა ფაქტორების გავლენის ხარისხის შესწავლა მიმდინარე პროცესზე, ამდენად ექსტრაქციის დრო განისაზღვრა მინიმალური სიდიდით-6 სთ-ით.

ცდები ტარდებოდა შემდეგი თანმიმდევრობით. სათანადო დისპერსულობით დაქუცმაცებულ მასას, 20 გრ ოდენობით, ესხმებოდა $G_{\text{მ.}} = 180$ გრ 20 და 40%-იანი წყალ-სპირტის ნარევი 35 და 70⁰C ტემპერატურით, რომელიც იზომებოდა მინასითხიანი თერმომეტრით.

განისაზღვრა 95%- იანი ეთანოლის საჭირო რაოდენობა

$$x = G_{\text{მ.}} \frac{a}{b} = 180 \frac{20}{95} = 37,9 \text{ გრ და}$$

$$x = G_{\text{მ.}} \frac{a}{b} = 180 \frac{40}{95} = 75,8 \text{ გრ,}$$

სადაც a ეთანოლის კონცენტრაციაა ექსტრაგენტში;

b - ძლიერი ეთანოლის კონცენტრაციაა.

ტემპერატურის სტაბილურობის მიზნით ნარევი მასა თავსდებოდა თერმოსში. მასის ცირკულაციური ეფექტის იმიტირება ხდებოდა თერმოსის პერიოდული შენჯღღრევით. 6 სთ-ის შემდეგ გამოიყოფოდა თხევადი ფაზა და ქიმიური ანალიზით განისაზღვრებოდა მასში მიზნობრივი პროდუქტის შემცველობა. ექსპერიმენტებში ქიმიური ანალიზი ტარდებოდა პარ.2.7.2- მოყვანილი მეთოდიკით.

ცდების სამჯერადი განმეორების შემდეგ გამოითვლებოდა საძიებელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა.

ცდების გეგმა და შედეგები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილიდან 1 $C_{\text{თ.ფ.}}$ - ის მონაცემებით და (38) ფორმულით განისაზღვრა K კონსტანტას მნიშვნელობა

$$K = \frac{1}{\tau} \ln\left(1 - \frac{C_{\text{თ.ფ.}} \cdot G}{C_{\text{მ.ფ.}}^0 \cdot G_{\text{მ.}}}\right), \quad (41)$$

სადაც $C_{\text{თ.ფ.}}$ - სთვის ცხრ.1-დან აიღება მაქსიმალური მნიშვნელობა.

ექსტრაქციის პროცესის კონსტანტას ექსპერიმენტული კვლევის გეგმა

№	ექსტრაგენტის კონცენტრაცია, $C_{ექ}$, კგ/კგ	თხევადი ფაზის ტემპერატურა, $T_{თ.ფ.}$, °C	მყარი ფაზის მოცულობითი მასა, $\rho_{მ.ფ.}$, კგ/მ ³	$C_{თ.ფ.}$ გრ/კგ
1	0,4	70	300	0,227
2	0,4	35	300	0,170
3	0,2	70	300	0,200
4	0,4	70	150	0,190

ცალკეული ფაქტორის პროცესზე გავლენის შესაფასებლად შედგა განტოლება

$$K = \frac{C_c^{მაქს.}}{C_c^{მიწ.}} \times \frac{C_T^{მაქს.}}{C_T^{მიწ.}} \times \frac{C_\rho^{მაქს.}}{C_\rho^{მიწ.}} \times n \quad (42)$$

(41) განტოლებიდან საწყისი პირობებით და ცხრილის 1 მონაცემებით ვანგარიშობთ K კონსტანტას მნიშვნელობას, (42) - დან ვპოულობთ X და ვსაზღვრავთ კოეფიციენტებს ტოლობებით:

$$k_1 = -\frac{1}{C_{ექ}} \ln\left(1 - \frac{C_c^{მაქს.}}{C_c^{მიწ.}} x\right); \quad k_2 = -\frac{1}{T_{თ.ფ.}/T_{ტ.დ.}} \ln\left(1 - \frac{C_T^{მაქს.}}{C_T^{მიწ.}} x\right);$$

$$k_3 = -\frac{1}{\rho_{მ.ფ.}/\rho_{თ.ფ.}} \ln\left(1 - \frac{C_\rho^{მაქს.}}{C_\rho^{მიწ.}} x\right).$$

უკანასკნელი ტოლობებიდან განისაზღვრა ემპირიული კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები:

$$k_1 = 1,2; \quad k_2 = 0,59; \quad k_3 = 1,7.$$

მოცემული კონკრეტული პროცესისათვის (40) განტოლებამ მიიღო შემდეგი სახე

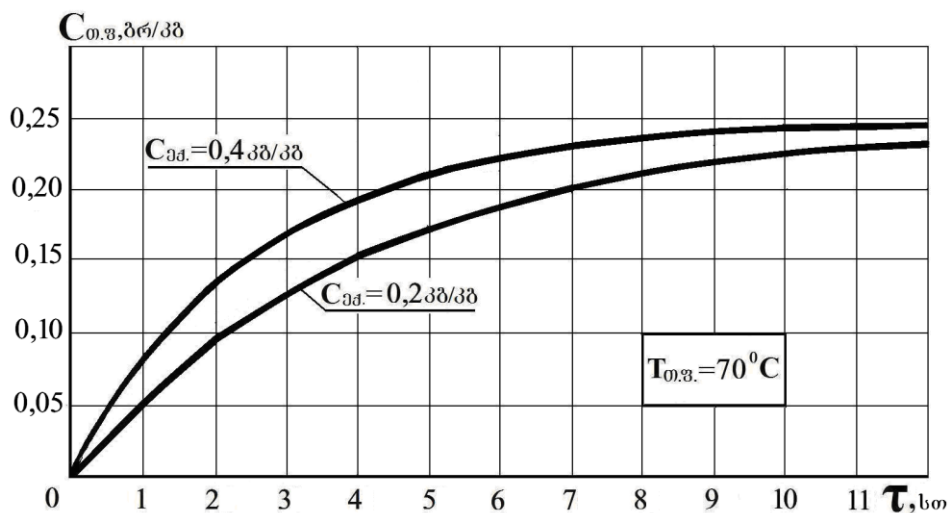
$$K = (1 - e^{-1,2C_{ექ}}) [1 - e^{-0,59(T_{თ.ფ.}/T_{ტ.დ.})}] [1 - e^{-1,7(\rho_{მ.ფ.}/\rho_{თ.ფ.})}] n \quad (43)$$

მიღებული (38) და (40) განტოლებებით მშრალი მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის მაგალითზე ჩატარდა კინეტიკური პროცესის გაანგარიშება შემდეგი მონაცემების მიხედვით:

$C_{აფ.}^0 = 2,5$ გრ/კგ - ეს სიდიდე ახლოა ლიტერატურულ მონაცემებთან [9,44]; $G_{ა.} = 20$ კგ; $G = 200$ კგ; $C_{აფ.} = 0,2$ და $0,4$ კგ/კგ; $T_{თ.ფ.} = 50$ და $70^{\circ}C$; $u = 0,7$; $n = 6,0$ 1/სთ; $T_{ტ.დ.} = 70^{\circ}C$; $\rho_{აფ.} = 300$ კგ/მ³; $\rho_{თ.ფ.} = 1000$ კგ/მ³;

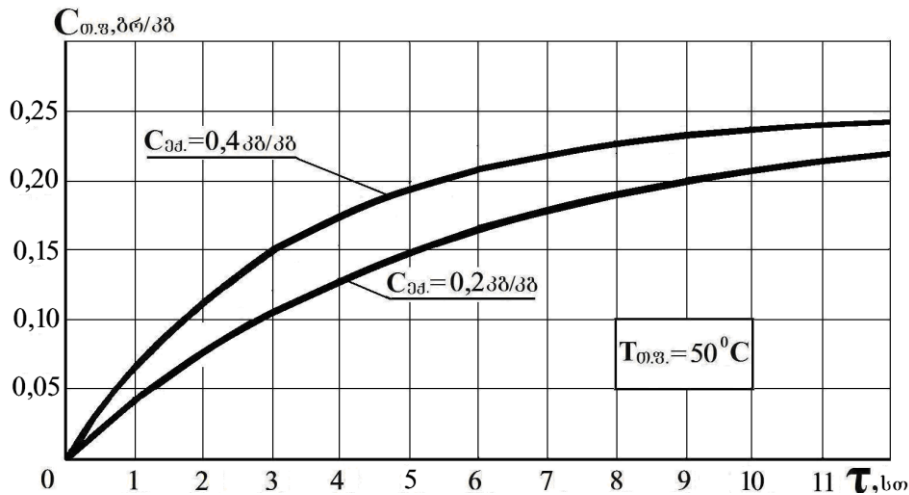
კვლევის შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკების სახით (ნახ. 24 და ნახ. 25).

როგორც ნახ.24-ზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან ჩანს ექსტრაგენტის $70^{\circ}C$ ტემპერატურის და $0,4$ კგ/კგ სპირტის შემცველობის დროს, 10-11 სთ-ის შემდეგ ფაზათა კონცენტრაციებს შორის პრაქტიკულად მყარდება წონასწორული მდგომარეობა, რომელიც შეადგენს $0,25$ გრ/კგ. ეს იმას ნიშნავს, რომ საწყისი მონაცემების მიხედვით მყარ ფაზაში რჩება $5,0$ გრ მიზნობრივი პროდუქტი, რომლის გამოყოფა შესაძლებელია განახლებული ექსტრაგენტით ანუ ციკლის განმეორებით.



ნახ.24. ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკური გრაფიკები ექსტრაგენტის $70^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს

ექსტრაგენტის $50^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს (ნახ.25) ფაზათა კონცენტრაციული წონასწორობა მყარდება დაახლოებით 11-12 სთ-ის შემდეგ.

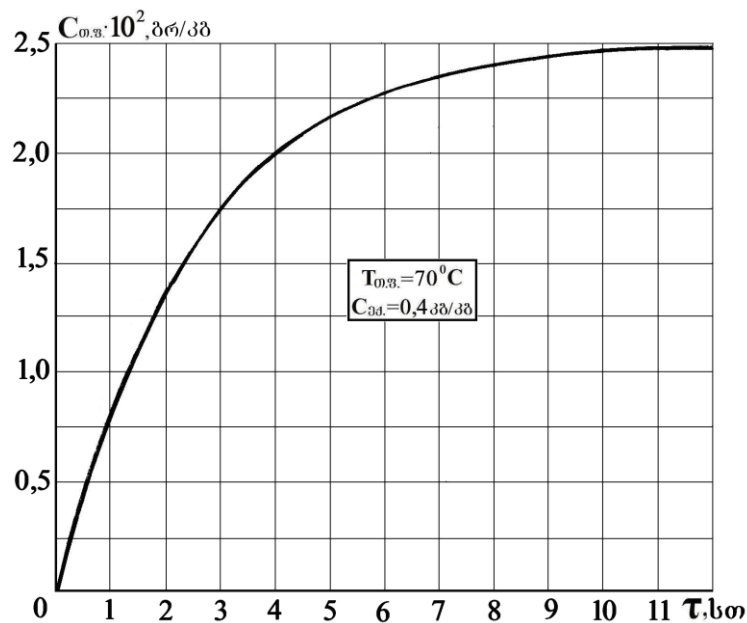


ნახ.25. ექსტრაქციის პროცესის კინეტიკური გრაფიკები ექსტრაგენტის 50°C ტემპერატურის დროს

იგივე რეჟიმების პირობებში (38) და (40) განტოლებებით განისაზღვრება ექსტრაქციის მეორე საფეხურის პროცესის კინეტიკა, მხოლოდ ამჯერად მყარ ფაზაში ნარჩენი მიზნობრივი პროდუქტის 0,25 გრ/კბ შემცველობით. (40) განტოლებით განისაზღვრება K კონსტანტა და (38) განტოლებამ მიიღო შემდეგი სახე

$$C_{\text{თ.გ.}} = (0,25 - 0) \frac{20}{200} (1 - e^{-0,4\tau}) \quad (44)$$

(44) განტოლებით აღწერილ ექსპონენციალურ გრაფიკს აქვს ნახ.26–ზე წარმოდგენილი სახე.



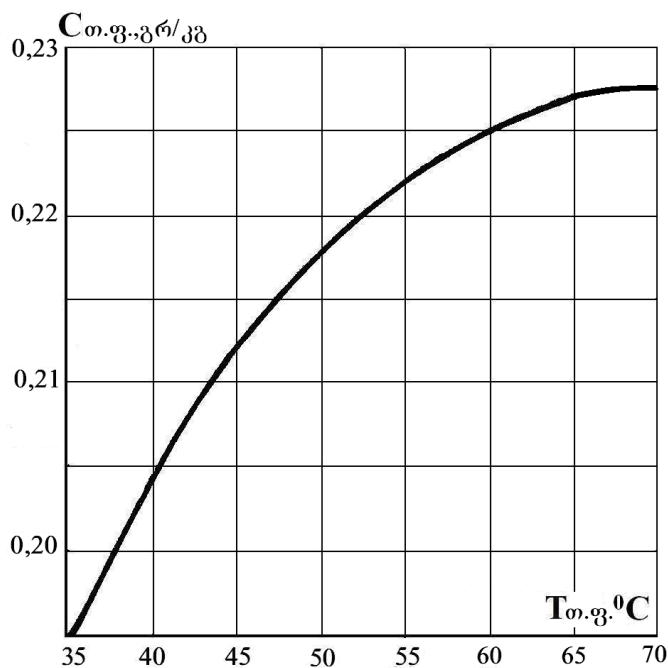
ნახ.26. ექსტრაქციის მეორე საფეხურის კინეტიკური გრაფიკი

როგორც გრაფიკიდან ჩანს ექსტრაჰირების მეორე საფეხურზე ფაზებს შორის წონასწორული კონცენტრაცია შეადგენს 0,025 გრ/კგ, რაც ნიშნავს, რომ მყარ ფაზაში რჩება 0,5 გრ მიზნობრივი პროდუქტი (1,0 % საწყისი შემცველობის), რაც შეესაბამება პროცესის ექსპონენციალურ ხასიათს, ანუ სრული ექსტრაქცია შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე, ექსტრაჰირების საფეხურების რაოდენობა უნდა შეირჩეს ეკონომიკური მიზანშეწონილობიდან გამომდინარე.

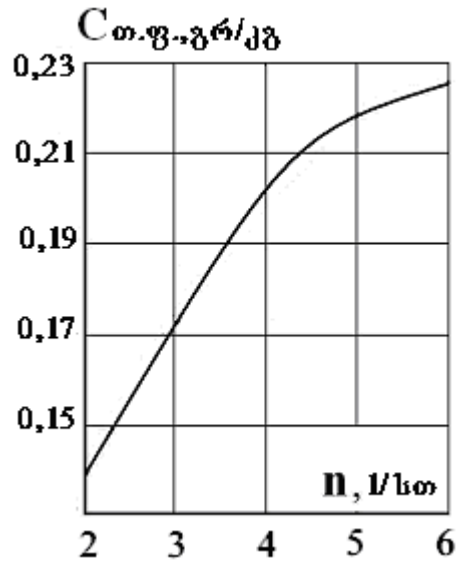
განხილულ თეორიულ მაგალითში ორსაფეხურიანი ექსტრაჰირებით გამოიყოფილმა მიზნობრივმა პროდუქტმა შეადგინა 99%.

ნახ.27-ნახ.30-ზე წარმოდგენილია თხევად ფაზაში მიზნობრივი პროდუქტის შემცველობის დამოკიდებულება ექსტრაქციის პროცესზე მოქმედ ცალკეულ ფაქტორებზე, რომელიც განისაზღვრა (38), (43) განტოლებებით ფაქტორების შემდეგი მნიშვნელობებისათვის:

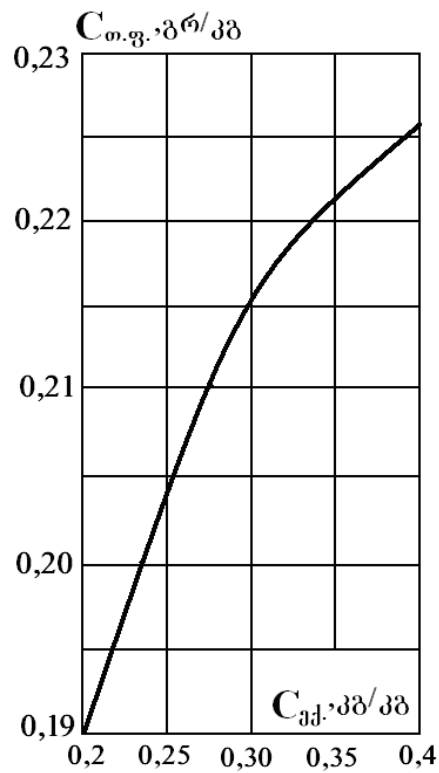
$$T_{თ.ფ.} = 70^{\circ}C; C_{აქ.} = 0,4 \text{ კგ/კგ}; \rho_{ა.ფ.} = 300 \text{ კგ/მ}^3; n = 6,0; u = 0,7.$$



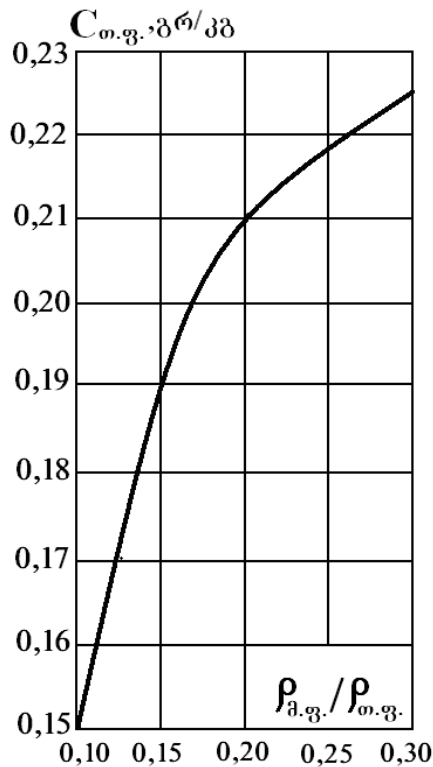
ნახ.27. $C_{თ.ფ.}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის ტემპერატურაზე



ნახ.28. $C_{თ.ფ.}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის ცირკულაციური ციკლების სიხშირეზე (n)



ნახ.29. $C_{თ.ფ.}$ დამოკიდებულება ექსტრაგენტის კონცენტრაციაზე



ნახ.30. $C_{w.g.}$ დამოკიდებულება მყარი და თხევადი ფაზების მოცულობითი მასების ფარდობაზე

ამრიგად, მოცემული კონკრეტული პროცესისათვის, კონსტანტების განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელია პროცესის სრული გაანგარიშება მოქმედი ფაქტორების ნებისმიერ დიაპაზონში ვარირებით.

2.7. მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ექსპერიმენტული კვლევა

2.7.1. ნედლეულის დახასიათება

კვლევის ობიექტად შერჩეული იყო მცვის ნაყოფი, რომელიც გამოირჩევა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების დიდი შემცველობით და მრავალფეროვნებით [45,46,47,48,49].

მოცვის მიმართ ინტერესი გამოწვეულია მასში ანტიოქსიდანტური მოქმედების ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების არსებობით. დღეისათვის დადასტურებულია, რომ მოცვი წარმოადგენს ადამიანის ორგანიზმისათვის ძალზე სასარგებლო პროდუქტს, რაც განპირობებულია მასში ძლიერი ანტიოქსიდანტების – ბიოფლავანოიდების შემცველობით.

იტალიაში, საფრანგეთში, ამერიკის შეერთებულ შტატებში ჩატარებულმა უახლესმა გამოკვლევებმა აჩვენა მოცვის ნაყოფის (*Fructus Murtilli*) სამკურნალო მოქმედების ფართო სპექტრი. გამოკვლევების დიდი ნაწილი მიეძღვნა მოცვის ბიოფლავანოიდების ჯგუფს – ანტოციანებს (ანტოციანოზიდებს) [D.Bagchi, C.K.Sen, M.Atalay, 2004; D.J.Brown, 1996; J.Bomsek, D.L.Madhavi, 1999; B.A.Blodi, 2004; R.Boniface, M.Miskulin, L.Robert, 1985].

ანტოციანების ჯამური შემცველობა მოცვის ცოცხალ ნაყოფში, ლიტერატურული მონაცემებით, იცვლება საკმაოდ დიდ დიაპაზონში – 0,25%-დან [V.A.Tutelian, 2004; R.L.Prior, 1998] 1,6%-მდე [L.L.Kazakova, 2004; L.M.Marsanova, 2006; A.M.Lebedeva, 1990]. ანტოციანების კომპლექსი მოიცავს 30-ზე მეტ ინდივიდუალურ ნაერთს, რომელთა შორისაც ძირითადია დელფინიდინის, ციანიდინის, პეტურიდინის, მალვიდინის გლიკოზიდები, რომლებიც შეიცავენ მესამე მდგომარეობაში არაბინოზას, გლუკოზას ან გლაქტოზას [P.Dugo, 2001].

ქართული მთის მოცვი ამ მხრივ პრაქტიკულად შეუსწავლელია. წინასწარი ლაბორატორიული მონაცემებით ამერიკიდან შემოტანილ ე.წ. “ლურჯ მოცვს” გარდა სახელისა არაფერი აქვს საერთო ქართულ მთის მოცვთან, რომელშიც ანტოციანების შემცველობა მნიშვნელოვნად აღემატება ამერიკულისას. ამიტომაც, მისი ბიოაქტიურობისა და მეტაბოლიზმის გამოკვლევა მეტად მნიშვნელოვანია ადამიანის ჯანმრთელობაზე დადებითი ეფექტის უკეთ გასაგებად.

სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალებებისადმი წაყენებული მოთხოვნები განისაზღვრება, უპირველესად, ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შედგენილობით. ასეთი მოთხოვნების შესრულება შესაძლებელია მხოლოდ ეფექტური უნიფიცირებული ტექნოლოგიისა და სტანდარტიზაციის საიმედო მეთოდების შემუშავებით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ქართული მთის მოცვის (*Vaccinium Murtillus*) ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება მეცნიერებისა და პრაქტიკის აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

2.7.2. ნედლეულის ლაბორატორიული გამოკვლევა

მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტების ქიმიური ანალიზისათვის ფართოდ გამოიყენება მაღალი წნევის სითხური ქრომატოგრაფიების მეთოდი [50,51,52,53,54,55,56]. ჩვენ შემთხვევაში გამოვიყენეთ გრადიენტული ქრომატოგრაფი - Waters (აშშ), uv/visible Detector 2489, Binary HPLC Pump1525, ქრომატოგრაფიული სვეტი Symmetry C18, დეტექტირება 360 და 510 ნმ ტალღის სიგრძეზე. გამსხნელთა სისტემები იყო: I. 5%-იანი ჭიანჭველმუავა; II. მეთანოლი. გამსხნელის სიჩქარე იყო 1 მლ/წთ-ში, საკვლევი ნიმუშის რაოდენობა 20 მლ, ქრომატოგრაფიების ხანგრძლივობა 45 წთ.

ანტოციანების საკვლევი ხსნარის მისაღებად ნიმუშს ვაქუცმაცვბლით და ვამატებლით 40%-იან ეთანოლს, რომლის შემუავება ხდებოდა 1%-იანი მარილმუავათი ან ლიმონმუავათი; ნიმუშისა და ექსტრაგენტის თანაფარდობა – 1:10. ექსტრაქციის ხანგრძლივობა იყო 24 საათი ოთახის ტემპერატურაზე. მიღებულ ექსტრაქტს ვფილტრავლით.

ფლავონოიდების საკვლევი ხსნარის მისაღებად დაქუცმაცვბულ ნიმუშს ვამატებლით 80%-იან ეთანოლს და მღუღარე წყლიან აბაზანაზე ვაექსტრაჰირებლით 40 წუთის განმავლობაში. მიღებულ ექსტრაქტს ვფილტრავლით და ვაკონცენტრირებლით ვაკუუმის პირობებში 50⁰ C-ზე.

ექსტრაქტული წყალხსნადი ნივთიერებების რაოდენობა მოცვის ნიმუშებსა და მის ექსტრაქტებში განვსაზღვრეთ აორთქლებისა და მუღმივ წონამღე დაყვანის მეთოღლით.

ქვემოთ წარმოდგენილია კენკრის ბიოლოღიურად აქტიური ნაერთების ჩვენს მიერ შესრულებული წინასწარი ლაბორატორიული გამოკვლევების ძირითადი შეღევები ცხრილებისა (2-4) და გამოსაკვლევი ქრომატოგრაემების სახით (დანართი 1, ქრომატოგრაემები 1..9)

აღნიშნული კვლევების სერია ჩატარდა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში პროფესორ ალექო კაღანღიას ხელმღღვანელობით.

ცხრილი 2

ანტოციანებისა და ფლავონოლების შემცველობა მოცვის ნაყოფში

მოცვის ნაყოფი	ანტოციანების რაოდენობა, მგ/კგ		ფლავონოლების რაოდენობა, მგ/კგ	
	ნედლ მასაზე გადაანგარიშებით	მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით	ნედლ მასაზე გადაანგარიშებით	მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით
ნედლი ნაყოფი - ტყიბულის მთის	1773,8	13644,7	237,6	1827,6
10% გამშრალი ნაყოფი - ტყიბულის მთის	1549,5	1878,2	868,1	1052,2
10% გამშრალი ნაყოფი - ბაღდათის	719,8	854,8	743,2	882,6
მოცვის წვენი ტყიბულის	1674,0	11957,1	250,4	1788,5

ცხრილი 3

ფლავონოიდური ნაერთების რაოდენობრივი შემცველობა მგ/კგ

ნიმუში		ფლავონო-ლები	კატექი-ნები	ლეიკოანტო-ციანები	ანტოცი-ანები
		80% C ₂ H ₅ OH	80% C ₂ H ₅ OH	80% C ₂ H ₅ OH	3% HCl, 40% C ₂ H ₅ OH
მოცვი ტყიბუ-ლი	ნედლ მასაზე	973,75	89,24	205,23	552,83
	მშრალ მასაზე	1290,93	118,31	272,08	736,88
მოცვი ბაღდა-თი	ნედლ მასაზე	842,53	62,85	125,07	282,09
	მშრალ მასაზე	1100,91	82,12	163,43	368,6

2-3 ცხრილების მონაცემების ანალიზისა და სათანადო მონაცემების გამორიცხვის შემდეგ საშუალება გვაქვს მოცვის ნაყოფში ფლავონოლებისა და ანტოციანების შემცველობა წარმოვადგინოთ ცხრ.2-ში მოყვანილი მონაცემების სახით.

მოცვის ნაყოფის სხვადასხვა ექსტრაქტების ქრომატოგრამები თვალნათლივ აჩვენებენ, რომ ისინი მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავენ სხვადასხვა ანტოციანებს განსხვავებული კონცენტრაციით. მოცვის ანტოციანებს აქვთ მდიდარი ანტოციანური პროფილი და წარმოდგენილი არიან, ძირითადად, გლუკოზის, გლაქტოზის, არაბინოზის ციანიდინის, პეონიდინის, დელფინიდინის, პეტუნიდინის, მალვინიდის და სხვათა სახით.

წარმოდგენილია კიდევ ერთი, მოცვის ახლად დაწურული წველის ქრომატოგრამა, სადაც ნათლად ჩანს ყველა ჩამოთვლილი ანტოციანის პიკები (დანართი 1, ქრომატოგრამა 9).

ჩვენს მიერ, ქართული მთის მოცვის ბაზაზე, წინასწარ ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული ექსტრაქტების ანალიზმა აჩვენა, რომ საქართველოში გავრცელებული მოცვის კენკრა (ჩვენს შემთხვევაში ბაღდათის შემოგარენი, იმერეთი) შეიცავს (ლიტერატურული მონაცემებით) გაცილებით (1,4-1,5-ჯერ) მეტ ანტოციანიდებს, ვიდრე რუსეთსა თუ ევროპაში გავრცელებული მოცვის კენკრა, 1,7-1,9-ჯერ მეტს ვიდრე ამერიკაში გავრცელებული.

საქართველო უნიკალური ბუნების ქვეყანაა ათასწლოვანი ხალხური თუ ტრადიციული მედიცინით, კულინარიით, კოსმეტიკით. აქ განსხვავებული კლიმატი და ნიადაგია. შესაბამისად, სრულიად გამართლებულია თუ ჩვენი მთის მოცვის ექსტრაქტებში შემავალი, ასევე უნიკალური ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები დაედება საფუძვლად სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალებების წარმოებას.

2.7.3. მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება

ექსპერიმენტული კვლევისათვის გათვალისწინებული იყო შემდეგი ეტაპების ჩატარება:

- ექსპერიმენტის მომზადება, რომელიც ითვალისწინებს ოპტიმიზაციის პარამეტრების შერჩევას, ვარირებადი ფაქტორებისა და მათი დონეების დადგენას;

- ექსპერიმენტის დაგეგმვა, რომელიც მოიცავს დაკვირვებების საერთო რაოდენობის განსაზღვრას, ექსპერიმენტის ჩატარების წესის, რანდომიზაციის მეთოდის შერჩევას და მათემატიკური მოდელის დამუშავებას;

- ექსპერიმენტის ანალიზი, რომელიც მოიცავს შედეგების შეგროვებას, მათ მოწესრიგებას, სტატისტიკურ გამოთვლებს და შედეგების ინტერპრეტაციას;

- ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნა, რომელიც ითვალისწინებს ოპტიმიზაციის მეთოდის შერჩევას, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად მათემატიკური მოდელის რეალიზაციას და ოპტიმალური გადაწყვეტის ანალიზს.

გამოსაკვლევი ექსტრაქტების ყოველი ცალკეული ნიმუშისათვის მიღებული შედეგები მუშავდებოდა სტატისტიკურად. ამასთან, ეტალონის შემოწმება ხდებოდა ექსპერიმენტის დაწყებისას და დამთავრებისას. მათ შორის არსებითი სხვაობის შემთხვევაში შესაბამისი ცდების სერია მეორდებოდა. ოპტიმალური რეჟიმების დასადგენად ვიყენებდით ექსპერიმენტის დაგეგმვის მეთოდებს, კერძოდ, ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის მატრიცას, რომელიც კარგად ესადაგება აღნიშნული ხასიათის ტექნოლოგიურ პროცესებს. ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მისაღებად ვიყენებდით ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა კლასიკურ მეთოდს.

2.7.4. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის პირობების დასაბუთება

ადამიანის ორგანიზმში თავისუფალი რადიკალების დონის შესამცირებლად რეკომენდებულია ბუნებრივი ანტიოქსიდანტური აქტიურობის შემცველი კვების პროდუქტების, სამკურნალო პრეპარატების, ბიოლოგიურად აქტიური დანამატების და სასმელების ყოველდღიური გამოყენება. შესაბამისად, მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის

პროცესების დამუშავებისას ოპტიმიზაციის ძირითად პარამეტრად ვღებულობთ ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტურ აქტიურობას (AOA), რომელიც განისაზღვრებოდა “ცვეტიაუზა-01-აა” ხელსაწყოზე, როგორც გამოსაკვლევი კონცენტრატის სიგნალისა და სტანდარტული ნივთიერების სიგნალის თანაფარდობა.

ოპტიმიზაციის მეორე კრიტერიუმად მივიღეთ მოცვის ნაყოფიდან ექსტრაქტული ნივთიერების გამოსავლიანობა, რომელიც გადაანგარიშდება როგორც ერთი კილოგრამი საექსტრაქციო მოცვის ნაყოფიდან მიღებული მშრალი ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის რაოდენობა - ზ, გრ/კგ. ეს კრიტერიუმი განისაზღვრა აორთქლებისა და მუდმივ წონამდე დაყვანის მეთოდით.

ოპტიმიზაციის მეორე კრიტერიუმის მიღება განპირობებულია კიდევ იმ მოსაზრებითაც, რომ მის სიდიდეზეა დამოკიდებული მოცვის თხევადი ექსტრაქტის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები და ტექნოლოგიურ-კომერციული სახე.

მოცვის ექსტრაქტის ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავებისას ინტეგრალური ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის შერჩევა, რომელიც მოიცავს მწარმოებლურობას, თვითღირებულებას, პროდუქციის ხარისხს, წარმოების მოგებას და ა.შ., მიზანშეწონილი არ არის შემდეგი მოსაზრების გამო: ქვეყანაში არსებული ჯერ კიდევ ჩამოუყალიბებელი საბაზრო ეკონომიკის პირობებში ცნება “მოგება” ამორფულია და არ შეიძლება გამოდგეს რაიმე ინტეგრალური კრიტერიუმის წინამძღვრად.

ასევე შეიძლება ითქვას მწარმოებლურობაზე, რადგან მისი ზრდა არ შეიძლება იყოს ოპტიმალურობის კრიტერიუმი. ქვეყანაში ჯერ კიდევ ჩამოუყალიბებელი ფორმირების პროცესში მეოფი საგადასახადო სისტემის გამო შეუძლებელია ვიმსჯელოთ საწარმოო ექსპერიმენტის პირობებში პროდუქციის თვითღირებულებაზე, მით უმეტეს, რომ არ არსებობს მეტ-ნაკლებად სტაბილური ფასები ნედლეულზე, მასალებზე, ენერჯიასა თუ შრომაზე.

ექსპერიმენტისათვის ვიღებდით ტყიბულის მთიანი რეგიონის მოცვის კენკრას, ერთის მხრივ როგორც უფრო ხელმისაწვდომი და მეორეს მხრივ, მოცვის მხოლოდ ერთი სახის ნედლეულის გამოყენება მოგვცემდა შედარებით ერთგვაროვან შედეგებს.

შემდგომში ჩვენ უნდა მოვიგებნოთ ისეთი ტექნოლოგიური რეჟიმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ანტიოქსიდანტური აქტიურობისა და ექსტრაქტული ნივთიერებების შესაძლო მაქსიმალურ გამოსავლიანობას მინიმალური ენერგოდანახარჯებით. უნდა დამუშავდეს საწარმო-ეკონომიკური მათემეტიკური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმების დადგენა, მათი უზრუნველყოფისა და სუბოპტიმალური მართვის მეთოდების დამუშავება.

ლაბორატორიულმა ექსპერიმენტების შედეგებმა და ლიტერატურული მასალების ანალიზმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა ოპტიმიზაციის კრიტერიუმზე რიგი ფაქტორების მოქმედების ხასიათი და დიაპაზონი, მათ შორის, ექსტრაქციის ტემპერატურა და ხანგრძლივობა, ექსტრაგენტის და ნედლეულის მასური თანაფარდობა, საექსტრაქციო მოცვის წინასწარი დამუშავების ხასიათი, საექსტრაქციო მასის (ნედლეული და ექსტრაგენტი) აპარატში ცირკულაციის პერიოდულობა, ექსტრაგენტში ეთანოლის კონცენტრაცია, ექსტრაგენტის მარილმჟავათი შემჟავების ხარისხი. ამის გარდა, ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე მოქმედებენ რიგი არარეგულირებადი ფაქტორებისა, როგორებიცაა ელექტროენერჯის, ორთქლისა და საწვავის ტარიფების ცვალებადობა ენერგოდანახარჯებზე ერთეული ნედლეულის გადასამუშავებლად; ნედლეულის ადგილმდებარეობა და კლიმატური პირობები, კრეფის დრო და მრავალი სხვა. ყველა ჩამოთვლილი ფაქტორის გათვალისწინება დაგეგმილ ექსპერიმენტში პრაქტიკულად შეუძლებელია, დაკავშირებულია დროისა და საშუალებების მრავალჯერად ზრდასთან და, რაც მთავარია, ამან შეიძლება მიგვიყვანოს ნაკლებად საიმედო შედეგებამდე.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტებისა და სხვადასხვა მცენარეული დაკონცენტრირებული ექსტრაქტების წარმოების მრავალწლიანი გამოცდილების და ლიტერატურული მონაცემების [57,58] გათვალისწინებით ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცაში შევიდა ოთხი ფაქტორი: ექსტრაქციის ტემპერატურა t , °C; ექსტრაქციის ხანგრძლივობა τ , წთ; ექსტრაგენტისა და ნედლეულის მასური თანაფარდობა n_m , ლ/კგ; საექსტრაქციო მოცვის ნაყოფის წინასწარ დამუშავების ხასიათი α . რაც

შეეხება ექსტრაქციის პროცესში საექსტრაქციო მასის ცირკულაციური ციკლების სიხშირეს წინასწარი ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგად მიღებული იყო 6,0 1/სთ ტოლი (ცხრ.4).

როგორც ვხედავთ, ექსპერიმენტის მატრიცაში შევიდა ოთხი ფაქტორი, აქედან სამი რაოდენობრივი და ერთი – ხარისხობრივი.

პრაქტიკული მონაცემებით და ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით, ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების რაოდენობა მოცვის ექსტრაქტში, სხვა თანაბარ შესაძლო ოპტიმალურ პირობებში, მცირდება წინასწარი გადამუშავების მიხედვით შემდეგი თანმიმდევრობით (არსებული %):

- I – ნედლი დისპერგირებული 1,0-2,0 მმ ფრაქციამდე მოცვის მასა 10 %-იან ტენიანობაზე გადაანგარიშებით – 92-96;
- II – 10 % ტენიანობამდე ვაკუუმში 60 °C-ზე გამშრალი დისპერგირებული 1,0-2,0 მმ ფრაქციამდე მოცვის მასა – 82-88;
- III – 10 % ტენიანობამდე 60 °C-ზე გამშრალი დისპერგირებული 1,0-2,0 მმ ფრაქციამდე მოცვის მასა – 72-75;
- IV - 10 % ტენიანობამდე 80 °C-ზე გამშრალი დისპერგირებული 1,0-2,0 მმ ფრაქციამდე მოცვის მასა – 60-65;
- V - 10 % ტენიანობამდე 90-100 °C-ზე გამშრალი დისპერგირებული 1,0-2,0 მმ ფრაქციამდე მოცვის მასა – 45-55.

ცხრილი 4

მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები

ფაქტორები	ტემპერატურა $t, ^\circ\text{C}$	ხანგრძლივობა $T, \text{წთ}$	ექსტრაგენტი/მოცვი $n_m, \text{გ/კგ}$	m
კოდირებული აღნიშვნა	X_1	X_2	X_3	X_4
ძირითადი დონე	70	180	10	III
ვარიაციის ინტერვალი	10	20	1	-
ზედა დონე (+1)	80	200	11	II
ქვედა დონე (-1)	60	160	9	IV
მხარი (+2)	90	220	12	I
მხარი (-2)	50	140	8	V

შესაბამისად, ექსპერიმენტის პირობებში ძირითად დონედ ვირჩევთ III ვარიანტს, ხოლო დანარჩენ დონეებს მივაკუთვნებთ სათანადო ვარიანტებს: ზედა დონე – II ვარიანტი, ქვედა დონე – IV ვარიანტი, +2 – I ვარიანტი, - 2 – V ვარიანტი (ცხრ.4).

განსაკუთრებულ განხილვას მოითხოვს ნედლეულის ექსტრაქციების წინ დისპერჰირების საკითხი.

მცენარეულ ნედლეულს, როგორც წესი, აქვს მრავალკომპონენტური შედგენილობა და რთული მორფოლოგიური სტრუქტურა. ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები უმეტესწილად იმყოფებიან გარსში ბიოპოლიმერული კომპლექსების სახით, რომლებიც ექსტრაქციის არსებული ტექნოლოგიებით ნაკლებად გადადიან ბიოლოგიურად მისაწვდომ ფორმებში.

მცენარეული ნედლეულიდან ექსტრაქციების გზით ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მაქსიმალურად გამოწვლილვის მიზნით აუცილებელია არა მარტო უჯრედის გარსის დარღვევა, არამედ მისი მნიშვნელოვანი ნაწილის გათავისუფლება უჯრედშიგა ბიოპოლიმერული სტრუქტურისაგან. ამ თვალსაზრისით საყურადღებოა უკანასკნელ წლებში ჩატარებული მეცნიერული გამოკვლევები, რომლებშიც ნაჩვენებია, რომ მცენარეული ნედლეულის დაქუცმაცება მიკრონულ ზომამდე იძლევა ექსტრაქციის პროცესის მნიშვნელოვანი ინტენსიფიკაციის შესაძლებლობას ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოსავლიანობის იმავდროული საგრძნობი გაზრდით. წინასწარი მონაცემებით, ჩვენს მიერ შესრულებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ექსტრაქციის მიკროდისპერგირება ექსტრაქციის პროცესის ხანგრძლივობას ამცირებს დაახლოებით 5-ჯერ, რაც დადებითად აისახება ნედლეულიდან ადვილად ჟანგვადი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (ანტოციანები, სხვა ფლავონოიდები, ვიტამინი C და სხვა) გამოსავლიანობაზე.

მცენარეული ნედლეულის ულტრა- და ნანოდისპერგირება მიმდინარეობს სხვადასხვა ტექნოლოგიების გამოყენებით – მაღალსიხქარიანი გრიგალისებური დაქუცმაცებით ვიბროცენტრიდანული და პლანეტარული წისქვილებით. ამ სახით დაქუცმაცებული ნედლეულიდან რამდენჯერმე იზრდება, როგორც ლიტერატურული

წყაროები მოწმობენ, ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოსავლიანობა და ექსტრაქციის ინტენსიურობა.

მოცვის ნაყოფის დისპერგირება ხდებოდა პლანეტურული AFO-2 ტიპის აქტივატორზე, რომელიც აღჭურვილია სინქარის ვარიატორით. დანადგარი იძლეოდა ნედლეულის დაქუცმაცების საშუალებას ნაწილაკების ზომების საკმაოდ დიდ დიაპაზონში, რომელიც კონტროლდებოდა ელექტრონული მიკროსკოპის მეთოდებით.

წინასწარი ექსპერიმენტით დავადგინეთ, რომ მექანიკური აქტივაცია მიზანშეწონილია მოხდეს წისქვილის დოლის ბრუნვათა სიხშირის 30-35 1/წმ პირობებში 2,5-3,0 წუთის განმავლობაში [59]. იმის გამო, რომ მშრალი მოცვის ნაყოფს აქვს მცირე ხაზოვანი ზომები, ამიტომ ექსპერიმენტებისათვის დისპერგირების სიდიდეს ვიღებდით მუდმივს 1,0-2,0 მმ დონეზე.

ექსტრაქციას ვახორციელებდით პერიოდული ქმედების დანადგარში (ნახ. 31) ერთ საფეხურად. ექსტრაგენტად, წინასწარი ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგებისა და ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით, ვიღებდით 40%-იან ეთანოლს, შემჟავებულს 1%-იანი მარილმჟავათი.

ფაქტორები, რომლებიც შევიდნენ ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცაში, მათი დონეები და ვარიაციების ინტერვალები მოყვანილია ცხრ.4-ში. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცად გამოვიყენეთ ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური გეგმა, რომელიც ყველაზე მოსახერხებელია ნაშრომში დასახული მიზნის რეალიზაციისათვის.

2.7.5. საწარმოო-ექსპერიმენტული დანადგარი

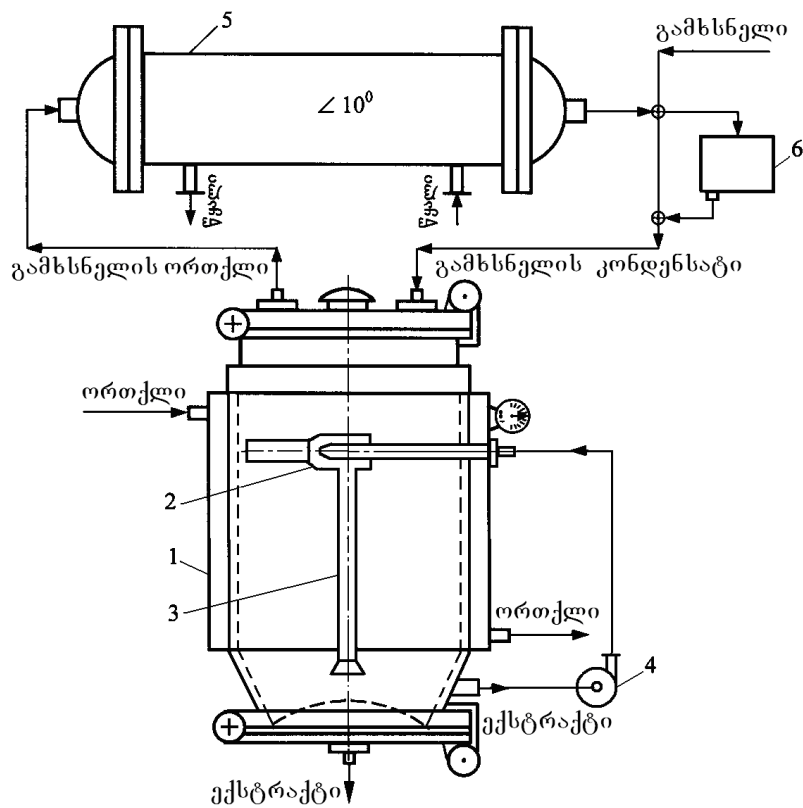
საწარმოო ექსპერიმენტული კვლევები ტარდებოდა ქუთაისის აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან არსებულ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სამეცნიერო ცენტრში, რომელთანაც საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს გაფორმებული აქვს ურთიერთთანამშრომლობის მემორანდუმი.

ექსპერიმენტული კვლევისათვის გამოყენებული იყო პროფესორ ვ. ხვედელიძის მიერ დამუშავებული საწარმოო-ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელშიც ჩვენს მიერ დამუშავებული დანადგარის (ნახ.17) შესაბამისად,

შესრულდა გარკვეული მოდერნიზაცია რათა შექმნილიყო კვლევის დაახლოებით იდენტური პირობები.

საწარმოო მცირე მწარმოებლობის, მცირეტონაჟიანი ნედლეულის (მოცვის ნაყოფისათვის საქართველოს პირობებში 100 ტონამდე) გადასამუშავებელი საექსტრაქციო დანადგარი უნდა იყოს მარტივი და ეფექტური, ამდენად ექსპერიმენტებისთვის შერჩეული იყო პერიოდული ქმედების დანადგარი (ნახ.31), რომლის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს ვხვედელიძის სისტემის ექსტრაქტორი, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.13-ზე. მოდერნიზებულ აპარატში, პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით, ვიბრაციული აღმზნები მოწყობილობების ნაცვლად დამონტაჟდა ელექტრონული სისტემა თხევადი ფაზის ცირკულაციის მიზნით. დანადგარი მოდელირებული იყო მცირე ტევადობის ლაბორატორიული სტენდის სახით, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.32-ზე.

ქსპერიმენტული დანადგარი (ნახ.31) შედგება ექსტრაქტორისაგან 1, რომლის ცენტრალურ ნაწილში დაყენებულია ელექტორი 2 შემწოვი მილით 3. თხევადი ფაზის ცირკულაცია ხორციელდება ტუმბოს 4 დახმარებით.



ნახ.31.საწარმოო-ექსპერიმენტული დანადგარი ვხვედელიძის სისტემის აპარატის ბაზაზე

დანადგარი შეიცავს აგრეთვე თბომცველს გამხსნელის ორთქლის კონდენსაციისათვის და ავხს 6 - საჭიროების შემთხვევაში კონდენსატის შესაგროვებლად. სხვა შემთხვევაში კონდენსატი გადამრთველის გავლით ბრუნდება ექსტრაქტორში. ამრიგად ექსტრაგენტის აორთქლება და კონდენსაცია მიმდინარეობს უწყვეტად, ჩაკეტილ ციკლში.

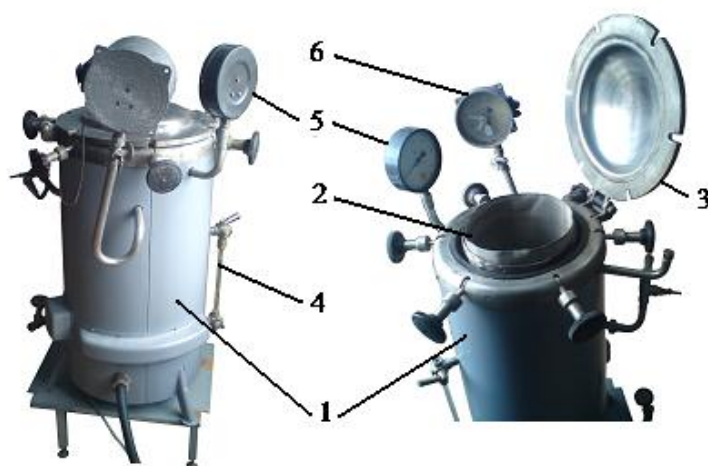
დანადგარის მუშაობის პრინციპია შემდეგია. მოცვის წინასწარ დისპერგირებული მასა გარკვეული რაოდენობით იყრება ექსტრაქტორში და ესხმება ექსტრაგენტი ექსპერიმენტის პირობების გათვალისწინებით ისე, რომ ექსტრაქტორის მოცულობა შეივსოს 70-75 %-მდე.

ამის შემდეგ გამაცხელებელ პერანგში მიეწოდება ორთქლი და იწყება საკუთრივ ექსტრაქციის პროცესი ექსპერიმენტის პირობით განსაზღვრულ ტემპერატურაზე.

პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის პერიოდულად სრულდება თხევადი ფაზის ცირკულაცია დაახლოებით 6,0 l/სთ სიხშირით.

ექსტრაქციის პროცესის დამთავრების შემდეგ აპარატის ქვემო გამოსაშვები მილყებიდან ვღებულობთ ექსტრაქტს, ხოლო ნარჩენიდან გამხსნელის რეკუპერაციისათვის პერანგში ვუშვებთ მწვავე ორთქლს.

დასასრულს ხდება ნარჩენის გამოტვირთვა ქვემო ლიუკიდან ან (თუ საჭიროება მოითხოვს) შესაძლებელია მისი ხელმეორედ ექსტრაქცია ორგანული გამხსნელით მოცვის ლიპიდური კომპლექსის მისაღებად.



ნახ.32. ლაბორატორიული საექსტრაქციო აპარატი:

- 1- კორპუსი; 2- ბადე-ფილტრი; 3- ხუფი; 4- ექსტრაგენტის დონის მზომი; 5- მანომეტრი; 6-ელექტროკონტაქტური თერმომეტრი.

2.7.6. მოცვის ექსტრაქტების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრის მეთოდика

მცენარეული ექსტრაქტების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის ანალიზისათვის ცნობილია რამოდენიმე მეთოდი: ვოლიუმომეტრული, ფოტომეტრული, ფლოურესცენტული, ელექტროქიმიური და სხვა [60,61,62,63,64,65,66,67,68]. ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო ექსპრესიული ელექტროქიმიური ამპერომეტრული მეთოდი, რომელიც დამუშავებულია რუსეთის ფედერაციის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანება "ქიმავეტომატიკა"-ში. ვინაიდან აღნიშნული მეთოდი საქართველოს პირობებში, ჩვენი მონაცემებით, არ არის აპრობირებული, ამიტომ მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მისი არსის შედარებით სრულად ჩამოყალიბება.

ანტიოქსიდანტური აქტიურობის ამპერომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია გამოსაკვლევი ნაერთის მუშა ელექტროდის ზედაპირზე დაუანგვის შედეგად წარმოშობილი ელექტრული დენის სიდიდის გაზომვაზე, როდესაც ელექტროდი გარკვეული პოტენციალის ქვეშ იმყოფება.

ამ მეთოდის მგრძობიარობა დამოკიდებულია როგორც მუშა ელექტროდის სახეობაზე, ისე მასზე მოდებულ პოტენციალზე. მუშა ელექტროდად გამოიყენება მინანახშირბადი, ოქრო, პლატინა, ვერცხლი, სპილენძი, ნიკელი და სხვა. პოტენციალი შეიძლება დავამყაროთ 0-დან 2,5 ვოლტამდე.

ჩვენს შემთხვევაში, წინასწარი ექსპერიმენტითა და არსებული რეკომენდაციებით, შევირჩიეთ მინანახშირბადის ელექტროდი, რომელიც განსაკუთრებით უნივერსალურია პოლიფენოლების ნაერთების ანალიზისათვის, როდესაც მათი იონიზაციის პოტენციალი იცვლება 0,1-დან 1,0 ვოლტამდე.

მოცვის ექსტრაქტების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრის მეთოდика შევიმუშავეთ ამპერომეტრული მეთოდით მოქმედ "ცვეტაიაუზა-01-აა" ხელსაწყოზე. იგი შედგება გამხსნელის, ჩვენს შემთხვევაში გასუფთავებული წყლის, აზისაგან, ტუმბოსაგან, მრავალსვლიანი ვენტილის სახის დოზატორისაგან, თერმორეგულატორისაგან, ელექტროქიმიური უჯრედებიანი დეტექტორისაგან საცვლელი მუშა

ელექტროდებით, დენის გამაძლიერებლისაგან, ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნელის და გამომავალი სიგნალის სარეგისტრაციო მოწყობილობისაგან.

ხელსაწყო საშუალებას იძლევა შევასრულოთ გამოსაკვლევი ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის პირდაპირი რაოდენობრივი გაზომვები ეტალონ-ანტიოქსიდანტთან მიმართებაში. ხელსაწყო მუშაობს შემდეგნაირად: ტუმბო მუდმივად გადადენის გამსხნელს (წყალს) აგზიდან მთელ სისტემაში. ვენტილ-დოზატორში "ნიმუშის შერჩევა"-ს მდგომარეობაში, სტანდარტული შპრიცით მადოზირებელ კვანძში შეგვყავს 1 მლ გამოსაკვლევი ხსნარი. ვენტილის სახელურის შემობრუნებით "ანალიზი"-ს მდგომარეობაში გამსხნელის ნაკადს შეჰყავს გამოსაკვლევი ნაერთის გარკვეული ულუფა დეტექტორის უჯრედში, სადაც ელექტროდზე ხდება ნივთიერების მოლეკულის დაჟანგვა. ამ დროს იზრდება ელექტრული დენი ორ ელექტროდს შორის, რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია საანალიზო ნაერთის ბუნებასა და ელექტროდზე მოდებულ პოტენციალზე.

წარმოქმნილი ელექტრული დენები მეტად მცირე 10^{-6} - 10^{-9} ამპერის რიგისაა, ისინი ძლიერდებიან და გარდაიქმნიან ციფრულ სიგნალებად, რის შემდეგაც ხდება მათი რეგისტრირება კომპიუტერის დისპლეიზე, ან საჭიროების შემთხვევაში ამოიბეჭდება პრინტერზე. ცალკეული მონაცემის განსაზღვრის ხანგრძლივობა არ აღემატება რამდენიმე წუთს. ანალიზი მიმდინარეობს რეალურ დროში. მისი სისწორე და აღწარმოება გარანტირებულია ვენტილით ზუსტი დოზირებით. ხელსაწყოში დოზირების საშუალო კვადრატული ცდომილება 0,5%-ს არ აღემატება, ხოლო საანალიზო ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა იანგარიშება, როგორც ფარდობა

$AOA = \text{საანგარიშო ნიმუშის სიგნალი} / \text{სტანდარტის სიგნალი},$
სადაც სტანდარტად აიღება ცნობილი ანტიოქსიდანტური აქტიურობის ნაერთები, მაგალითად, კვერცეტინი, რუთინი და ა.შ.

მოცვის ნაყოფის თხევადი ფენოლური ბუნების ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტურ აქტიურობას ვსაზღვრავდით შემდეგი თანმიმდევრობით:

- მოცვის ნაყოფის თხევადი ფენოლური ბუნების ექსტრაქტიდან გამზადებლით გამოსაკვლევი პრეპარატის 3 %-იან წყალხსნარს.

პარალელურად გამზადდებით ეტალონის – კვერცხების 3 %-იან ხსნარს გასუფთავებული წყლით;

- მადლობრებელ კვანძში შპრიცით შეგვყავდა 1 მლ გამოსაკვლევი ხსნარი. ამ დროს ვენტილ-დოზატორი იმყოფებოდა ”ნიმუშის შერჩევა“-ს მდგომარეობაში;

- ვენტის შემობრუნებით ”ანალიზი“-ს მდგომარეობაში გამხსნელის ნაკადის გამოსაკვლევი ხსნარის გარკვეული ულუფა შეგვყავდა დეტექტორის უჯრედში, სადაც ხდებოდა მინანახშირბადის ელექტროდზე გამოსაკვლევი ნივთიერების მოლეკულების დაჟანგვა. ამ დროს იზრდება ელექტრული დენი ორ ელექტროდს შორის. მოდებული პოტენციალის სიდიდე ელექტროდზე მუდმივია და შეადგენს ფენოლური ანტიოქსიდანტებისათვის 800...1200 მილივოლტს. ჩვენი ცდებისათვის მივიღეთ 1000 მილივოლტი;

- ელექტროდებზე წარმოქმნილი დენის მცირე სიგნალები ძლიერდებიან გამაძლიერებელ მოწყობილობაზე, რის შემდეგაც ხდება მათი რეგისტრირება კომპიუტერის დისკლეიზე და ამობეჭდება პრინტერზე;

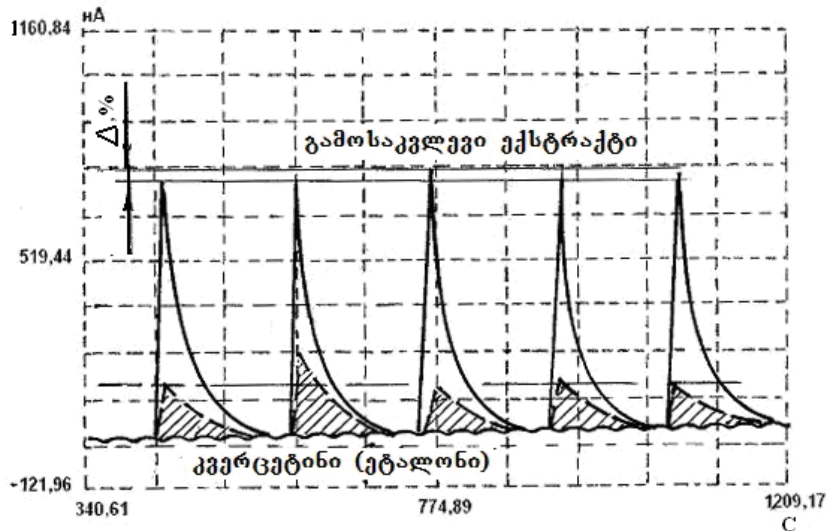
- ანალოგიურად ვაწარმოებდით ეტალონის – კვერცხების ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრას;

- გამოსაკვლევი ხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა განისაზღვრებოდა ფორმულით

$$AOA = \text{საანგარიში ნიმუშის სიგნალი} / \text{სტანდარტის სიგნალი}$$

- გამოსაკვლევი ხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა განისაზღვრება მიმდევრობით 4-5 დოზირების საშუალო არითმეტიკულით. ხუთი თანმიმდევრობით განხორციელებული დოზირების აღმწარმოებლობის ნიმუში გამოსახულია ნახ.33-ზე.

მოცემული მაგალითის მიხედვით გამოსაკვლევი ხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა შეადგენს საშუალოდ 6,5 ერთეულს .



ნახ.33. ხუთი თანმიმდევრობით განხორციელებული დოზირების აღმწარმოებლობის ნიმუში

2.7.7. მოცვის ნაყოფის ექატრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის რეალიზაცია

ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა ექსპერიმენტულ დანადგარზე, რომელიც სქემატურად ნაჩვენებია ნახ.31-ზე.

ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.

ექსპერიმენტი შედგება ოთხფაქტორიანი სრული ფაქტორული ექსპერიმენტისაგან - 16 ცდა, ვარსკვლავურ წერტილებში - 8 ცდა და ცდებისაგან ექსპერიმენტის ცენტრში - 7 ცდა. სრული ექსპერიმენტის რეალიზაციისათვის განხორციელდა 31 ცდა.

პროცესის მათემატიკური აღწერისათვის გამოვიყენეთ მეორე რიგის რეგრესიის განტოლება, რომელიც შეიცავს წრფივ ეფექტებს, წვეილ ურთიერთქმედებებს და კვადრატულ ეფექტებს

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2,$$

სადაც y ოპტიმიზაციის პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობაა;

b_0 - რეგრესიის განტოლების თავისუფალი წევრი;

b_i - წრფივი ეფექტების ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტები;

b_{ij} - წვეილი ურთიერთქმედების ეფექტების ამსახველი

კოეფიციენტები;

b_{ii} - კვადრატული ეფექტების ამსახველი კოეფიციენტები;

x_i - გამოსაკვლევი ფაქტორები;

k - ფაქტორების რიცხვი.

ცხრილი 5

მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის
მატრიცა და ცდების შედეგები

რიგზე	რეალი- ზაციის	X_1				ექსტრაქტული ნივთიერებები \mathcal{M} , გრ/კგ	ანტიოქსიდან- ტურობა [მგ/ ებ]
1	11	-1	-1	-1	-1	375	5,9
2	3	1	-1	-1	-1	390	5,8
3	21	-1	1	-1	-1	415	6,5
4	9	1	1	-1	-1	415	6,2
5	10	-1	-1	1	-1	390	5,9
6	1	1	-1	1	-1	405	5,7
7	18	-1	1	1	-1	420	6,5
8	7	1	1	1	-1	430	6,4
9	24	-1	-1	-1	1	405	7,9
10	2	1	-1	-1	1	430	7,7
11	13	-1	1	-1	1	430	8,5
12	20	1	1	-1	1	455	8,2
13	4	-1	-1	1	1	430	7,9
14	6	1	-1	1	1	455	7,7
15	14	-1	1	1	1	445	8,5
16	16	1	1	1	1	470	8,19
17	5	-2	0	0	0	400	7,49
18	12	2	0	0	0	450	7,74
19	8	0	-2	0	0	400	6,03
20	15	0	2	0	0	450	8,19
21	22	0	0	-2	0	400	5,49
22	23	0	0	2	0	440	5,67
23	17	0	0	0	-2	410	5,85
24	19	0	0	0	2	450	9,90
25	25	0	0	0	0	430	7,88
26	26	0	0	0	0	435	7,82
27	27	0	0	0	0	435	7,82
28	28	0	0	0	0	425	7,89
29	29	0	0	0	0	435	7,92
30	30	0	0	0	0	425	7,92
31	31	0	0	0	0	430	7,91

სისტემატური და შემთხვევითი ცდომილებების ნიველირებისათვის გამოვიყენეთ რანდომიზაციის მეთოდი. ცდები ტარდებოდა შემთხვევითი

რიცხვების მიმდევრობით (ცხრ.5). ყველა ცდა ტარდებოდა ერთი და იგივე მეთოდით იდენტურ პირობებში.

ექსპერიმენტის დაგეგმვის შერჩეული მატრიცის რეალიზაციამ არაარსებითი ეფექტების გამორიცხვის შემდეგ საშუალება მოგვცა საბოლოოდ მოცვის წინასწარ სხვადასხვა მეთოდით დამუშავებული ნაყოფის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური პროცესი წარმოგვედგინა შემდეგი სახის ადეკვატური რეგრესიის განტოლებებით კოდირებულ მასშტაბში:

$$AOA = 7,9 - 0,06X_1 + 0,07X_2 + 0,02 X_3 + 1,0 X_4 - 0,2X_1X_2 - 0,08X_1^2 - 0,2 X_2^2 - 0,6X_3^2, \quad (45)$$

სნიმუში/სეტალონი;

$$\Xi = 431 + 10X_1 + 12,5X_2 + 6,3X_3 + 16,5X_4 - 2,5X_1 X_2 - 2X_3^2, \quad \text{გრ/კგ} . \quad (46)$$

(45) და (46) განტოლებების კოეფიციენტების არსებითობა შევამოწმეთ სტიუდენტის კრიტერიუმით, ხოლო მოდელების ადეკვატურობა – ფიშერის კრიტერიუმით. სტატისტიკური ანალიზის შედეგები 0,95 ალბათობისათვის გვიჩვენებენ განტოლებების ადეკვატურობასა და ვარგისიანობას ნაშრომში დასახული მიზნის რეალიზაციისათვის (ცხრ.6).

(45) და (46) რეგრესიის განტოლებებში ფაქტორების კოდირებული მნიშვნელობებიდან ნატურალურ მნიშვნელობებზე გადასვლას ექსპერიმენტის პირობების გათვალისწინებით ვაწარმოებდით შემდეგი ფორმულებით:

$$X_1 = (t - 10)/10; \quad X_2 = (T - 180)/20; \quad X_3 = n_m - 10. \quad (47)$$

X4-სათვის ვითვალისწინებდით პ.2.8.4-ში მოცემულ განმარტებებს.

ცხრილი 6

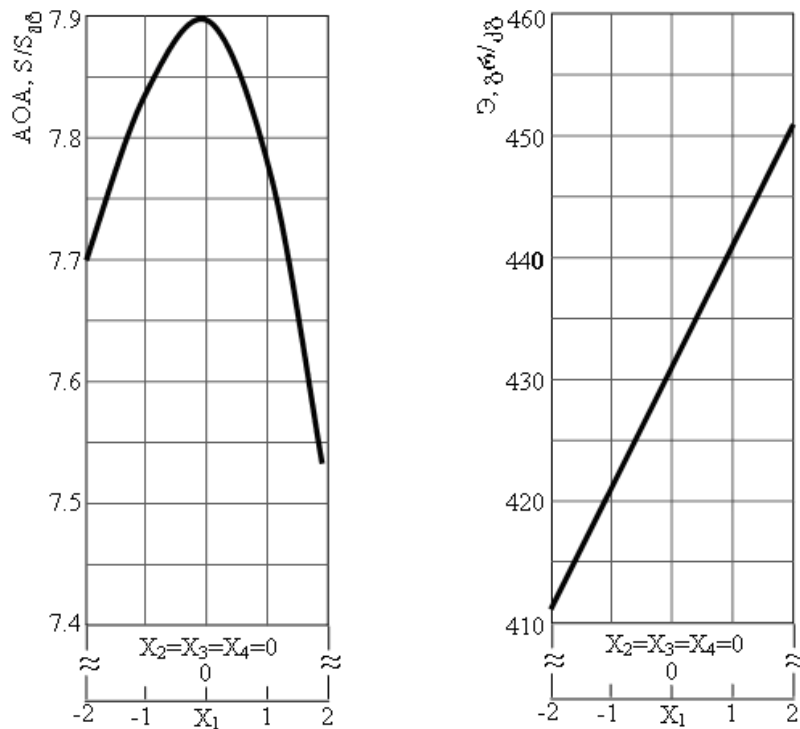
რეგრესიის განტოლებების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები

მახასიათებლები	f_1	f_2	S_y^2	$F_{\text{ცაავ}}$	$F_{\text{კრუმ}}$	$t_{31;0,95}$	α
AOA, S/S _{ებ}	6	16	0,185	2,17	2,30	1,7	0,95
Ξ , კგ/ტ	6	13	20,25	3,62	4,00	1,7	0,95

ამრიგად, მიღებული ადეკვატური მათემატიკური მოდელები (45) და (46) გვაძლევენ თხევადი ექსტრაქტის ტექნოლოგიური რეჟიმების ანალიზისა და კონტროლის საშუალებას ყოველ კონკრეტულ საწარმოო სიტუაციაში.

აღნიშნული მათემატიკური მოდელების ერთობლივი კვლევები მოცემულია ნახ.34 – ნახ.37. მათი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყველა განხილული ფაქტორი მნიშვნელოვნად მოქმედებს ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე. განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

- ექსტრაქციის ტემპერატურის გავლენა ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე გრაფიკულად გამოსახულია ნახ.34-ზე, როდესაც დანარჩენი ფაქტორები ფიქსირებული არიან ძირითად დონეებზე. ანტიოქსიდანტური აქტიურობის ცვალებადობას აქვს პარაბოლური ხასიათი მკვეთრად გამოსატული ექსტრემუმით $X_1=0$ -ის ახლოს. პირობით ოპტიმალური ტემპერატურაც ამ მაქსიმუმის ახლოს უნდა ვეძებოთ 70-75 °C ტემპერატურისაკენ;



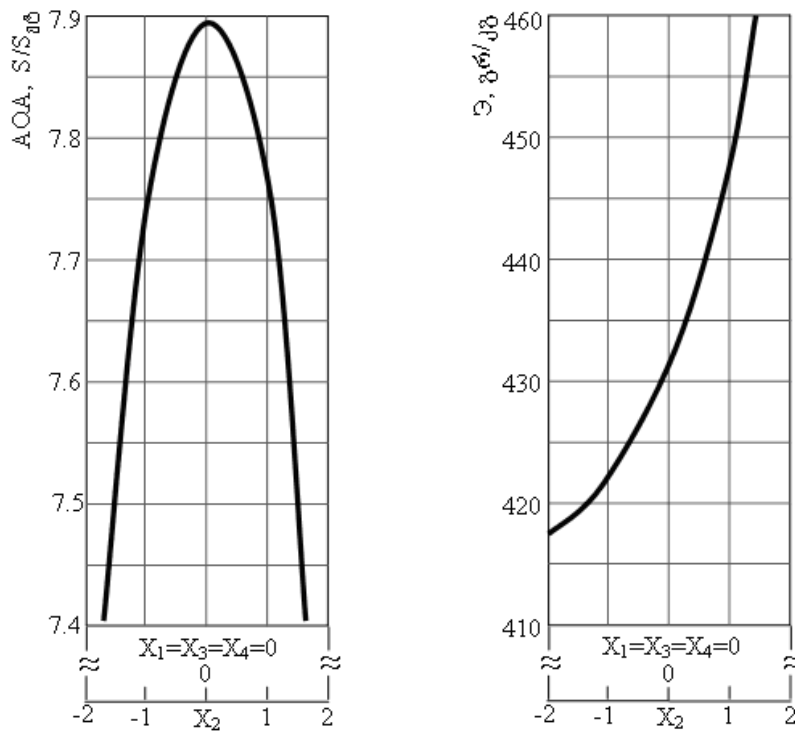
ნახ.34. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოძახილების ერთობლივი კვლევები X_1 ფაქტორისათვის (ექსტრაქციის ტემპერატურა)

ექსტრაქციის ხანგრძლივობის გავლენა ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე გრაფიკულად გამოსახულია ნახ.35-ზე, როდესაც

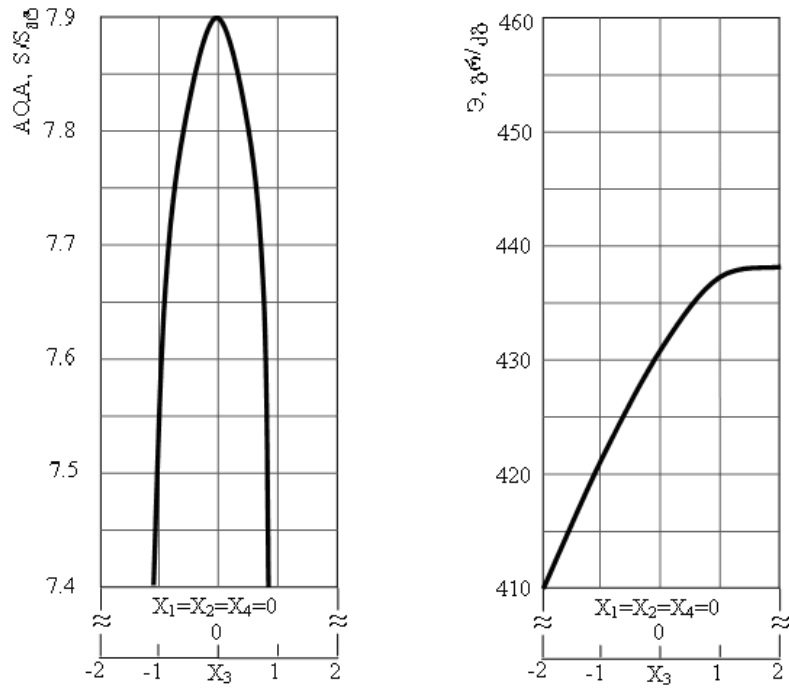
დანარჩენი ფაქტორები ფიქსირებული არიან ძირითად დონეებზე. ექსტრაქტული ნივთიერებების გამოსავლიანობას აქვს პარაბოლური ხასიათის ზრდის ტენდენცია, თუმცა მაქსიმუმი ექსპერიმენტის ფარგლებში არ ჩანს. რაც შეეხება ანტიოქსიდანტურ აქტიურობას, მის ცვალებადობას აქვს პარაბოლის ფორმა მაქსიმუმით, როდესაც $X_2 = 0$ -ის ახლოსაა. ექსტრაქციის ხანგრძლივობისათვის ოპტიმალური მნიშვნელობა 180-190 წთ-ის ინტერვალში უნდა ვეძებოთ.

-ექსტრაქციის პროცესში “ექსტრაგენტი/ნედლეული” თანაფარდობის გავლენა ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე ნაჩვენებია ნახ.36-ზე, როდესაც დანარჩენი ფაქტორები ფიქსირებული არიან ძირითად დონეებზე. ექსტრაქტული ნივთიერებების გამოსავლიანობას და ანტიოქსიდანტურ აქტიურობას აქვთ პარაბოლის სახე, მაქსიმუმებით, შესაბამისად სა და $X_3 = +1$ -ის შორის, ანუ 7-9 ლ/კგ დიაპაზონში;

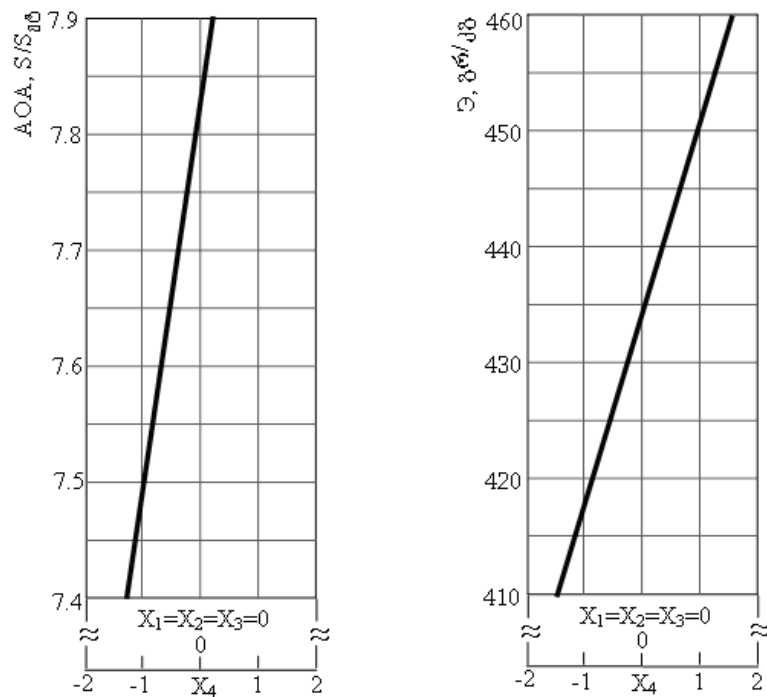
- მოცვის ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ხასიათს ცვლილებით (ნახ.37) პარამეტრები სწრაფად იცვლებიან საკმაოდ დიდ დიაპაზონში იგივე წესით, როგორც მოყვანილი გვაქვს პ.2.7.4-ში.



ნახ.35. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოძახილების ზედაპირები X_2 ფაქტორისათვის (ექსტრაქციის ხანგრძლივობა)



ნახ.36. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოძახილების ერთობიანი კვეთები X_3 ფაქტორისათვის (ექსტრაგენტი/ნედლეული)



ნახ.37. ოპტიმიზაციის პარამეტრების გამოძახილების ერთობიანი კვეთები X_4 ფაქტორისათვის (ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ხასიათი)

როგორც ვხედავთ, ექსპერიმენტის ზღვრებში ყველა განხილული ფაქტორი მნიშვნელოვნად მოქმედებს ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე.

ამასთან ცხადია, რომ მისწარაფება ერთდროულად, ნაკლები ენერგოდანახარჯებით მივიღოთ ექსტრაქტი მაქსიმალური ანტიოქსიდანტური აქტიურობითა და ექსტრაქტული ნივთიერებების მაქსიმალური გამოსავლიანობით, შეუძლებელია და საჭიროა კომპრომისული ამოცანის გადაწყვეტა.

2.7.8. მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის ოპტიმიზაცია

ვინაიდან დასახული მიზანია მივიღოთ მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი ანტიოქსიდანტური აქტიურობით საჭიროა ჩატარდეს პროცესის ოპტიმიზაცია. ექსტრაქტული ნივთიერებების გამოსავლიანობას განვიხილავთ როგორც შეზღუდვას. მას ვანიჭებთ გარკვეულ, ექსპერიმენტიდან გამომდინარე, ფიქსირებულ მნიშვნელობებს. ეს მნიშვნელობა ავიღეთ (44) რეგრესიის განტოლებებიდან ექსპერიმენტის ცენტრში. შესაბამისად, მოცვის ნაყოფიდან ექსტრაქტული ნივთიერებების გამოსავლიანობისათვის ვღებულობთ შეზღუდვას $\Theta = 431$ გრ/კგ.

აქედან გამომდინარე, ოპტიმიზაციის ამოცანა შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგნაირად: მივიღოთ მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტი მაქსიმალური ანტიოქსიდანტური აქტიურობით - $AOA \rightarrow$ მაქსიმუმი, შემდეგი შეზღუდვისათვის: $\Theta = 431$ გრ/კგ; $-2 \leq X_i \leq +2$, $i = 1, 2, 3, 4$.

ოპტიმიზაციის ამოცანის გადასაწყვეად გამოვიყენეთ მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემუმის ძიების კლასიკური მეთოდი - ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა მეთოდი, რისთვისაც შემოგვაქვს დამხმარე ფუნქცია Φ და პირობითი ექსტრემუმის ამოცანა დაგვყავს უპირობო (შეზღუდვების გარეშე) ამოცანამდე. აქ ხარისხობრივი ფაქტორის (X_4) ოპტიმიზაციის ამოცანაში შეტანას აზრი არა აქვს და ვიღებთ მის ფიქსირებულ მნიშვნელობას ($X_4 = -2$). გვაქვს

$$\Phi(X_i, \lambda_1) = AOA(X_i) + \lambda_1 [\Theta(X_i) - 431], \quad (48)$$

სადაც λ_1 და λ_2 - ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლებია და გამოდიან ცვლადების როლში X_i ცვლადების თანაბრად.

მიზნობრივი ფუნქციის (48) კერძო წარმოებულების მოძებნით ყველა ცვლადისათვის და ნულისათვის გატოლებით ვღებულობთ განტოლებათა სისტემას:

$$\partial\phi/\partial x_i = 0; \quad \partial\phi/\partial \lambda_i = 0; \quad (49)$$

ამ სისტემის მრავალრიცხოვანი ამონახსნიდან ექსპერიმენტის პირობებს და მიღებულ შეზღუდვებს აკმაყოფილებს შემდეგი ოპტიმალური ამონახსნი:

- ექსტრაქციის ტემპერატურა $X_1 = 0,5$; ან ნატურალურ მასშტაბში

ექსტრაქციის ხანგრძლივობა $X_2 = 0$; ან ნატურალურ მასშტაბში

წთ

- “ექსტრაგენტი/ნედლეული” ფარდობა $X_3 = 0,5$; ან ნატურალურ მასშტაბში $n_m = 10,5$ ლ/კგ.

ფაქტორების აღნიშნული მნიშვნელობებისათვის, ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებს ნედლეულის წინასწარი დამუშავების კატეგორიების მიხედვით აქვთ ცხრ.7-ში მოყვანილი მნიშვნელობები.

დანართი 2-ის ნახ.დ.1-ნახ.დ.4-ზე მოცემულია ოპტიმალურ რეჟიმზე სხვადასხვა ვარიანტით წინასწარ დამუშავებული მოცვის ნაყოფიდან მიღებული ექსტრაქტების ოთხ-ოთხი მიმდევრობითი აღწარმოებების დიაგრამები. საშუალო კვადრატული გადახრები არ აღემატება 3,5%-ს.

როგორც ვხედავთ, ვარიანტიდან ვარიანტამდე იზრდება დენის ძალა ამპერომეტრული დეტექტორის მუშა ელექტროდზე 390...395 ნა-დან (ნახ.დ.1) 900...910 ნა-მდე (ნახ.დ.4). შესაბამისად, იზრდება ექსტრაქციის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა 5,9-დან (V ვარიანტი), 9,9-მდე (II ვარიანტი). გაანგარიშება მოხდა დიფერენციალური გამომავალი მრუდების სიმაღლეთა პიკებით ან ფართობებით. ამ უკანასკნელთა გამოთვლას ვაწარმოებდით სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფით ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნელისა და კომპიუტერის გამოყენებით.

ამრიგად, ექსპერიმენტის რეალიზაციამ საშუალება მოგვცა დაგვემუშავებინა მოცვის ნაყოფის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური პროცესის მახასიათებელი ადეკვატური მათემატიკური მოდელები, გადაგვეწყვიტა ოპტიმიზაციის კომპრომისული ამოცანა და მიგველო

პროცესებზე მოქმედი ფაქტორებისა და ოპტიმიზაციის კრიტერიუმების ოპტიმალური მნიშვნელობები.

ცხრილი 7

ოპტიმიზაციის პარამეტრების მნიშვნელობები ფაქტორების ოპტიმალურ მნიშვნელობებზე მოცვის ნაყოფის წინასწარი დამუშავების კატეგორიების მიხედვით

წინასწარი დამუშავების კატეგორიები	AOA, S/S _გ	ჟ, გრ/კგ
I- ნედლი მოცვის მასა დისპერგირებული 1-2 მმ ფრაქციამდე, 10%-იან ტენიანობაზე გადაანგარიშებით	9,9	461
II - 10 % ტენიანობამდე ვაკუუმში, 60°C-ზე გამშრალი, დისპერგირებული მოცვის მასა 1-2 მმ ფრაქციამდე	8,9	445
III- 10 % ტენიანობამდე 60 °C-ზე გამშრალი, დისპერგირებული მოცვის მასა 1-2 მმ ფრაქციამდე	7,9	429
IV- 10 % ტენიანობამდე 80 °C-ზე გამშრალი, დისპერგირებული მოცვის მასა 1-2 მმ ფრაქციამდე	6,9	413
V - 10 % ტენიანობამდე 90-100 °C-ზე გამშრალი, დისპერგირებული მოცვის მასა 1-2 მმ ფრაქციამდე,	5,9	397

2.7.9. მოცვის ნაყოფის თხევადი ექსტრაქტის დაკონცენტრირება

სხვადასხვა ვარიანტით წინასწარ დამუშავებული მოცვის ნაყოფიდან ოპტიმალურ რეჟიმებზე მიღებული ექსტრაქტების კონცენტრაცია იცვლება 4,38 %-დან (I ვარიანტი) 3,78 %-მდე (V ვარიანტი), რაც საკმაოდ დაბალი მაჩვენებელია და ისინი საჭიროებენ დაკონცენტრირებას.

დაკონცენტრირების პროცესში ექსტრაგენტის გარკვეული ნაწილი გახურების შედეგად გადადის ორთქლისებურ მდგომარეობაში და გამოიყოფა თხევადი გარემოდან და თბომცვლელების გავლით რეკუპერირდება. ვინაიდან, გამხსნელის რაოდენობის შემცირებით

მშრალი ნივთიერებები (ექსტრაქტული ნივთიერებები) უცვლელი რჩება, ხსნარის კონცენტრაცია იზრდება გარკვეულ მნიშვნელობამდე.

ექსტრაქტში მოქმედი ნივთიერებების მაქსიმალურად შენარჩუნების მიზნით დაკონცენტრირებას აწარმოებენ არაუმეტეს 60-65°C ტემპერატურაზე ვაკუუმის პირობებში. ზოგ შემთხვევაში აორთქლებადაკონცენტრირება მიმდინარეობს უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, ზოგჯერ კი – უფრო მაღალზეც, მაგრამ არაუმეტეს 90°C –სა.

დაკონცენტრირების პროცესში ტემპერატურის გარდა მოქმედი ნივთიერებების დანაკარგებზე მოქმედებს აორთქლების პროცესი. ამ უკანასკნელის შემცირებას კი აღწევენ მძლავრი ამაორთქლებელი ვაკუუმ-აპარატებით.

ამრიგად, დასამზადებელი პროდუქტის ხარისხობრივი მახასიათებლების შესანარჩუნებლად უნდა განვიხილოთ ორი ფაქტორის მოქმედება: აორთქლების ტემპერატურის შემცირება და ამაორთქლებელი აპარატის სიმძლავრის გაზრდა. რომელ ფაქტორს მივანიჭოთ უპირატესობა განისაზღვრება ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ინდივიდუალურად. უმეტესწილად ამცირებენ აორთქლების ტემპერატურას, ვინაიდან ის დაკავშირებულია ნაკლებ დანახარჯებთან, ვიდრე მძლავრი ამაორთქლებელი დანადგარების გამოყენება.

მოცვის ნაყოფის თხევადი ექსტრაქტის დაკონცენტრირებას საწარმოო პირობებში ვაწარმოებდით ორკორპუსიან ”ლანგ“-ის ტიპის უნგრული წარმოების ვაკუუმ-ამაორთქლებელ აპარატში მწარმოებლობით 30 კგ 3%-იანი კონცენტრაციის ექსტრაქტი წუთში. ექსტრაქტის აორთქლების ტემპერატურა პირველ კორპუსში იყო 65°C, ხოლო მეორეში –50°C. აპარატიდან გამოსვლის შემდეგ ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაცია ექსტრაქტში შეადგენდა 34-36 %-ს. ამის შემდეგ, ტუმბოთი ექსტრაქტი გადაგვქონდა პერიოდული ქმედების ვაკუუმ-აპარატში და ვაკუუმის ქვეშ 60-65°C ტემპერატურაზე კონცენტრირდებოდა 55-60 %-მდე.

პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტის დაკონცენტრირების პროცესში ანტიოქსიდანტური აქტივობის ცვალებადობის ხასიათის დადგენა. საანგარიშო მონაცემები მოყვანილია ცხრ.8-ში.

დაკონცენტრირების პროცესში ანტიოქსიდანტური აქტივობის ცვალებადობის დინამიკა (3%-იან კონცენტრატზე გადაანგარიშებით),

ნომ/ ეტ

ანტიოქსიდანტური აქტივობა ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ვარიანტების მიხედვით	ექსტრაქტის კონცენტრაციის, %				
	4	30	40	50	60
V	6,1	5,7	5,5	5,4	5,3
IV	7,0	6,5	6,0	5,7	5,5
II	8,7	7,8	7,0	6,5	6,3
I	9,9	9,3	8,5	8,0	7,7

როგორც ვხედავთ, კონცენტრირების პროცესში ადგილი აქვს ანტიოქსიდანტური აქტივობის შემცირების ტენდენციას. ამასთან, რაც მეტია მოცვის ექსტრაქტის საწყისი ანტიოქსიდანტური აქტივობა, მით ინტენსიურად მიმდინარეობს ანტიოქსიდანტური აქტივობის დაცემა. ამასთან არის პირდაპირი კავშირი ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტურ აქტივობასა და ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ვარიანტებს შორის. აღნიშნული გარემოება, ჩვენი აზრით, განპირობებულია მოცვის ფენოლური ბუნებისა და სხვა ანტიოქსიდანტური ნაერთის დაშლით და ჟანგვით როგორც წინასწარი დამუშავებისას, ისე დაკონცენტრირების პროცესში.

როგორც წარმოდგენილი მასალებიდან ჩანს, მოცვის ნაყოფის ექსტრაქცია და ექსტრაქტის 50-60 %-მდე დაკონცენტრირება არ არის დაკავშირებული რაიმე სირთულესთან. დაკონცენტრირების პროცესში ხდება ნაწილობრივ წყლის ორთქლთან ერთად ეთანოლის სრული გამოხდა, რომელიც გამოიყენება შემდგომი ექსტრაქციებისათვის.

2.7.10. მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური თხევადი ექსტრაქტის ხარისხის კონტროლის მეთოდის დამუშავება

მოცვის ნაყოფი, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სხვადასხვა რაოდენობით და სხვადასხვა ბიოლოგიური აქტიურობის რამოდენიმე ანტოციანს და ფლავენოიდს შეიცავს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია ვიმსჯელოთ არა

ცალკეულ შემადგენელ აქტიურ კომპონენტზე, არამედ მთლიანად მათ კომპლექსზე და მის ბიოლოგიურ აქტიურობაზე.

მოცვის თხევადი ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური თვისებები მნიშვნელოვანია არა მარტო ორგანოებსა და ორგანიზმის სისტემებზე პოზიტიური მოქმედებით, არამედ საკვები პროდუქტების ჟანგვითი პროცესების შესანელებლად ან თავიდან ასაცილებლად და სხვა სამკურნალწამლო პრეპერატების სტაბილიზაციისათვის.

მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ ხარისხის კონტროლს დაექვემდებაროს მოცვის თხევადი ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის საერთო მნიშვნელობის განსაზღვრა. ამისათვის ვიყენებდით ამპერომეტრულ მეთოდს, რომელიც აღწერილია წინა პარაგრაფებში.

მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრატის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის განსაზღვრის მეთოდის შემდეგია:

ეტალონად ვიღებთ კვერცვტინის 3%-იანი წყალხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობას. გამოსაკვლევი ხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა განისაზღვრება მიმდევრობით 5 დოზირების საშუალო არითმეტიკულით. მაგალითი მოცემულია ნახ. 33-ზე. მოცემული მაგალითის მიხედვით გამოსაკვლევი ხსნარის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა შეადგენს საშუალოდ 6,45 ერთეულს.

ანალიზი ტარდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

- 1 მლ თხევად ექსტრაქტს (50%-იანი ექსტრაქტი) ვაზავებთ 1500 მლ გასუფთავებულ წყალში უშუალოდ ანალიზის წინ. პარალელურად ვამზადებთ კვერცვტინის 3%-იან წყალხსნარს;

- "ცვეტიაუზა -01 აა" ხელსაწყოზე ვსაზღვრავთ მიმდევრობით ხუთი დოზირების აღმწარმოებლობით (ჟანგვის დენის სიდიდით) როგორც საცდელი პრეპარატის, ისე ეტალონის სიგნალების სიდიდეს (ნახ.33);

- გამოსაკვლევი ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტიურობას კვერცვტინთან შედარებით გამოვითვლოთ როგორც

$$AOA = S_{\text{ექსტრაქტი}}/S_{\text{ეტალონი}},$$

რომლებიც აიღება მიმდევრობით ხუთი დოზირების სიგნალების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობებით.

მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრატის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის (კვერცვტინთან მიმართებაში) მეტროლოგიური

მახასიათებლები მოყვანილია ცხრ.9-ში.

ცხრილი 9

მოცვის ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის მეტროლოგია
(ნედლეულის წინასწარი გადამუშავების II ვარიანტისთვის)

№	ანტიოქსიდანტური აქტიურობა, $AOA = S_{ნიმუშ}/S_{ტალ}$.		
	$X \pm \Delta X$	S	$\varepsilon, \%$
1	6,12±0,33	2,11	4,71
2	6,71±0,42	3,06	4,80
3	6,54±0,28	2,64	3,97
4	6,63±0,47	2,95	4,32

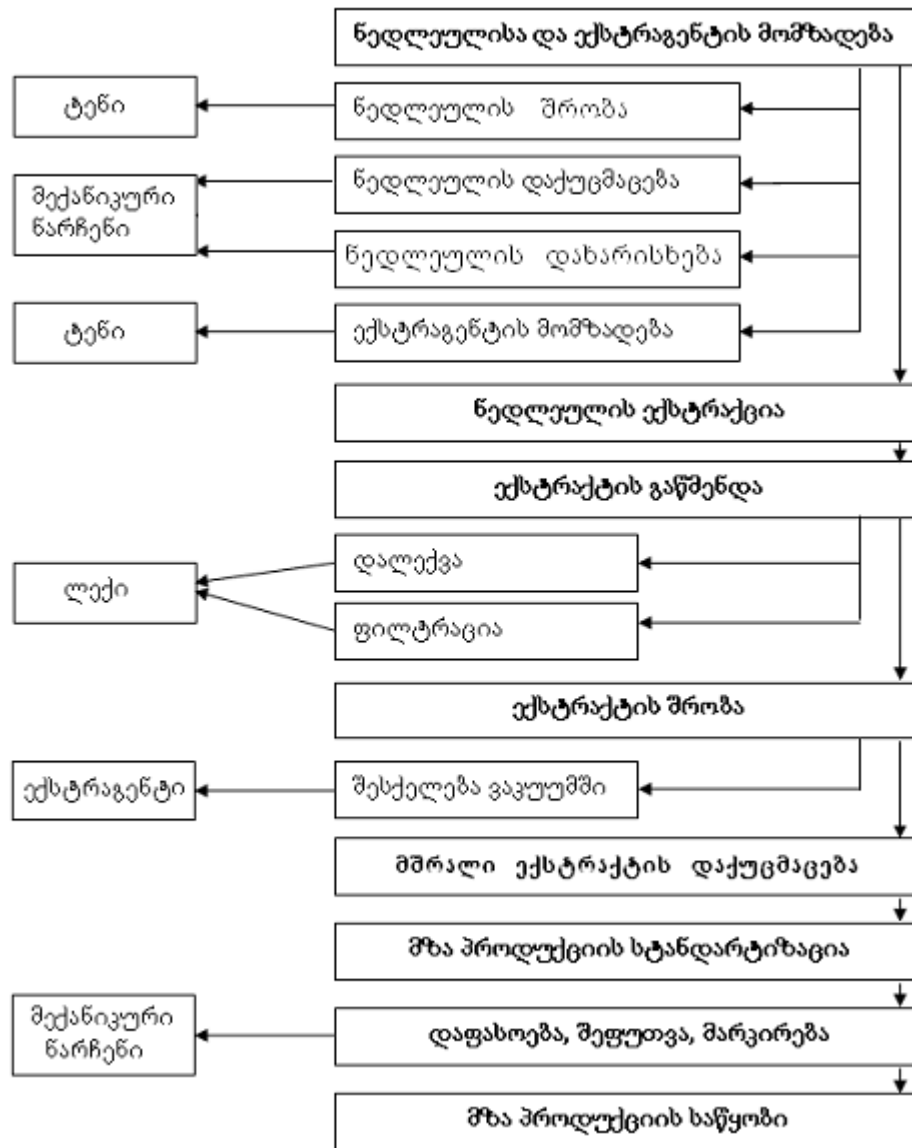
ამრიგად, მოცვის ნაყოფის თხევადი ექსტრაქტი წარმოადგენს ძლიერ ანტიოქსიდანტს, რომლის აქტიურობა კვერცეტინთან შედარებით 6-ჯერ მეტია (სხვა თანაბარ პირობებში). განსაზღვრის მეთოდი მარტივია, მიმდინარეობს რეალურ დროში - სულ 2-3 წთ.

2.7.11. მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა და აპარატურული გაფორმება

მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესების სქემა ნაჩვენებია ნახ.38-ზე, რომლის დამუშავების დროს ნაწილობრივ ვიხელმძღვანელებთ [9] ნაშრომის მონაცემების მიხედვით; ნახ.39-ზე მოცემულია მცენარეული ნედლეულის თხევადი და მშრალი ექსტრაქტების წარმოების აპარატურული გაფორმების შესაძლო ვარიანტი, ხოლო ნახ.40-ზე წარმოდგენილია მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ-სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი, სადაც ჩატარდა პროგრამით გათვალისწინებული ექსპერიმენტული კვლევები (ქუთაისი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სამეცნიერო ცენტრი).

საამქროს სანიტარული დამუშავების შემდეგ ახალი ნედლეული მიეწოდება დოლური ტიპის საშრობში 1 (ნახ.39), რომლის შიგა ზედაპირზე გაკეთებულია ხრახნული ხვები მასალის გრძივი გადაადგილებისათვის. დოლის ცენტრალურ ნაწილში, მთელ სიგრძეზე,

სექციურად დამონტაჟებულია ელექტრული გამახურებელი ელემენტები. შრობის ტემპერატურის რეგულირება ხდება ელექტრულ ქსელში სექციების თანმიმდევრული ჩართვა-გამორთვით.



ნახ.38. მოცვის ნაყოფის თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

ნედლეულის წინასწარი დამუშავების ვარიანტის შერჩევა ხდება ყოველი კონკრეტული საწარმოო სიტუაციისათვის ინდივიდუალურად, როგორც ეკონომიკური და საწარმო მიზანშეწონილობიდან, ისე ნედლეულის ხელმისაწვდომობიდან გამომდინარე.

გამშრალი ნედლეულის დაქუცმაცებისათვის სქემაში გათვალისწინებულია ორი სახის დამქუცმაცებელი. კენკროვანი ნაყოფის დაქუცმაცება წარმოებს АГО-2 ტიპის პლანეტარული წისქვილ-

აქტივატორით 2, ხოლო დეროვან-ფოთლოვანი ნედლეულისათვის გამოიყენება ლილვაკებიანი დამქუცმაცებელი 3, რომლის ერთი ლილვაკი შესრულებულია გრძივი და განივი მტეხი რიფებით, ხოლო მეორე ლილვაკის ზედაპირი ელასტიკურია (მორეზინებული). ასეთი კონსტრუქცია უზრუნველყოფს მშრალი, მყიფე დეროვან-ფოთლოვანი ნედლეულის რბილ რეჟიმში დაქუცმაცებას, რაც გულისხმობს ნაწილაკების მსხვრევას მტერის მინიმალურად წარმოქმნის გარეშე.

დაქუცმაცებული ნედლეულის დახარისხება ხდება ბრტყელბადიან ვიბრაციულ დამხარისხებელზე 4. ბადეში გასული ფრაქციები იგზავნება შესანახად ბუნკერებში 5, ხოლო ბადიდან გადასული ფრაქცია მიეწოდება განმეორებით დაქუცმაცებაზე. დახარისხების შედეგად ვლებულობთ თანაბარი ზომითი შემადგენლობის ერთგვაროვან ფრაქციებს, რაც მნიშვნელოვანია ექსტრაქციის პროცესის თანაბარ პირობებში მიმდინარეობისათვის.

მომზადებული ნედლეული ბუნკერებიდან დოზირებულად, დადგენილი რეცეპტურით გადადის საექსტრაქციო აპარატში 6. აქვე მიღყევიდან 7 მიეწოდება ექსტრაგენტი (40 %-იან ეთანოლი, რომელიც შემჟავებულია 1 %-იანი მარილმჟავათი). ექსტრაქციის პროცესში წარმოქმნილი ორთქლი გაივლის თბომცველში და მიღებული კონდენსატი გამოიყენება ახალი ექსტრაგენტის მოსამზადებლად. ექსტრაქცია მიმდინარეობს 65°C ტემპერატურაზე 180 წუთის განმავლობაში, როცა თანაფარდობა ექსტრაგენტსა და დისპერგირებულ ნედლეულს შორის 10,5 ლ/კგ-ის ტოლია. ექსტრაქციის პროცესში ყოველ 10 წუთში სრულდება მასალის 1 სრული ცირკულაციის ციკლი აპარატში, 5 წთ-იანი ინტერვალით.

ექსტრაქციის დამთავრების შემდეგ ექსტრაქტი ჩაედინება ფილტრში 8, აქედან კი – დამყოვნებლებში 9. ფილტრაცია ხდება ორ ეტაპად. ჯერ ხდება ფილტრაცია ღვინის ფენოვან ფილტრებში 8, ხოლო შემდეგ მისი გადატანა სატუმბი მოწყობილობით ფილტრ-დამყოვნებლებში 2-3 საათის განმავლობაში, რის შემდეგაც წარმოებს ექსტრაქტიდან ნარჩენების მოცილება.

ექსტრაქტის კონცენტრირება წარმოებს ორ ეტაპად: ჯერ ორკორპუსიან “ლანგ“-ის ტიპის ვაკუუმ-ამაორთქლებელ აპარატში 10

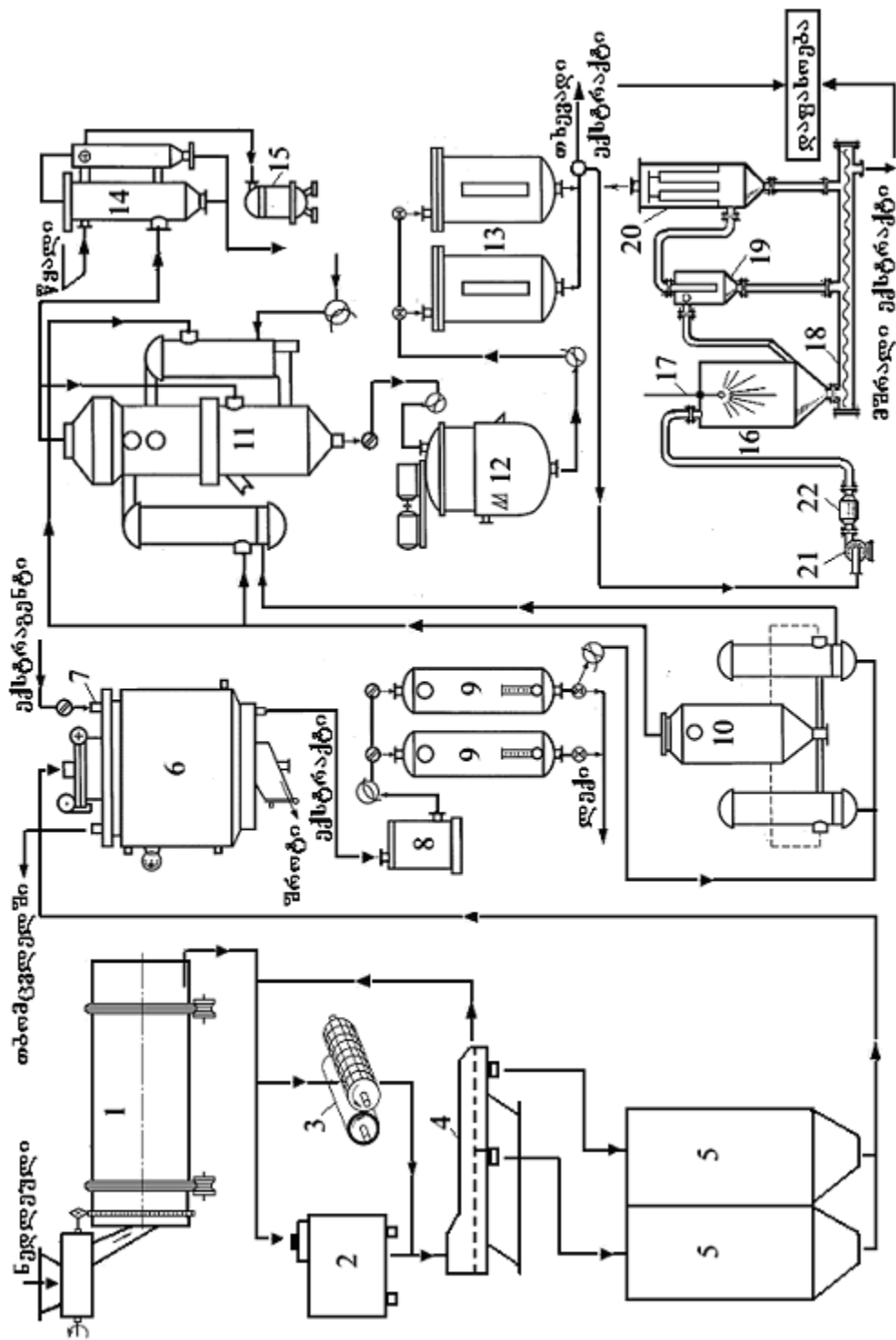
საშუალოდ 30 % კონცენტრაციამდე, შემდეგ მეორე საფეხურის ვაკუუმ-ამორთქლებელში 11 და ბოლოს – ამრევიან პერიოდული ქმედების ვაკუუმ-ამორთქლებელ აპარატში 12, სადაც ექსტრაქტი კონცენტრირდება 50-60 %-მდე, ორივე შემთხვევაში დაკონცენტრირების ტემპერატურა 60-70⁰C –ს არ აღემატება. კონცენტრირებული ექსტრაქტი იკრიბება რეზერვუარებში 13. კონცენტრირების პროცესში წარმოქმნილი ორთქლი კონდენსირდება თბომცვლელში 14, კონდენსატი კი ჩაედინება შემკრებში 15.

მშრალი ექსტრაქტის წარმოებისათვის გათვალისწინებულია თხევადი ექსტრაქტის შრობა. ამისათვის კონცენტრირებულ ექსტრაქტს რეზერვუარებიდან 13 აწვდიან გამფრქვევ საშრობში, რომელიც შედგება: საშრობი კამერისაგან 16, გამფრქვევისაგან 17, მშრალი ექსტრაქტის გამომტანი შნეკური ტრანსპორტიორისაგან 18, ციკლონისაგან 19, სახელოიანი ფილტრისაგან 20 წატაცებული ნაწილაკების დასაჭერად, ვენტილატორისაგან 21 და კალორიფერისაგან 22. საბოლოო ოპერაციაა მზა პროდუქციის დაფასოება.

წარმოდგენილ აპარატურულ სქემაში შემავალი დოლური ტიპის საშრობი დანადგარის 1 და ლილვაკებიანი დაქუცმაცებლის 3 კონსტრუქცია დამუშავებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტში” პროფესორ ზ.ჯაფარიძის თანაავტორობით.

კონცენტრირებული თხევადი ექსტრაქტი გადაიტუმბება ემალირებულ ავზებში 6, საიდანაც ხდება ნიმუშის აღება და ხარისხის კონტროლი (სტანდარტიზაცია).

წარმოების ძირითადი ნარჩენია ექსტრაქტების შემდეგ დარჩენილი მოცვის ნაყოფის ჩენხო, რომელიც გამოიტვირთება ექსტრაქტორიდან და შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი მიკროელემენტების კონცენტრატების საწარმოებლად ან სასუქად სოფლის მეურნეობაში. წარმოების ნარჩენს განეკუთვნება ასევე ექსტრაქტის ფილტრაციის შედეგად დარჩენილი ლექი, რომელიც გამოიყენება ანალოგიური დანიშნულებით.



ნახ.39. მცენარეული ნედლეულის თხევადი და მზრალი ექტრაქტის წარმოების აპარატურული სქემა



ნახ.40. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ- სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი

ამრიგად, დამუშავდა ქართული მთის მოცვის (*Vaccinium Murtillus*) ნაყოფის (*Fructus Murtilli*) ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების შემცველი თხევადი კონცენტრირებული და მშრალი ექსტრაქტების წარმოების რაციონალური ტექნოლოგიური სქემა და პროდუქტის ხარისხის ნორმები.

ფართო სპექტრის სამკურნალო-პროფილაქტიკური, მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტიურობის ახალი საშუალება მოწოდებულია გააუმჯობესოს ადამიანის ორგანიზმის ფუნქციონალური მდგომარეობა და გარკვეულ წილად წარმოადგენს ჯანმრთელობის დაცვის სოციალურ შეკვეთას.

2.7.12. ექსტრაქტორის რეკომენდებული ტექნიკური მახასიათებლები

ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა ჩვენს მიერ დამუშავებული ექსტრაქტორის (ნახ.17) ოპტიმალური ტექნიკური მახასიათებლები.

- ცილინდრული ჭურჭლის მოცულობა – 0,5 მ³;
- ჭურჭლის ზომები: დიამეტრი – 0,8 მ; სიმაღლე – 1,0 მ;
- შევსების კოეფიციენტი – 0,8;

- მწარმოებლობა საწყისი ნედლეულის მიხედვით მყარი და თხევადი ფაზების 1:10 ფარდობის დროს – 12 კგ/სთ;
- ცენტრიდანული ტუმბო (Pedrollo CP– Italy): მწარმოებლობა – 160 ლ/წთ; დაჭირხნის სიმაღლე – 58 მ; ძრავას სიმძლავრე – 1,5 კვტ.
- დახრილფრთებიანი მომრევი როტორის ბრუნვის სიხშირე – 20 ბრ/წთ, რევერსიული ძრავას სიმძლავრე – 0,6 კვტ.
- ექვტორის შემწოვი მილის სიმაღლე – 0,7 მ; დიამეტრი – 50-60 მმ;
- ექვტორის შემრევი მილის სიგრძე – 0,35 მ; დიამეტრი – 50-60 მმ;
- საქშენის გამოსასვლელი ხვრელის დიამეტრი – 20 მმ;
- თხევადი ფაზის ცირკულაციური ხარჯი – 3,7 მ³/სთ;
- ინექციის კოეფიციენტი – 0,7.
- მუშა წნევა – 0,57 მპა, წნევის ვარდნა ექვტორში – 0,035 მპა,
- ინექციის წნევა - $P_o = P_g - \Delta P_g - P_{\text{ბოღ}} = 0,57 - 0,035 - 0,006867 = 0,528$ მპა;
- ხვედრითი ენერგოდანახარჯები – 0,67 კვტ/კგ ნედლეულზე.

3. დასკვნა

1. დამუშავებულია ორიგინალური კონსტრუქციის მცენარეული ნედლეულის საექსტრაქციო აპარატი, რომელშიც პროცესის ინტენსიფიკაცია და მაღალი ტექნოლოგიური ეფექტი მიღწეულია თხევადი და მყარი ფაზების ნარევის ინჟექციური ცირკულაციის მეთოდით.

2. აპარატში მიმდინარე ჰიდრო-დინამიკური პროცესის კვლევის საფუძველზე მიღებულია განტოლებები, რომლებიც ამყარებენ დამოკიდებულებას აპარატის მთავარ კვთებში წნევათა ფარდობით ვარდნას, ფართობებს, სიჩქარეთა და ინჟექციის კოეფიციენტებს შორის, აგრეთვე აპარატის მთავარი კვთების ფართობების ოპტიმალური ფარდობის დამოკიდებულებას სხვა ძირითად ფაქტორებთან.

3. გაანალიზებულია თხევადი და მყარი ფაზების ნარევის მოძრაობის კანონზომიერებები ინჟექტორის შემწვავ და შემრევე მილებში, ცვლადი წნევების და სიჩქარეებისაგან დამოკიდებულებით. მიღებულია ნარევის ნაკადზე გადაცემული დამატებითი ენერგეტიკული ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებები.

4. ჩატარებულია მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიის, როგორც სტოქასტიკური პროცესების, ალბათური შეფასება და განისაზღვრა ამ პროცესების მიმდინარეობის ძირითადი კანონზომიერებები, რომლებიც აღწერილია მათემატიკური მოდელებით.

5. შედგენილია მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის კინეტიკური პროცესის მათემატიკური მოდელი. მიღებულია ამ პროცესის განმსაზღვრელი კონსტანტას ექსპონენციალური განტოლება. მოცვის ნაყოფიდან ფენოლური ნაერთების გამოყოფის მაგალითზე, წინასწარი ექსპერიმენტული კვლევებით მიღებულია მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავლიანობის დამოკიდებულება ძირითად ფაქტორებზე და დადგენილია ემპირიული კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები.

6. დადგენილია მიზნობრივი პროდუქტის წონასწორულ კონცენტრაციამდე გამოყოფის კინეტიკა და მისი დამოკიდებულება ექსტრაგენტის ტემპერატურაზე, ექსტრაგენტის ცირკულაციური

ციკლების სისწორეზე, ექსტრაგენტის კონცენტრაციაზე და მყარი და თხევადი ფაზების მოცულობითი მასების ფარდობაზე.

7. დადგენილია, რომ ფაზური, წონასწორული კონცენტრაციის დამყარება ფაქტორების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის ცირკულაციური ეფექტის გარეშე ხდება დაახლოებით 11-12 სთ-ში.

8. დადგენილი და დასაბუთებულია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციების პროცესის ინტენსიფიკაცია თხევადი და მყარი ფაზების ნარევის ინჟექციური ცირკულაციის მეთოდით. ამ მეთოდის გამოყენებით ენერგეტიკული დანახარჯები არსებულ მეთოდებთან შედარებით მცირდება დაახლოებით 10%-ით, ხოლო ექსტრაგენტის ხარჯი – 15%-ით.

9. ლაბორატორიული კვლევებით განისაზღვრა ქართული მთის მოცვის ნაყოფის ქიმიური შემადგენლობა და დადგინდა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მაჩვენებლები. კერძოდ, ანალიზებმა აჩვენეს, რომ საქართველოში გავრცელებული მოცვის კენკრა შეიცავს, გაცილებით (1,4-1,5-ჯერ) მეტ ანტოციანიდებს, ვიდრე ლიტერატურული მონაცემებით ამერიკისა და ევროპის მრავალ ქვეყანაში გავრცელებული მოცვი.

10. ექსპერიმენტულ დანადგარზე მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვით მიღებულია რეგრესიის განტოლებები, რომლებითაც განისაზღვრა შეფასების კრიტერიუმების დამოკიდებულებები მოქმედ ცვლად ფაქტორებთან.

11. ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად მიღებულია პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების მნიშვნელობები: ექსტრაქციის ტემპერატურა- $65^{\circ}C$; ეკონომიკური მიზანშეწონილობიდან გამომდინარე ერთჯერადი ექსტრაქციის ხანგრძლივობა – 180 წთ; ფარდობა - “ექსტრაგენტი/ნედლეული” – 10,5 ლ/კგ. თხევადი ფაზის ცირკულაციური მწარმოებლობა 3,7 მ³/სთ.

12. დამუშავდა მოცვის ნაყოფის ბიოლოგიურად აქტიური თხევადი ექსტრაქტის ხარისხის კონტროლის მეთოდი და მიღებულია ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტიურობის მეტროლოგიური მახასიათებლები.

13. დამუშავდა მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური პროცესის რაციონალური აპარატურული გაფორმების სქემა.

14. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება დავადგინოთ, რომ ჩვენს მიერ დამუშავებული ექსტრაქტორის მწარმოებლობა 500 ლიტრი ტევადობის შემთხვევაში, საწყისი ნედლეულის მიხედვით მიხედვით შეადგენს დაახლოებით 12 კგ/სთ, ხოლო ექსტრაქტული ნივთიერებების გამოსავალი – 88%-ს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Терещук Л.В., Павлова С.С. Получение биологически ценных продуктов из плодов облепихи // ИВУЗ. Пищевая технология, № 1, 2000, стр. 46-48.
2. ვ.ბოლქვაძე, დ.აბულაძე. კონცენტრატები მოცვისა და მაცვლის ფოთლებიდან. “გამოყენებითი ქიმიის პრობლემები” შრომათა კრებული, INBN978-9941-0-1070-5. თბილისი, 2012, 192-193 გვ.
3. Блинова О.А. и др. Антоцианы травы фиалки // Фармация.-2002.- №4. –С.16-18.
4. Конобеева А.Б., Жбанова Е.В. Оценка биохимического состава ягод черники обыкновенной и некоторых сортов голубики высокой // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: тр.IV Междунар. симп. М.: 2001.-Т.3.- С.496-498.
5. Маршанова Л.М. Исследование состава и разработка биотехнологии получения биологически активных концентратов черники обыкновенной. Автореф. дис.биол.наук. Ставрополь, 2006.-27 с.
6. ა. კალანდია, ი.ჯავარიძე, მ.ვანიძე, გ.პაპუნძიძე. აჭარაში გავრცელებული მცენარე წყავის, მოცვის ნაყოფებისა და გადამუშავების პროდუქტების ანტიოქსიდანტური აქტივობა. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია “სუბტროპიკული ზონის აგრარული პრობლემები”, შრომათა კრებული. ბათუმი. 2006.- გვ.267-270.
7. მაღანია, ნ.ქავთარაძე, ქ.შალაშვილი და სხვა. საქართველოში მოზარდი ზოგიერთი მცენარის წინასწარი გამოკვლევა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობაზე. ი.ქუთათელაძის სახელობის ფარმაცოქიმიის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2009.-№1(17).-45-47.
8. ვ.ხვედელიძე, ნ.ხაზარაძე, თ.ღვინიაძე, ნ.ქარქაშაძე. რბილი სამკურნალო ფორმების წარმოებისათვის მცენარეული წარმოშობის ფარმაცოლოგიურად აქტიური კომპლექსების მიღების ტექნოლოგიური საფუძვლები. “ნოვაცია”, №9, 2011.- 52-57 გვ.
9. Молчанов М.В. Разработка технологии экстрактов и сиропа из плодов черники обыкновенной. Дис. канд. фарм. наук. – Пятигорск, 2008. – 153 с
10. Хведелидзе В.Г., Буцхрикидзе Б.А., Кипиани Л.Г. Экстракция биологически активных веществ из чайного шрота. Вестник академии С /X наук Грузии. №19, 2007.
11. Дудкин М.С., Данилова Е.И. Новые пищевые добавки. Материалы международного семинара “Экология человека: проблемы и состояние лечебно-профилактического питания”. Москва- Пятигорск, 1993, 52-53 с.

12. ვ.ხვედელიძე, ბ.ბუცხრიკიძე. მცენარეული ექსტრაქტების ტექნოლოგია. ქუთაისი: წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 2011.- 155 გვ.
13. ვ.ხვედელიძე. ქიმიურ-ფარმაცევტული წარმოების პროცესები, ტექნოლოგია და აპარატები. – ქუთაისი: მეცნიერება, 2009. -110 გვ.
14. ვ.ხვედელიძე, მ.ივანიშვილი, ნ.ყიფიანი. ექსტრაქციის მეთოდების გავლენა ჩაის ლიპიდების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ შედგენილობაზე//”მეცნიერება და ტექნოლოგიები”, №7(9), 2005. – 84-87 გვ.
15. ვ.ხვედელიძე, თ. გორდელაძე. ჩაის წყალხსნადი კონცენტრატების ტექნოლოგიური ხაზი და რეგლამენტი /”მეცნიერება და ტექნოლოგიები”, №4(6), 2004. – 111-115 გვ.
16. ვ.ხვედელიძე, თ.ღვინიაძე, ბ.ბუცხრიკიძე. ჩაის ლიპიდების ექსტრაქციის ოპტიმიზაცია/ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები. გამ. XI, 2004.- 38-45 გვ.
17. ნ.ცუცქირიძე. ჩაის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაცია / ”ინტელექტი”, №2(25), 2006.- 107-109 გვ.
18. მ.ვანიძე, ი.ჯაფარიძე, ა.კალანდია, ე.ქამადაძე. ადგილობრივ მცენარეულ ნედლეულში ფლავონოიდური გლიკოზიდების მაღალი წნევის სითხური ქრომატოგრაფიებით შესწავლა. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია “ინოვაციური ტექნოლოგიები და თანამედროვე მასალები”. ქუთაისი: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი,. 2010.- გვ.395-396.
19. ა. კალანდია, ი.ჯაფარიძე, მ.ვანიძე და სხვა. აჭარაში გავრცელებული კენკროვნების და მათგან წარმოებული პროდუქტების ანტიოქსიანური შემადგენლობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია “ინოვაციური ტექნოლოგიები და თანამედროვე მასალები”. ქუთაისი: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი,. 2008.- გვ.148.
20. ა. კალანდია, ი.ჯაფარიძე, მ.ვანიძე, გ.პაპუნიძე. აჭარაში გავრცელებული კენკროვნებისაგან ანტიოქსიდანტური პროდუქტების ტექნოლოგია. რესპუბლიკური სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია “გამოყენებითი ქიმიისა და ტექნოლოგიების მიღწევები”. ქუთაისი: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი,. 2009.- გვ.43-44.
21. Vanidze M., Kalandia A., Djapharidze I., Kamadadze E.. Investigation of the Local Vegetative Raw Materials and Production of Biologically Active Additives from Them Batumi-Spring – 2010.- P. 78.
22. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (система твердое тело – жидкость). – Л.: Химия, 1974. – 256 с.

23. Романков П. Г., Курочкина М. И. Экстрагирование из твердых материалов. - Ленинград: Химия, 1983. -211 с.
24. Кислухина О.В., Кюдулас И. Биотехнологические основы переработки растительного сырья. - Киев: Технология, 1997, -183 с.
25. Потапов А.Н., Коршиков Ю.А., Еремьев К.В., Горлов М.Д. Математическое описание процесса экстрагирования при различных топологиях движения материальных потоков. // Известия вузов. Пищевая технология. - 2005. - № 1. - С. 74 – 78.
26. Жиров В.М. Математическая модель процесса экстракции пектина из яблочных выжимок // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2005. - № 4. - С. 50 – 51.
27. Аношин Н.М. Теоретические основы массообменных процессов пищевых производств. М.: Пищ. Пром-сть, 1970.-576 с.
28. Кавецкий Г.Д. , Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии.-2-ое изд.,перераб. и доп. – М.: Колос, 2000.-551 с.
29. Гончаренко Г.К. Экстракция лекарственных веществ из растительного сырья/ Дисс. докт. техн. наук.- Харьков: ХПИ, 1971 –311 с..
30. Сорокопуд А.Ф., Помозова В.А., Мустафина А.С. Интенсификация экстрагирования плодово-ягодного сырья с использованием низкочастотного воздействия // Пищевая технология. 2002.№ 2,3. С.24-27.
31. Корниенко Т. С. Расчет процесса извлечения веществ из щепы дуба в колонном экстракторе с неподвижным слоем и рециркуляцией экстрагента. Воронезская государственная технологическая академия // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2005. - № 12. - С. 12 – 13.
32. Медведева В.И., Мандрыка Е.А. Пути повышения эффективности процесса экстрагирования биологически активных веществ в медицинской, микробиологической и пищевой промышленности. – М.: ВНИИСУЭИНТИ, 1989. – 50 с.
33. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. К.: Техника, 1976. – 144 с.
34. Тырсин Ю.А. и др. Лазерное излучение как способ интенсификации процесса экстракции пищевых красителей // Хранение и перераб. сельхозсырья.-2005. №7. – С.30-35.
35. Молчанов Г.И. Интенсивная обработка лекарственного сырья. М.: Медицина, 1981.-205 с.
36. Постолова М.А. и др. Дикорастущие плоды и ягоды для производства лечебно-профилактических напитков.Пиво и напитки.-1998.- №2. –С.72-74.

37. Тырсин Ю.А. и др. Совершенствование процесса экстракции антоцианов из растительного сырья путем воздействия микроволновым излучением. // Хранение и перераб. сельхозсырья.-2006. №5. –С.40-41.
38. ცხუციძე, მ.სილაგაძე, ე.ფრუიძე და სხვა. მცენარეული ნედლეულიდან ზემადალი სისშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაცია / საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები. თბილისი: “მეცნიერება”. 2006.-260-266 გვ.
39. ვხვედელიძე, მ.გრიგოლაშვილი. ექსტრაქტორი მცენარეული ფხვიერი მასალებისათვის // ”მეცნიერება და ტექნოლოგიები”, №10(12), 2005. – 119-122 გვ.
40. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергия, 1970. – 287 с.
41. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение, 1988.-256 с.
42. Вентцел.Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения – М.: Высшая школа, 2000.-480 с.
43. Бакин И.А. Математическое моделирование на основе стохастического подхода процесса смешивания дисперсных материалов: Монография/ И.А.Бакин-Кемерово: КемТИПП, 2008.-165 с.
44. Antioxidant Capacity as Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content Maturity, and Variety of Vaccinium Species /R.L.Prior. Food Chemistry.-1998.-Vol.46, №47.- P.2686-2693.
45. Expression of Genes Involved in Anthocyanin Biosynthesis in Relation to Anthocyanin, Proanthocyanidin and Flavonol Level During Bilberry Fruit Development /L.Jaakola. Plant Physiology - 2002.- Vol.130, №2. –P.729-739.
46. Hakkinen S.N. Content of Flavonols and Selected Phenolic Acids in Strawberries and Vaccinium Species: Influence of Cultivar, Cultivation Site and Technique / Food Res.Intern.-2000.-Vol.33, №6. –P.517-524.
47. Муравьева Д.А., и др. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармация.-1987.-Т.36, №5. –С.28-29.
48. Постолова М.А. и др. Дикорастущие плоды и ягоды для производства лечебно-профилактических напитков. Пиво и напитки.-1998.- №2. –С.72-74.
49. Тутельян В.А. и др. Флавоноиды: содержание в пищевых продуктах, уровень потребления, биодоступность // Вопр. питания.- 2004.-Т.73, №6. –С.43-48.

50. Spanos George A, Wrolstaa Rohald E. Influence of Processing and Storage on the Phenolic on of Ihesnpson Jeas Qraape Juice //J.Agf.And Food Chem. 1990 -P.1565-1571.
51. Дейнека В.И., Григорьев А.М. Определение антоцианов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии //Журн. Аналит. Химии.-2004.- Т.59, №3. –С.305-309.
52. Deineka V.I. Relative Analysis of de Chromatographic Retention of Cyanidin Glycosides // Rus.J. of Phisical Chamestry. -2004.- Vol.78, №5. –P.796-799.
53. Дейнека В.И. и др. Анализ компонентного антоцианов плодов и жирных кислот масел семян некоторых видов семейства «Rosaceae» методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Раст.ресурсы.-2005.-Т.41, №1.- С.91-98.
54. Пивоваров Ю.В. и др. Определение состава антоцианов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Пищ. пром-ость.- 2003. №9. – С.82-83.
55. Танчев С.С. Антоцианы в плодах и овощах. М.: Пищ. пром-ость, 1980.-304 с.
56. Guiwen W., Breen C., Breen P.. Activity of Phenylalanine Ammonia-Lyase and Concentrations of Anthocyanins and Phenolics in Developing Strawberry Fruit / J.Amer. Hort Sci.-1991.-Vol.116, №5.-P.865-869.
57. ვხვედელიძე, ბ.ბუცხრიკიძე. ქიმიურ-ტექნოლოგიური ექსპერიმენტის მათემატიკური უზრუნველყოფა. ქუთაისი: წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 2011.- 106 გვ.
58. ვხვედელიძე. ქიმიურ-ტექნოლოგიური ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია. - ქუთაისი: მეცნიერება, 2009. -72 გვ.
59. ვ. ხვედელიძე, ა.ბანცაძე, გ.გორგოძე, ნ.თომაძე. ნანოდისპერგირების როლი მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციის პროცესზე. ქ.ქუთაისი, აკ.წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. ნოვაცია – პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი №8, 2011. გვ. 115-118.
60. Хасанов В.В., Рыжова Г.Л., Мальцева Е.В. Методы исследования антиоксидантов. Химия растительного сырья. 2004. №3.-С.63-75.
- 61..Arnao M, Cano A., Hernandez- Ruiz J., Garcia-Canovas F., Acosta M.. Inhibition by L-Ascorbic Acid and Other Antioxidants of the 2,2-Azinobis Oxidation Catalyzed by Peroxidase: a New Approach for Determining Total Antioxidant Status of Foods //Analytikal Biochemistry, 1996. V.236.- P.255-261.
62. Tubaro F., Ghiselli A., Rapuzzi P., Maiorino M., Ursini F.. Analysis of Plasma Antioxidant Capacity by Competition Kinetics // Free Radicals in Biology and

Medicine. 1998. V.24.-P.1228-1234.

63..Krasovska A, Rosiak D., Czkapiak K., Lukaszewicz M.. Cemiluminescence Detection of Peroxyl Radicals and Comparison of Antioxidant Activity of Phenolic Compounds// Cuurrent Topies in Biophysics. 2000. V.24.- P.89-95.

64. Cao G., Slessio H., Cutler R.. Oxygen Radical Absorbency Capacity Assay For Antioxidants //Free Radicals In Biology And Medicine. 1993. V.3.№14.- P.303-311.

65. Yang X., Guo X.. Fe(II)-EDTA Chelate-Induced Aromatic Hydroxylation of Terephthalate as a New Method for the Evaluation of Hydroxyl Radical-Scavenging Ability // The Analyst.2001. №126.- P.928-932.

66. Labuda J., Buckova M., Heilerova L., Caniova-Ziakova A., Brandsteterova E., Mattusch J., Wennrich R.. Detection of Antioxidative Activity of Plant Extracts at the DNA-Modified Screen-Printed Electrode // Sensors. 2002.V.2.- P.1-10.

67. Pstova J., Zahalkova J.,Hrbac J, Simanek V., Bartek J.. Determination of Total Antioxidant Capacity in Plazma by Cyclis Voltammetry. Two Case Reports // Biomedical Pares. 2001. V.145.№2.- P.81-83.

68..Stephanson C, Stephanson A., Flanagan G.. Antioxidant Capability and Efficacy of Mega-H Silica Hydride, an Antioxidant Dietary Supplement, by in Vitro Celluar Analysis Using Photosensitization and Fluorescence Detection // Journal of Medicinal Food. 2002. №5.- P.9-16.

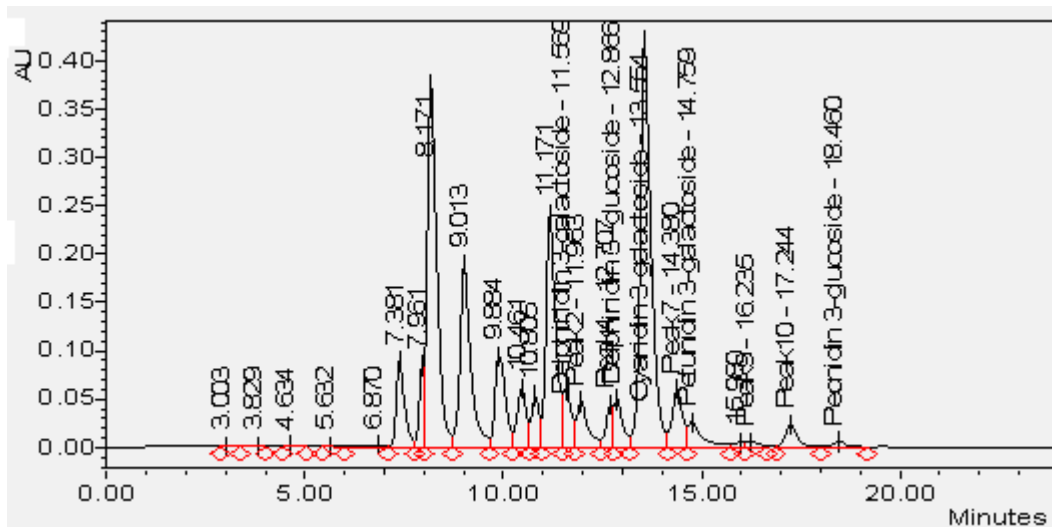
୧ ୨ ୬ ୨ ୫ ୦ ୦

დანართი 1

მოცვის ნაყოფის ექსტრაქტების ქიმიური ანალიზი ქრომატოგრაფირების მეთოდით

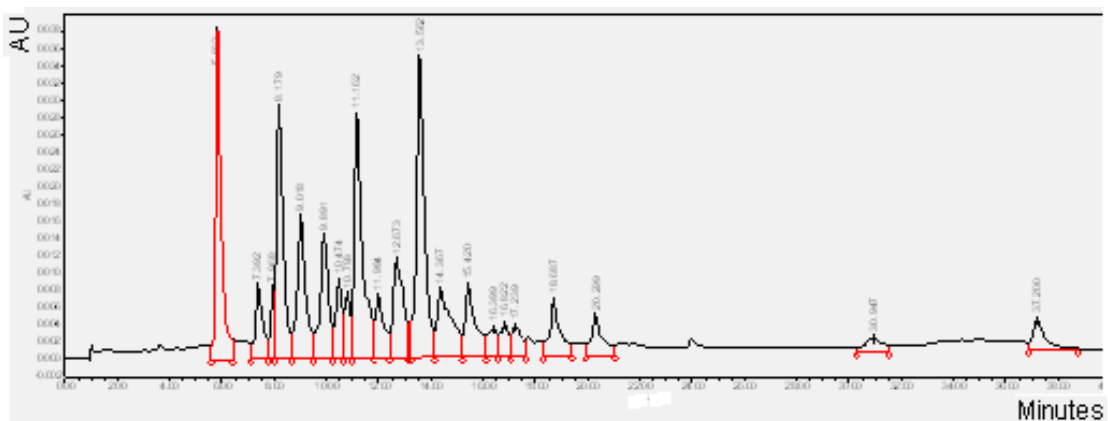
ქრომატოგრამა 1

ტყიბულის მთის ნედლი მოცვი (6,685გ=30 მლ 3% HCl სპირტი, აქედან 10 მლ დაკონცენტრირდა და ქრომატოგრაფირებისათვის აღებულია: 0,5 მლ+3მლ ელუენტა ნარევი), 370-5106მ.



მოცვი – 510 მმ

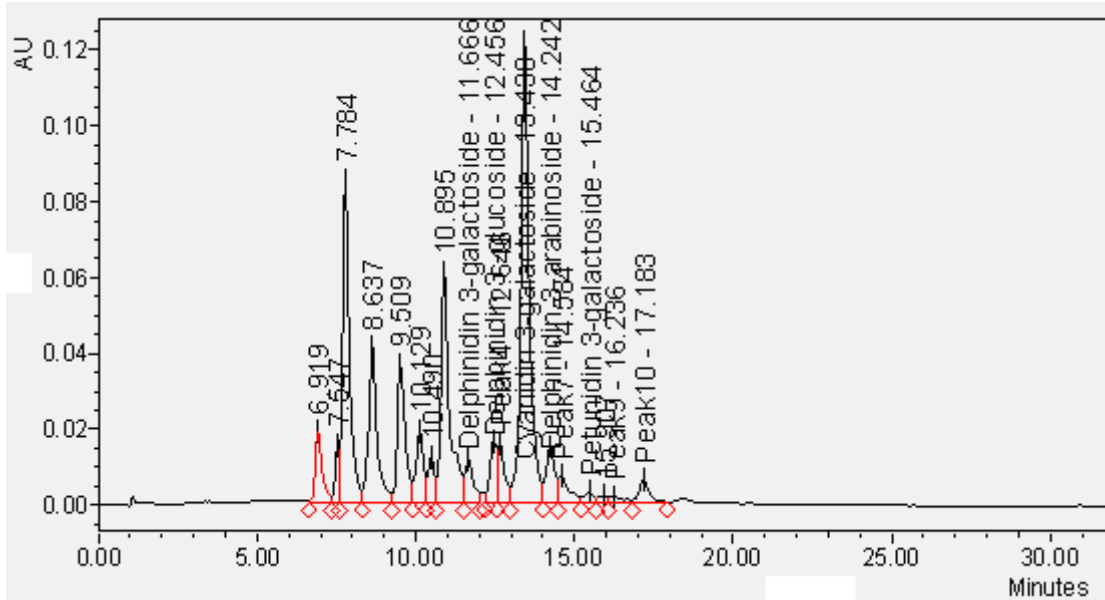
ქრომატოგრამა 2



მოცვი – 370 მმ

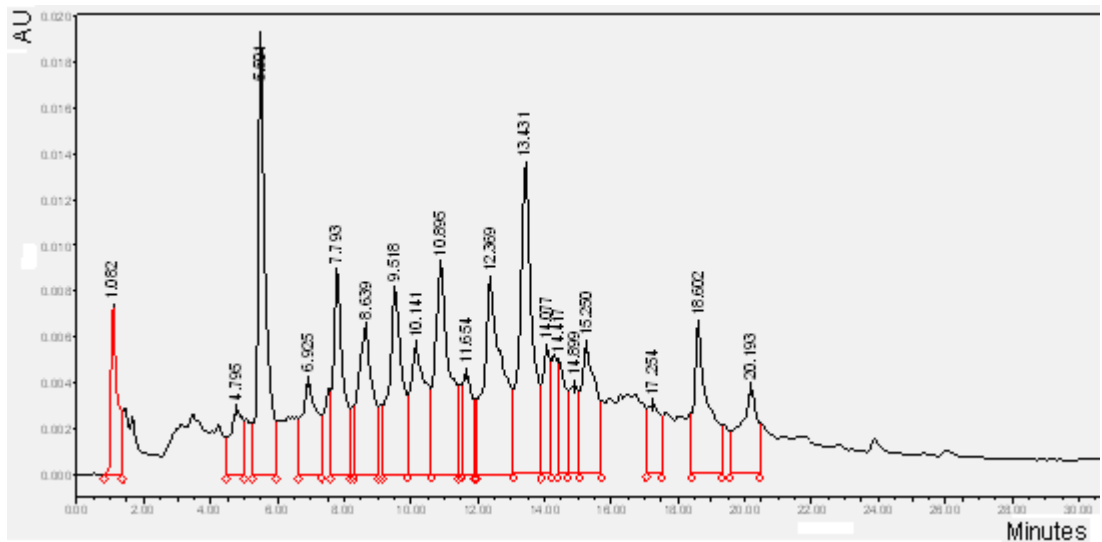
ქრომატოგრამა 3

ტყიბულის გამწვარი მოცვი (1,590 გ=30მლ 3% HCl სპირტი, აქედან 10მლ დაკონცენტრირდა და ქრომატოგრაფირებისათვის აღებულია: 0,5 მლ+2მლ ელუენტა ნარევი), 370-5106მ.



მოცვი – 510 მმ

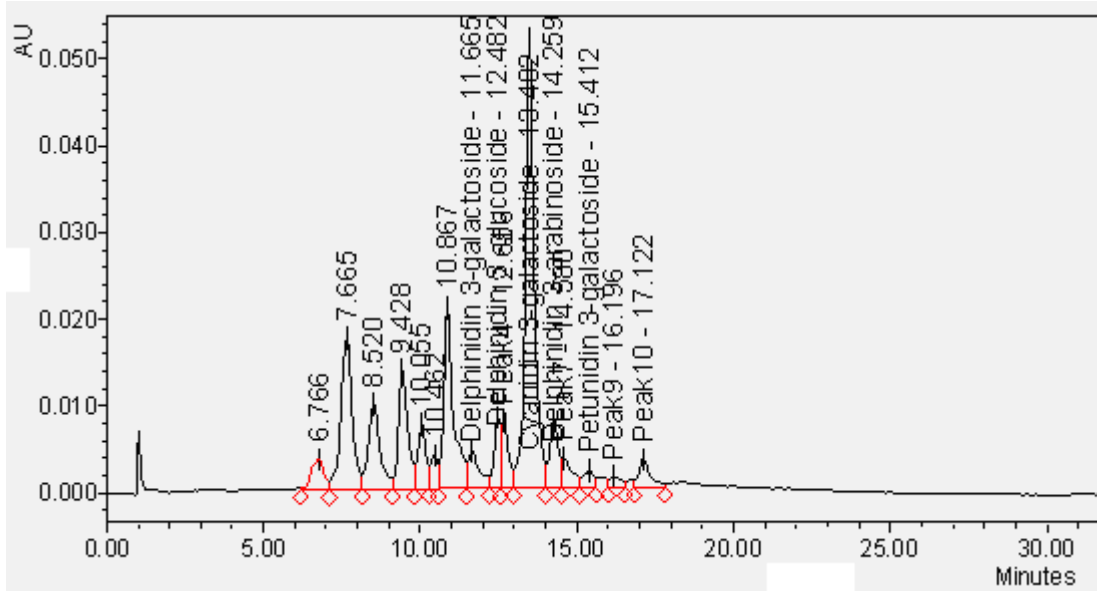
ქრომატოგრამა 4



მოცვი – 370 მმ

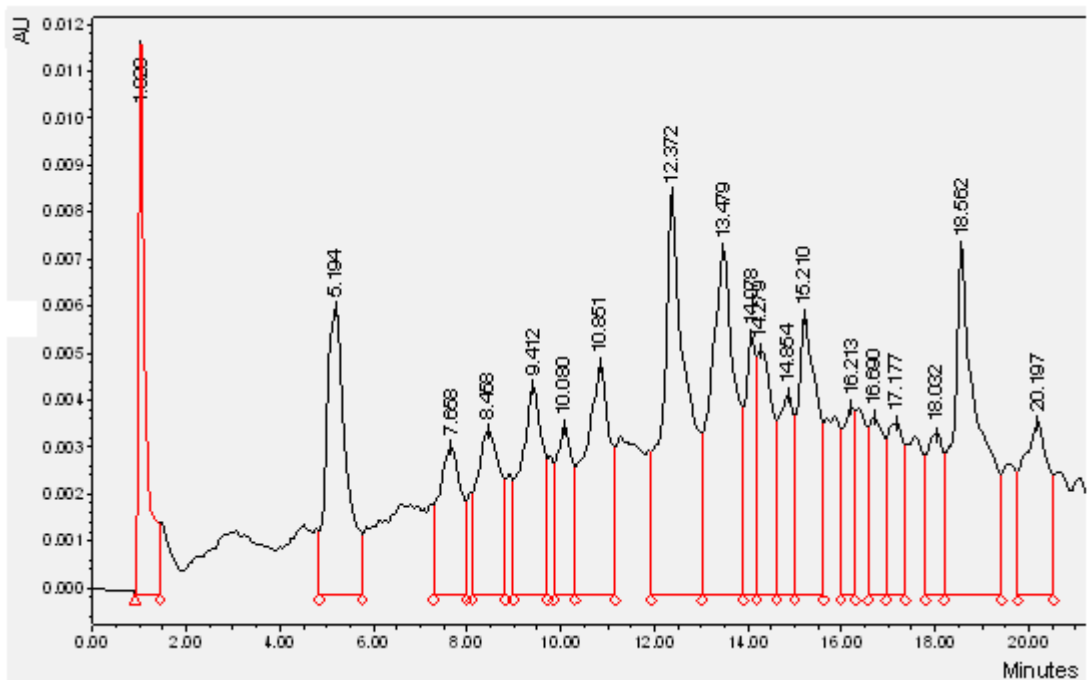
ქრომატოგრამა 5

ბაღდათის გამშრალი მოცვი (1,5828 გ=30მლ 3% HCl სპირტი, აქედან 10მლ დაკონცენტრირდა და ქრომატოგრაფირებისათვის აღებულია: 0,5 მლ+2მლ ელუენტთა ნარევი), 370-5106მ.



მოცვი – 510 6მ

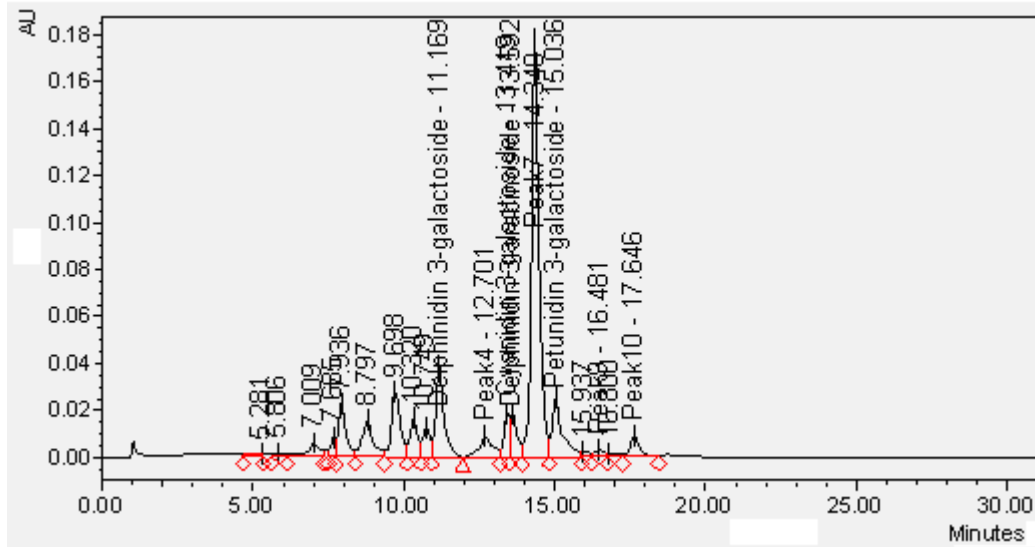
ქრომატოგრამა 6



მოცვი – 510 6მ

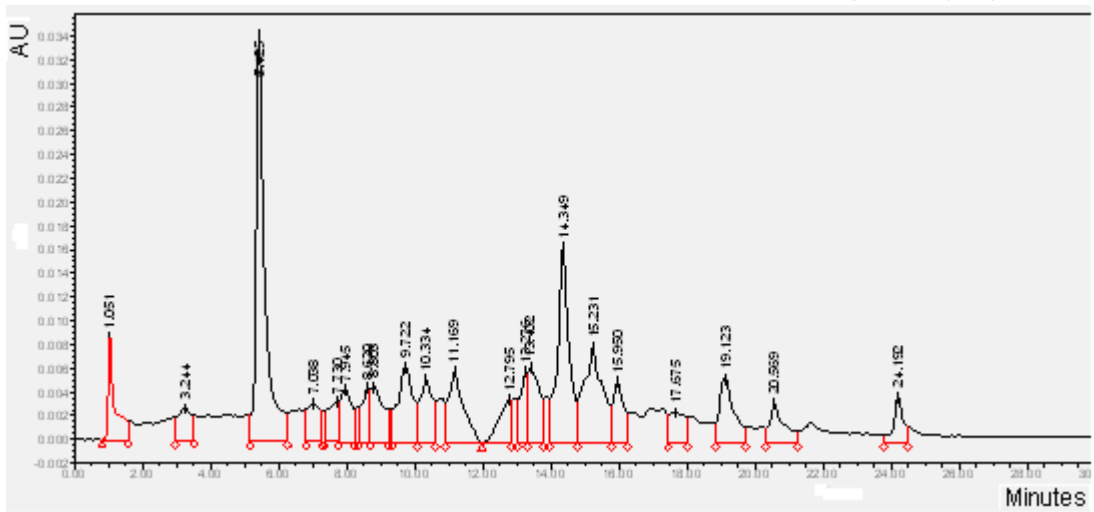
ქრომატოგრამა 7

მოცვის ნატურალური წვენი (0,5მლ+3მლ ელუენტა ნარევი), 370-5106მ



მოცვი – 510 მმ

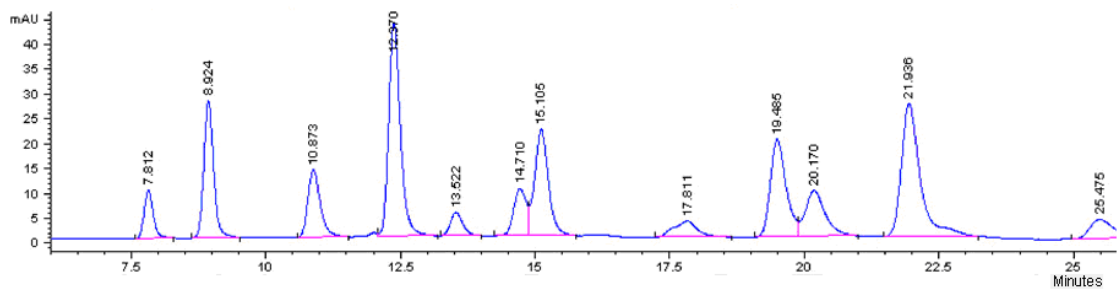
ქრომატოგრამა 8



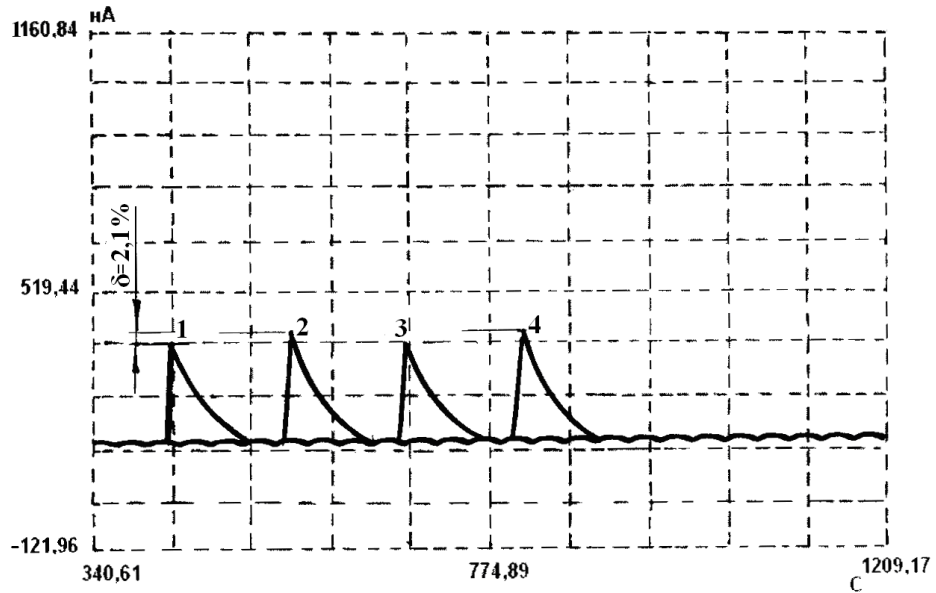
37-370 მმ

ქრომატოგრამა 9

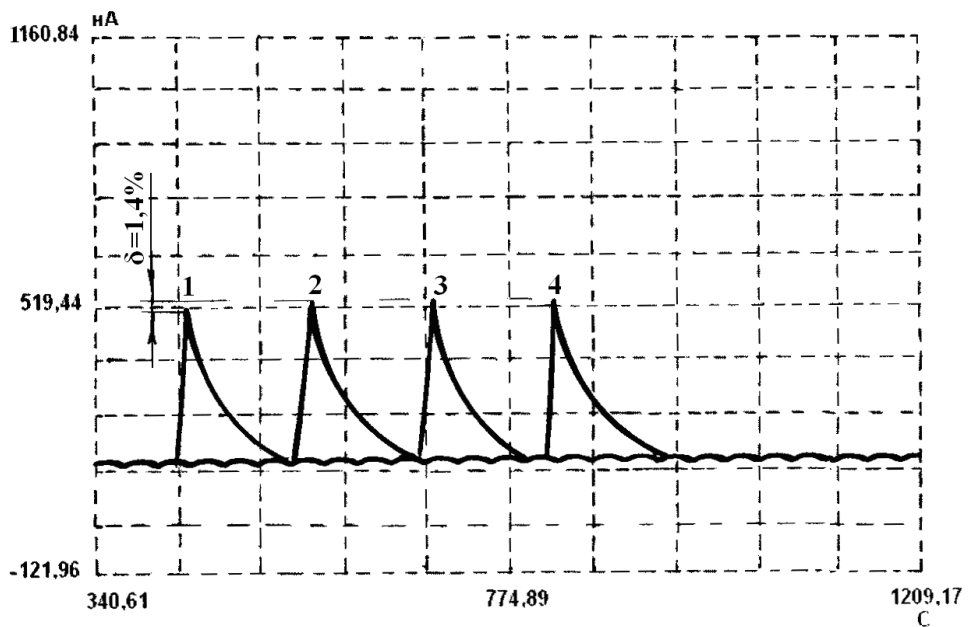
ახლად გამოწურული მოცვის ნაყოფის ქრომატოგრამა (ბაღდათი, 2011 წ)



წინასწარ დამუშავებული მოცვის ნაყოფიდან მიღებული ექსტრაქტების ოთხ-ოთხი მიმდევრობითი აღწარმოებების დიაგრამები



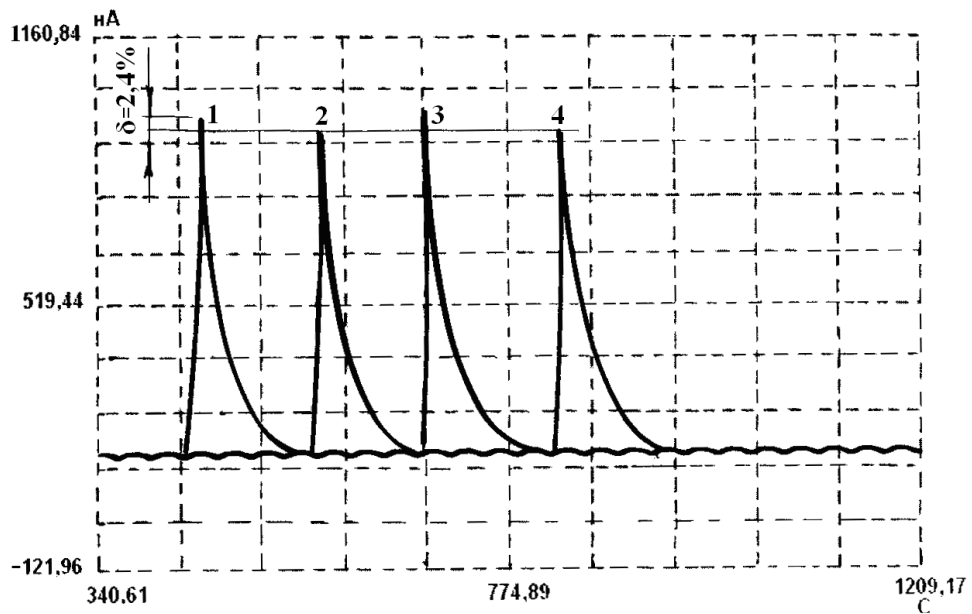
ნახ.დ.1. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა
(ეტილონი კვერცხტინი, V ვარიანტი)



ნახ.დ.2. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა
(ეტილონი კვერცხტინი, IV ვარიანტი)



ნახ.დ.3. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა
(ეტალონი კვერცხები, III ვარიანტი)



ნახ.დ.4. მოცვის ექსტრაქტის AOA დიაგრამა
(ეტალონი კვერცხები, II ვარიანტი)