

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო
წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება

გიზო გორგოძე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2013 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერნი, გავეცანით გიზო გორგოძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: «**ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება**» და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის «სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის» სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი:

ხელმძღვანელი: კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის

სრული პროფესორი **ზურაბ ჯაფარიძე**

რეცენზენტი: **თამაზ მეგრელიძე**, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,

სრული პროფესორი;

რეცენზენტი: **ვიტალი ღვაჩლიანი**, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

წელი 2013

ავტორი: გორგოძე გიზო

დასახელება: ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო
წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პროფნებების 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

კვების და გადამამუშავებელ მრეწველობაში ნედლეული წარმოადგენს როგორც რაოდენობრივი, ისე ხარისხობრივი განვითარების გადამწყვეტ ფაქტორს. შესაბამისად, მეღვინეობის მეორადი ნედლეულის უტილიზაციის პრობლემა აქტუალურია ყველა ღვინის მწარმოებელ ქვეყანაში.

ცნობილია, რომ ერთი ტონა ყურძნის გადამამუშავებით წარმოიშვება მეორადი ნედლეული, რომლისაგანაც კომპლექსურად შესაძლებელია მივიღოთ მნიშვნელოვანი ღირებულების ეთილის სპირტი, ენანტის ეთერი, ყურძნის ზეთი, ღვინის ქვის მჟავა, ტანინი, ენოსაღებარი, ფურფუროლი, საკვები საფუარი და მრავალი სხვა ფასეული პროდუქტი. ნაშრომის მიზანია სხვადასხვა სახის ყურძნის წიპწის ორგანული გამხსნელებით ექსტრაქციის პროცესის გამოკვლევების შედეგების საფუძველზე ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება. აღნიშნული მიზნის რეალიზაციისათვის გადაწყვეტილია შემდეგი ძირითადი მეცნიერული ამოცანები:

- საექსტრაქციო ორგანული გამხსნელების, ექსტრაქციის მეთოდებისა და საექსტრაქციო ნედლეულის ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლების გავლენა ყურძნის წიპწის ზეთის რაოდენობრივ და ხარისხობრივ შედგენილობაზე;

- ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის დაგეგმვა, რეალიზაცია და ოპტიმიზაცია;

- ყურძნის ზეთის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების, რეჟიმების, ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება აპარატურული გაფორმებით;

- ქარხნული წარმოების ყურძნის ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური და ხარისხის მახასიათებლების კონტროლის მეთოდისა და საშუალებების შემუშავება.

ნაჩვენებია, რომ ყურძნის წიპწა წარმოადგენს ძვირფას მეორად ნედლეულს და მისი კომპლექსური გადამამუშავება, მისგან ყველა ფასეული კომპონენტის სრულად მიღება, ნარჩენების რაციონალური გამოყენება და ასორტიმენტის გაფართოება დარგის რენტაბელობის გაზრდის ერთ-ერთი გზაა.

ექსპერიმენტულად დადგენილია ყურძნის წიპწის საექსტრაქციოდ მომზადების რეჟიმები ყურძნის წიპწის შრობის, ჰიდროთერმული დამუშავების, წიპწის დაქუცმაცების ვალცებში გატარებისა და ბურბუშელას მაგვარი საექსტრაქციო ფოთლოვანი მასის მიღების გზით.

ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის გამოსავლიანობაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები, მათი დონეები და ვარიანტების ინტერვალები. დასაბუთებულია ზეთის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის პარამეტრები: წინასწარ დამუშავებული ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის ძირითად პარამეტრად ვლებულობთ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის გამოსავლიანობას კგ/ტ.

ოპტიმიზაციის მეორე კრიტერიუმად მივიღეთ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის წარმოებაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები (ექსტრაქცია, გამხსნელის რეკუპერაცია), დოლარი/ტ (აქ 1 კვტ*სთ ენერჯის ღირებულებად მივიღეთ 0,1 დოლარი). მესამე, წარმოებულ ეკონომიკურ კრიტერიუმად ვლებულობთ ენერგოთვითღირებულებას, როგორც ერთეული მიზნობრივი პროდუქტის (ზეთის) წარმოებაზე დახარჯული რეალური ენერჯის ღირებულება, დოლარი/კგ.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტების შედეგებმა საშუალება მოგვცეს დაგვედგინა ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე მოქმედი რიგი ფაქტორების მოქმედების ხასიათი და დიაპაზონი.

მათ შორისაა, ექსტრაქციის ხანგრძლივობა და ტემპერატურა, ექსტრაგენტისა და ნედლეულის მასური თანაფარდობა, საექსტრაქციო მასის (ექსტრაგენტი, წიპწა) ექსტრაქტორში რხევების სიხშირე, ამპლიტუდა და პერიოდულობა.

რეალიზებულია საწარმოო ექსპერიმენტის ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის ოთხფაქტორიანი მატრიცა და მიღებულია ოპტიმიზაციის პარამეტრების გასაანგარიშებელი ადეკვატური რეგრესიის განტოლებები. შესრულებულია გამოძახილების ზედაპირების ერთზომადი კვთებისა და ორმაგი ეფექტების გრაფიკული ანალიზი და დასახულია ექსტრაქციის ოპტიმალურ რეჟიმებში წარმართვის სტრატეგია.

გადაწყვეტილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაციის კომპრომისული ამოცანა და მიღებულია ფაქტორების ოპტიმალური მნიშვნელობები ზეთის მაქსიმალური გამოსავლიანობის მისაღწევად ფიქსირებული ენერგოდანახარჯების პირობებში: ექსტრაქციის ტემპერატურა $75-80^{\circ}\text{C}$; ექსტრაქციის ხანგრძლივობა $120-125$ წთ; მასური თანაფარდობა "ექსტრაგენტი/წიპწა" $9,5-10$ ლ/კგ; რხევების (ვიბრაციის) სიხშირე (ამპლიტუდა 1 მმ) $4-5$ წ⁻¹. აღნიშნულ რეჟიმზე ექსტრაქციის წარმართვის შემთხვევაში ნედლეულიდან წითელი ყურძნის წიპწისათვის ზეთის ნატურალური გამოსავლიანობაა – $180-182$ კგ/ტ, 1 ტონა წითელი ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯებია – $182-183$ დოლ/ტ, ხოლო ზეთის წარმოების ენერგო თვითღირებულება $1,00-1,05$ დოლ/კგ; ანალოგიური პარამეტრები თეთრი ყურძნის წიპწის შემთხვევაში შეადგენს, შესაბამისად: $154-157$ კგ/ტ, $181-182$ დოლ/ტ და $1,20-1,25$ დოლ/კგ.

შემუშავებულია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური სქემა აპარატურული გაფორმებით, რომელიც ითვალისწინებს $10 - 12\%$ ტენიანობის ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ექსტრაქციას ორგანული გამხსნელით პულსირებული რხევების პირობებში, ყურძნის წიპწის შროტის გამოყოფასა და გამოხდას, მშრალი შროტის მიღებას, ექსტრაქტის გამოხდას, ზეთის ფილტრაციას და დაფასობას. დადგენილია წარმოების პროცესში ფაქტორებისა და პარამეტრების საკონტროლო მნიშვნელობები და კონტროლის საშუალებები.

დადგენილია ექსტრაჰირებული ყურძნის წიპწის შროტიდან ნარჩენი ექსტრაგენტის გამოხდის ოპტიმალური პირობები და მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთის მხრივ გამხსნელის სრულ გამოხდას და, მეორეს მხრივ შროტის ხარისხის მინიმალურ გაუარესებას. ესენია: პირველ საფეხურზე ექსტრაქტორში შროტის ვიბრაცია რხევების $22,2$ წ⁻¹ სიხშირითა და $2,45$ მმ ამპლიტუდით 5 წუთის განმავლობაში. გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, რომ 5 წუთიანი ვიბრაციის შემდეგ ოპტიმალურ პირობებში ექსტრაქტორში შროტში გამხსნელის ნარჩენი რაოდენობა $100 - 120$ მლ/კგ – ს არ აღემატება. მეორე საფეხურზე ხდება ექსტრაგენტის საბოლოო გამოხდა–გადადენა ექსტრაქტორში შემვებული ცხელი ჰაერის ან ორთქლის ჭავლით $110-120^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე.

შესწავლილია ყურძნის წიპწის ზეთის ფიზიკურ–ქიმიური მახასიათებლები და ცხიმოვან მჟავური შეგენილობა. ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული პარამეტრებით თეთრი და წითელი ჯიშების ყურძნის წიპწის ზეთები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, შეესაბამებიან ტრადიციულად საკვებ პროდუქტებში გამოყენებულ მაღალხარისხივან მცენარეულ ზეთებს. ყოველივე კი გვაძლევს ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის კოსმეტიკურ საშუალებებსა და ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში გამოყენების შესაძლებლობას.

აღნიშნული ხასიათის გამოკვლევები, ჩვენს ხელთ არსებული ლიტერატურული მონაცემებით, სრულდება პირველად.

Abstract

In food and processing industry raw material presents the decisive factor of a product's quantitative and qualitative development. Accordingly, the utilization of the secondary raw materials is an important issue in every wine producing country.

As is known, the processing of a ton of grapes gives a by-product raw material from which, by way of complex treatment, one can derive several hundred US dollar worth of ethyl alcohol, anent essential oil, grape oil, wine stone acid, tannin, eno-paints, furfural, yeast, and a lot more costly products.

The aim of this work is to investigate the oil extracting process from the variety of grape stones by making use of various organic solvents and applying the yielded results to the machine-processing of the industrial manufacturing of the product. To realize the above-mentioned aims I have solved the following scientific problems:

- the influence of organic extractor solvents and of the methods of extraction and the physical, chemical and mechanical properties of the extractive raw material on the quantitative and qualitative contents of the grape-stone oil;
- planning, realization and optimization of the grape-stone oil extraction industrial experiments;
- developing machine-provided technological schemes of technological processes and regimes of the grape-oil production;
- working out means and methods of controlling of physical and chemical properties of manufactured grape-oil.
- I have shown that the grape stone presents precious secondary raw material and its complex treatment for the purpose of the complete extraction of all possible useful components and rational consumption of its remains, and expanding the assortments, is a way of augmenting of the productivity of the field.

I have determined experimentally the regimes of preparing the grape stone for extraction, the methods of drying, its hydro-thermal treatment, crushing, and husking through roller for the purpose of obtaining leaf-like extractive mass.

Laboratory research allowed establishing chief factors and the levels and intervals of variations effecting on the output of the oil taken out from the grape stone scrape. I have determined the optimization parameters of the oil extracting process: namely, I have adopted the output, kg/ton, of the oil from the unit of the extractive raw material as the chief optimization parameter of the extraction process.

The second criterion of optimization has been accepted according to the complete enrgy expenditure on the oil production from the unit mass (extraction, recooperation of the solvent, USD / ton, (cost of energy expenditure amounts 0.1 dollar for 1 kw/h). The third economic criterium for manufacturing is the costprice of the electroenergy as the cost of the real enrgy, expressed as dollar/kg, spent for the production of the unit target product (i.e. oil).

The laboratory experiment results permitted to determine the nature and scale of a set of factors effecting on the criteria of grape-stone scrape extracting process optimization. Among these factors are extraction duration and temperature, mass proportion between

extragent and raw material, vibration frequency, amplitude and periodicity of the extractive mass (extragent, grape-stone) in the extractor.

The four-factor matrix of the central compositional rotatable planning has been realized and the adequate regression equations for computation of optimization parameters have been adopted. I have also carried out graphic analysis of single-measured cessation of the surface resonance and of the double effects and mapped out the strategy for directing the extraction in the optimal regime.

I have solved the compromising task of optimization of the technological process for extraction of oil from grape stone scrape and adopted optimal meanings for the maximum output of the oil under the conditions of the fixed expenditure on electro energy: extraction temperature 75 – 80 C⁰ ; extracting time 120 – 125 min; mass proportion “extragent/grape-stone” 9.5 - 10 l/kg; vibration frequency (amplitude 1mm) 4-5 sec⁻¹ In case of carrying out the extraction according to this very regime the natural output of the oil from the red grape stone is about 180 -182 kg/ton. Complete electro energy expenditure on one ton red grape stone scrape is 182 -183 USD/ton; and the cost price of electro energy for oil production is 1.00 -1.05 USD/kg; analogous parameters for the white grape stone amounts correspondingly: 154-157 kg/ton, 181-182 USD/ton and 1.20-1.25 USD/kg.

I have worked out a technological scheme for oil extraction from the grape stone scrapes with corresponding apparatus furnishing, which considers separation and refinement (decontamination) of the grape stone cake from 10-12% humidity grape stone scrape with organic solvent under the condition of pulsing resonance, deriving dry cake, distilling the extract, oil filtration and (assortment)bottling. I have also settled the controlling meanings and means of factors and parameters during the production process.

I have stated optimal conditions and methods for refining of the remaining extragent from the extracted grape stone cake which grants the complete distillation of the solvent, on one hand, and the minimal worsening of the cake quality. These are: on the first step, cake vibration in the extractor with a velocity of 22.2 sec. ⁻¹ frequency and 2.45amplitude during 5 minutes.

Calculations show that under the optimal conditions after five-minute vibration the quantity of the solvent **residue** of the cake in the extractor is not more than 100-120 ml/kg. On the second step, the final distillation (refinement) and seeping of the extragent into the extractor is achieved by making use of the 100- 120 degree C vapor head.

I have studied chemical and physical properties of the grape stone oil and its fat and acid contents. I have also shown that according to the given parameters there is only a little difference between the oils derived either from white or red grape stones and correspond with the high quality vegetable oils traditionally used in food products.

All these offer us an opportunity to make use of the grape stone extract oil in cosmetic and in functional food products.

According to my best of knowledge of the specialist literature the researches I have done and discussed in this paper is the first in the field.

შინაარსი

შესავალი (ნაშრომის ზოგადი დახასიათება) -----	12
1. ლიტერატურის ანალიზური მიმოხილვა -----	17
1.1. შესავალი -----	17
1.2. ყურძნის წიპწა და მისი გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა -----	18
1.2.1. წიპწის ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები -----	18
1.2.2. ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა -----	20
1.2.3. ყურძნის წიპწის მიღების ხერხები -----	23
1.2.4. ყურძნის წიპწის გადამუშავების ხერხები -----	26
1.2.5. ყურძნის ზეთის მიღების თანამედროვე მდგომარეობა -----	28
1.3. ექსტრაქციის პროცესის თეორიული წინაპირობები -----	37
1.4. ექსტრაქციის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები -----	41

შედეგების განსჯა

2. კვლევის ობიექტები და ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია -----	63
2.1. ექსტრაქციის პროცესის კვლევის წინაპირობები -----	63
2.2. ოპტიმიზაციის პარამეტრებისა და მათზე მოქმედი ფაქტორების შერჩევა და დასაბუთება -----	70
2.2.1. ოპტიმიზაციის პარამეტრების შერჩევა და დასაბუთება -----	70
2.2.2. ოპტიმიზაციის პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორებისა და მათი ვარიანტების ინტერვალების დასაბუთება -----	71

ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები

3. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის საწარმოო ექსპერიმენტის დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია -----	73
3.1. ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის რეალიზაცია -----	73
3.3. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ცხიმოვან-მჟავური ანალიზის შედეგები -----	102
3.4. ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემა და საწარმოო პროცესების კონტროლის პარამეტრები -----	105
ძირითადი დასკვნები -----	109
გამოყენებული ლიტერატურა -----	112

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. წიპწის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები	----- 19
ცხრილი 2. ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მიხედვით	----- 20
ცხრილი 3. ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა (ჯამურის %)	----- 21
ცხრილი 4. ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლები	----- 34
ცხრილი 5. ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები	----- 72
ცხრილი 6. წითელი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები	----- 73
ცხრილი 7. თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები	----- 74
ცხრილი 8. რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (წითელი ყურძნის წიპწისათვის)	----- 76
ცხრილი 9. რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (თეთრი ყურძნის წიპწისათვის)	----- 76
ცხრილი 10. ორმაგი ეფექტების ლოკალური ექსტრემალური წერტილების კოორდინატები	----- 93
ცხრილი 11. ოპტიმალურ პირობებში ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის მიღების საწარმოო გამოცდების შედეგები	----- 97
ცხრილი 12. ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა (ჯამურის %)	----- 103
ცხრილი 13. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები	----- 103
ცხრილი 14. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების საკონტროლო მახასიათებლები	----- 107

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. ექსპერიმენტული საექსტრაქციო დანადგარის პრინციპული სქემა -----	67
ნახ.2. რეგრესიის განტოლებების ერთზომადი კვებები წითელი ყურძნის წიპწისათვის -----	78
ნახ.3. რეგრესიის განტოლებების ერთზომადი კვებები თეთრი ყურძნის წიპწისათვის -----	79
ნახ.4. $D=Y_2/Y_1$ ფუნქციის ერთზომადი კვებები თეთრი და წითელი ყურძნის წიპწისათვის -----	80
ნახ.5. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	81
ნახ.6. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	82
ნახ.7. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ვიზრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	83
ნახ.8. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	84
ნახ.9. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და ვიზრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	85
ნახ.10. წითელი ყურძნის წიპწისათვის წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და ვიზრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	86
ნახ.11. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	87
ნახ.12. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ) -----	88
ნახ.13. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ვიზრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე	

(B ₀ , კვ/ტ) -----	89
ნახ.14. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X ₂) "გამხსნელი/ ნედლეული (X ₃) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B ₀ , კვ/ტ) -----	90
ნახ.15 თეთრი ყურძნის წიპწისათვის წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X ₂) და ვიზრაციის სიხშირის (X ₄) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B ₀ , კვ/ტ) -----	91
ნახ.16. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის "გამხსნელი/ნედლეული (X ₃) და ვიზრაციის სიხშირის (X ₄) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B ₀ , კვ/ტ) -----	92
ნახ.17. ΔQ გამომახილის ზედაპირის ერთზომადი კვეთები -----	100
ნახ.18. წითელი ყურძნის წიპწის ზეთის ლიპიდური კომპლექსის ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა (ქრომატოგრამის მაგალითი) -----	102
ნახ. 19. თეთრი ყურძნის წიპწის ზეთის ლიპიდური კომპლექსის ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა ქრომატოგრამის მაგალითი) -----	102
ნახ.20. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემა: -----	106
ნახ.21. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ- სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი (პირველი სართული) -----	108
ნახ.22. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ- სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი (მეორე სართული) -----	109

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა

კვების და გადამამუშავებელ მრეწველობაში ნედლეული წარმოადგენს როგორც რაოდენობრივი, ისე ხარისხობრივი განვითარების გადამწყვეტ ფაქტორს. გასული საუკუნის 90-იანი წლებისათვის პროდუქციის თვითღირებულებაში ნედლეულზე ნახარჯები საშუალოდ 80...85%-ს შეადგენდა, მეღვინეობაში კი-საერთო დანახარჯების 90%-ს აღწევდა. ამჟამად, ენერჯიაზე საბაზრო ფასებისა და მრეწველობის ფუნდამენტური (ხშირად ქაოსური) გარდაქმნებისა და გადაფასების გამო, ეს მონაცემები მართალია შემცირდა, მაგრამ მაინც მნიშვნელოვანი ხვედრითი წილი აქვთ: ზოგადად გადამამუშავებელ მრეწველობაში – 50...70%, ხოლო მეღვინეობაში – 60%-მდე. შესაბამისად, მეღვინეობის მეორადი ნედლეულის უტილიზაციის პრობლემა აქტუალურია ყველა ღვინის მწარმოებელ ქვეყანაში. ამ მხრივ საქართველოში სავალალო მდგომარეობაა.

ცნობილია, რომ ერთი ტონა ყურძნის გადამამუშავებით წარმოიშვება მეორადი ნედლეული, რომლისაგანაც კომპლექსურად შესაძლებელია მივიღოთ მნიშვნელოვანი ღირებულების ეთილის სპირტი, ენანტის ეთერი, ყურძნის ზეთი, ღვინის ქვის მჟავა, ტანინი, ენოსაღებარი, ფურფუროლი, საკვები საფუარი და მრავალი სხვა ფასეული პროდუქტი.

გაშრობამდე ყურძნის წიპწა შეიცავს 30-40% ტენს, 6-10% ცხიმოვან ნივთიერებებს, 3-7% მთრიმლავ და 1-2% მინერალურ ნივთიერებებს. გამშრალი წიპწის შედგენილობაში შედის 22%-მდე ცხიმოვანი ზეთი და ცხიმხსნადი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები-ტოკოფეროლები, კაროტინოიდები, სტეროლები. ბულგარელი სპეციალისტების მიერ შემუშავდა წიპწის - ფასეული ბუნებრივი ნედლეულის კომპლექსური გადამამუშავების ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებდა ყურძნის ზეთის, ენოტანინის, ეთანოლიგნინის, ტანინო ლიგნინური ნარევის, საკვები ექსტრაქტების სამრეწველო წარმოებას ლიქიორებისათვის, ღვინის

დაძველების დასაჩქარებლად, საკვები დანამატების, კოსმეტიკურ-საპარფიუმერიო საშუალებებისათვის. მაგრამ შემოთავაზებული კომპლექსური ტექნოლოგია პრაქტიკულად რთული განსახორციელებელია, ძვირადღირებულია.

მსოფლიოს მთელ რიგ ღვინისმწარმოებელ ქვეყანაში წიპწიდან ზეთს წნეხვის მეთოდით ღებულობენ, რომლის დროსაც ზეთის გამოსავლიანობა არსებულის 50%-ს არ აღემატება (ი.ი. გრაბოვსკი, 1988). უკანასკნელ წლებში გამოჩნდა შრომები ყურძნის ზეთის თხევადი ნახშიროჟანგით მიღების შესახებ (ა.ნ. აიცინი, ა. ვ. პეხოვი, 1993; ხ.რ. ბლიაგოზი, 2002), მაგრამ ამ მეთოდის ძირითადი უარყოფითი მხარე მიზნობრივი პროდუქტის მცირე გამოსავლიანობაა (15-20%).

ყურძნის ზეთის წარმოების ეფექტურობის გაზრდის ძირითადი მიმართულება ტრადიციული ორგანული გამხსნელების გამოყენებაა (ვ.ფ. ბივშევი, ნ.ი.რაზუვაევი, 1988), მაგრამ ამ მიმართულებით მეცნიერული გამოკვლევები ძალზე მწირია, ხოლო რეკომენდაციები - ურთიერთგამომრიცხავი.

შესაბამისად, ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო წარმოების ძირითადი ასპექტების დამუშავება აქტუალურ და პერსპექტიულ საკითხად მიგვაჩნია, მითუმეტეს, რომ ორგანული გამხსნელის და საწარმოო რეჟიმების რაციონალურად შერჩევის შემთხვევაში ზეთის გამოსავლიანობამ შესაძლებელია წიპწაში არსებულის 90-95%-ს გადააჭარბოს.

ნაშრომის მიზანი

სხვადასხვა სახის ყურძნის წიპწის ორგანული გამხსნელებით ექსტრაქციის პროცესის გამოკვლევების შედეგების საფუძველზე ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება. აღნიშნული მიზნის რეალიზაციისათვის საჭიროა გადაწყდეს შემდეგი ძირითადი მეცნიერული ამოცანები:

- საექსტრაქციო ორგანული გამხსნელების, ექსტრაქციის მეთოდებისა და საექსტრაქციო ნედლეულის ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლების გავლენა ყურძნის წიპწის ზეთის რაოდენობრივ და ხარისხობრივ შედგენილობაზე;
- ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის დაგეგმვა, რეალიზაცია და ოპტიმიზაცია;
- ყურძნის ზეთის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების, რეჟიმების, ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება აპარატურული გაფორმებით;
- ქარხნული წარმოების ყურძნის ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური და ხარისხის მახასიათებლების კონტროლის მეთოდისა და საშაულებების შემუშავება.

აღნიშნული ხასიათის გამოკვლევები, ჩვენს ხელთ არსებული ლიტერატურული მონაცემებით, სრულდება პირველად.

მეცნიერული სიახლე

დადგენილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის პარამეტრები, მათზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები, მათი დონეები და ვარირების ინტერვალები. რეალიზებულია საწარმოო ექსპერიმენტის ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის ოთხფაქტორიანი მატრიცა. ექსტრაქციის პროცესის ანალიზისა და შედეგების ინტერპრეტაციისათვის მიღებულია შესაბამისი ადეკვატური რეგრესიის განტოლებები. შესრულებულია ოპტიმიზაციის პარამეტრების ერთზომადი კვებებისა და ორმაგი ეფექტების გრაფიკული ანალიზი და დასახულია პროცესის ოპტიმიზაციის სტრატეგია. ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა კლასიკური მეთოდით დადგენილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ორგანული გამხსნელით ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმალური რეჟიმები.

თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური და ქრომატოგრაფირების მეთოდების გამოყენებით შესწავლილია ყურძნის წიპწის ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები და ცხიმოვან მჟავური შეგენილობა.

პრაქტიკული ღირებულება

შემუშავებულია ყურძნის წიპწიდან ზეთის მიღების ტექნოლოგიური სქემა პროცესულ-აპარატურული გაფორმებით. ყურძნის წიპწის ბურბუშელის ექსტრაქციის პროცესის მიღებული ოპტიმალური პარამეტრების შემოწმებამ საწარმოო პირობებში მოგვცა ექსპერიმენტთან თანმხვედრი შედეგები. ცდომილება მათ შორის 2-3%-ს არ აღემატება. შემუშავებულია ყურძნის წიპწის შროტიდან ნარჩენი ექსტრაგენტის გამოხდის ოპტიმალური რეჟიმები. დადგენილია ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების საკონტროლო მახასიათებლები.

ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული პარამეტრებით თეთრი და წითელი ჯიშების ყურძნის წიპწის ზეთები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, შეესაბამებიან ტრადიციულად საკვებ პროდუქტებში გამოყენებულ მაღალხარისხოვან მცენარეულ ზეთებს. ყოველივე კი გვადლევს ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის კოსმეტიკურ საშუალებებსა და ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში გამოყენების შესაძლებლობას.

ნაშრომის აპრობაცია

ნაშრომის ძირითადი შედეგები განხილულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის სხდომებზე (2012-2013 წწ), ასევე აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის სამეცნიერო ცენტრისა და ქიმიური ტექნოლოგიის დეპარტამენტის სხდომებზე (2013 წ). ნაშრომის შედეგები მოხსენებული და გამოქვეყნებულია საერთაშორისო კონფერენციების მასალებში:

- VIII საკავშირო სამეცნიერო კონფერენცია „მცენარეული ნივთიერებების ქიმია და ტექნოლოგია“. ყურძნის ზეთის ექსტრაქციის ოპტიმიზაცია. კალინინგრადი, რუსეთის მეცნიერებათა აკადემია. 2013.
- საერთაშორისო დაუსწრებელი სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „მცენარეული ექსტრაქტების ქიმია და ტექნოლოგია“.

ნანოდისპერგირების როლი მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციის პროცესზე. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო. 2011.

– მე-IV საერთაშორისო კონფერენცია "ორგანული ნაერთების ექსტრაქცია". ტუნგის ზეთის ექსტრაქციის პროცესის დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია. ვორონეჟი, რუსეთის ფედერაცია, სახელმწიფო ტექნოლოგიური აკადემია. 2010.

– საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია "სურსათის უვნებლობის პრობლემები". ფხვიერი მასალების ექსტრაქტორი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი. 2009.

პუბლიკაციები

სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო სტატიის სახით საქართველოსა და საზღვარგარეთის რეიტინგულ პერიოდულ გამოცემებში.

1. ლიტერატურის ანალიზური მიმოხილვა

1.1. შესავალი

ინტერესი ყურძნის წიპწის მიმართ მეცნიერებმა უკვე გასული საუკუნის 30-იანი წლებიდან გამოიჩინეს, რაც მრავალი ასპექტით იყო გამოწვეული. მათ შორის, უპირველესად, აღსანიშნავია შემდეგი:

ბიოქიმიური: ყურძნის წიპწის ბიოქიმიური შედგენილობა მოიცავს საკვები და ფიტოქიმიური ნაერთების რთულ კომპლექსს, რომელთა ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შემადგენლობაც საშუალებას გვაძლევს განვიხილოთ ისინი როგორც ნედლეულის წყარო ფართო ასორტიმენტის პროდუქციის წარმოებისათვის. ესენია საკვები, ფარმაცევტული, კოსმეტიკური და ტექნიკური დანიშნულების ზეთები, საღებავები, სხვადასხვა ფუნქციონალური დანიშნულების ბიოლოგიურად აქტიური დანამატები, საკვები ცილები, ტანინი, ფიტინი და სხვა;

ეკონომიკური: ყურძნის გადამუშავება კვების მრეწველობის ერთ-ერთი ყველაზე მასალატევადი დარგია და ნედლეულის კომპლექსური გადამუშავება, მისგან ყველა ფასეული კომპონენტის სრულად მიღება, ნარჩენების რაციონალური გამოყენება და ასორტიმენტის გაფართოება დარგის რენტაბელობის გაზრდის ერთ-ერთი გზაა;

- ყურძნის წიპწის პოტენციური მოცულობა (მათი გამოყოფისა და გადამუშავების რაციონალური პირობების დანერგვის შემთხვევაში) საშუალებას იძლევა განვიხილოთ ის როგორც სამრეწველო ნედლეული;

ეკოლოგიური: ყურძნის გადამუშავებით ყოველწლიურად წარმოშობილი ჭაჭის, და მასთან ერთად წიპწის, მოცულობა ისეთია, რომ ნედლი სახით გარემოსათვის წარმოადგენს სერიოზულ საფრთხეს და აუცილებელი ხდება მისი უტილიზაციის ეფექტური გზების შემუშავება.

ყურძნის წიპწის გამოკვლევის ძირითადი მიმართულებებია:

- ბიოქიმიური შედგენილობის შესწავლა;
- ჭაჭიდან წიპწის გამოყოფის ტექნოლოგიებისა და ტექნიკური საშუალებების დამუშავება;

- წიპწიდან საკვები და ტექნიკური პროდუქციის წარმოების ტექნოლოგიების და ტექნიკური საშუალებების დამუშავება;
- წიპწის და მისი წარმოებულების სამედიცინო-ბიოლოგიური შესწავლა;
- წიპწის გადამუშავების ეკონომიკური ასპექტები.

პრაქტიკაში ყურძნის წიპწა გამოიყენება არასრულად და არარაციონალურად. ეს განსაკუთრებით ჩვენი ქვეყნის მეღვინეობას ეხება. ჭაჭის 80 %, სადაც 25-27 % წიპწაა, უკეთეს შემთხვევაში გამოიყენება მეცხოველეობის საკვებში. დანარჩენი მასა უბრალოდ იყრება.

წიპწის გამოყენების ძირითად მიმართულებად, რომელმაც განვითარება ჰპოვა მთელ რიგ ღვინის მწარმოებელ ქვეყანაში, ითვლება მისგან ყურძნის ზეთისა და საკვები ფქვილის მიღება. მაგრამ რაციონალური ტექნოლოგიური, ტექნიკური და ორგანიზაციული მიდგომების არარსებობის პირობებში შეუძლებელი ხდება კონკურენტუნარიანი პროდუქციის წარმოება მაღალი თვითღირებულების გამო, მიუხედავად მაღალი კვებითი და ბიოლოგიური ფასეულობისა.

უკანასკნელ წლებში საზღვარგარეთის ზოგ ქვეყანაში დაინერგა წიპწის გადამუშავების ახალი მიმართულება - წიპწის პოლიფენოლური კომპონენტების ფუძეზე ბიოლოგიურად აქტიური დანამატების წარმოება. მაგრამ წიპწის რაციონალური გამოყენების ძირითად მიმართულებად რჩება კომპლექსური გადამუშავება, მისი, როგორც ფასეული ნედლეულის, შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოვლენის საშუალება.

1.2. ყურძნის წიპწა და მისი გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა

1.2.1. წიპწის ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

წიპწის შემცველობა ყურძენში, ჯიშის მიხედვით, მერყეობს 0-დან 11-12 %-მდე. საკუთრივ წიპწა კი შედგება გულისა და გარსისაგან, რომლებიც შეადგენენ, შესაბამისად, წიპწის მასის 25-30 %-ს და 60-75 %-ს. სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მონაცემებით მისი ფიზიკურ-მექანიკური

თვისებები საკმაოდ ფართო დიაპაზონში იცვლებიან(ცხრ.1), რაც დამახასიათებელია ნაყოფისმომცემი კულტურების თესლისათვის [1]. აღნიშნული გარემოება კი აფერხებს ყურძნის წიპწის პირველადი გადამუშავებისათვის უნივერსალური ტექნიკური საშუალებების შექმნას. სწორედ ამის გამოა, რომ სხვადასხვა პირობებში დამზადებული წიპწა ხასიათდება ნაგვიანობის მაღალი ხარისხით და ხარისხოვანი მიზნობრივი პროდუქციის მისაღებად საჭიროებს დამატებით გასუფთავებას.

ცხრილი 1

წიპწის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

მახასიათებლის დასახელება	ლიტერატურული წყარო		
	[2]	[3]	[4]
მოცულობითი მასა, კგ/მ3	-	-	-
- ნედლი წიპწა	-	590-600	-
- მშრალი წიპწა	446-558	540-590	400-580
წონა (1000 ცალის) , გ	20-21	-	-
ზომები, მმ: - სიგრძე	4,5 -7,0	-	-
- სიგანე	3,0-5,0	-	3,75
- სისქე	2,0-3,5	-	-
სიმკვრივე, კგ/მ3			
- ნედლი წიპწა	-	1100-1170	-
- მშრალი წიპწა	1040-1060	920-960	-
შემჭიდროების ხარისხი, %	-	-	18
გამოდინების სიჩქარე, სმ/წ	-	-	17-18
დენადობა, გ/წ	-	-	48-49
შიგა ხახუნის კოეფიციენტი	-	-	0,61
უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი:			
- ფოლადზე	0,48-0,54	-	0,37
- ხეზე	0,57-0,66	-	0,40
- ბეტონზე	0,50-0,55	-	-

1.2.2. ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა

ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა წარმოდგენილია სხვადასხვა კლასის ქიმიური ნივთიერებების რთული კომპლექსის სახით, რაც დაკავშირებულია მათ ბიოლოგიურ დანიშნულებასთან. ლიტერატურული

მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ წიპწა შეიცავს ფიზიოლოგიური აქტიურობისა და კვებითი ღირებულების ფასეულ ნაერთებს. მათ განეკუთვნებიან ლიპიდები, ცილები, ნახშირწყლები, ვიტამინური და მინერალური კომპლექსები, ტანინი, ორგანული მჟავები და სხვა. ცალკეული ნაერთების რაოდენობრივი შედგენილობა მერყეობს ფართო დიაპაზონში და დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის ყურძნის ჯიშზე, დამზადების პირობებსა და ნაყოფის მწიფობის ხარისხზე. აღნიშნული გარემოება გასათვალისწინებელია წიპწის გადამუშავების შერჩევისა და მიზნობრივი პროდუქციის ასორტიმენტის განსაზღვრისას. ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრ.2-ში.

ცხრილი 2

ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობა სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მიხედვით

ქიმიური შედგენილობა	ლიტერატურული წყარო				
	[2]	[5]	[6]	[9]	[7]
მასური წილი, %					
- წყალი	-	9-20	6,5-8,0	-	25-50
- ლიპიდები	10-15	15-20	14-15,7	6-20	8-15
- ცილები	10-14	10-14	16,5-17,8	10-14	
- პოლისაქარიდები	35-45	35-45	25-26	21,5-42	30-მდე
- ნაცარი (ა.მ.ნ)	1-3,5	1-3,5	2,5-3	1,5-3,5	1-5
- მთრიმლავი ნაერთები	5-7	5-7	6,7-7,3	5-7	2-8
- არა აზოტისშემცველი ე.ნ.	25-30	-	-	31,5-46	-
- აზოტისშემცველი ნაერთები	-	-	-	-	6

წიპწის დამახასიათებელი თავისებურებაა მასში ფენოლური ნაერთების მაღალი (8-9 %-მდე) შემცველობა, რომლებიც წარმოადგენილი არიან დაბალ და მაღალმოლეკულური ნაერთებით. მათგან ძირითადია ტანინები (7 %-მდე) და ლიგნინები (28 %-მდე), რომლებიც წარმოადგენენ ფასეულ პროდუქტებს კვების და ფარმაცევტული მრეწველობებისათვის. მთრიმლავი ნივთიერებების შემადგენლობაში შედიან ბიოფლავონოიდები,

როგორებიცაა კატექინი, გალოკატექინი, ეპიკატექინგალატი, ეპიკატექინი, კატექინგალატი და სხვა.

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა ხასიათდება უჯერი ცხიმოვანი მჟავების მაღალი შემცველობით(80 %-ზე მეტი), რომელთაგანაც უპირატესად შეიცავს პოლიუჯერ , ლინოლისა და ოლეინის, ცხიმოვან მჟავებს [2, 8-10, 11-13] . წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა, ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით, მოცემულია ცხრ.3-ში.

ცხრილი 3

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა (ჯამურის %)

ცხიმოვანი მჟავები	ლიტერატურული წყარო			
	[2]	[5]	[6]	[10]
ნაჯერი, მათ შორის	11,4-12,3	10,4-24,8	-	9,0-16,0
C14-0 (მირისტინის)	კვალი	1,6-1,7	-	კვალი
C16-0 (პალმიტინის)	6,7-7,6	5,0-13,1	6,0-22,0	4,0-11,0
C18-0 (სტეარინის)	4,7	3,8-10,0	1,0-8,0	2,5-5,0
უჯერი, მათ შორის	81,4-97,7	68,4-95,7		80,0-89,0
C18-1 (ოლეინის)	19,2-25,3	12,3-24,3	8,0-40,0	12,0-33,0
C18-2 (ლინოლის)	61,4-68,6	55,5-70,6	48,0-75,0	45,0-72,0
C18-3 (ლინოლენის)	0,8-3,8	0,6-0,8	-	2,0-მდე

ცხიმოვანმჟავური შედგენილობით ყურძნის ზეთი შეესაბამება ტრადიციულად საკვებ პროდუქტებში გამოყენებულ მაღალხარისხოვან მცენარეულ ზეთებს, როგორებიცაა მზესუმზირის, ზეთისხილის, სიმინდის ზეთები. საერთოდ მაღალი პოლიუჯერობის გამო ყურძნის ზეთი განეკუთვნება ნაწილობრივ შრობად ზეთებს [14].

ნაჩვენებია ყურძნის ზეთის დადებითი მოქმედება გარე და შიგა კანის საფარის ეპიტელიზაციაზე [15]. ტ.ა.ხუდაიშუკუროვამ გამოიკვლია ყურძნის ზეთის კვამლწარმოქმნის ტემპერატურა და აქროლადი ნივთიერებები. დადგენილია, რომ კვამლწარმოქმნის ტემპერატურა (175-230) °C ფარგლებშია, ხოლო აქროლადი ნაერთების შემცველობა შეადგენს

0,49 %-ს. შესაბამისად, ყურძნის ზეთს აქვს, სხვა მცენარეულ ზეთებთან შედარებით, აქროლადი ნაერთების ყველაზე დაბალი შემცველობა. თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ აქროლადი ნაერთები ზეთებში შედგებიან, ძირითადად, წყლისა და თავისუფალი ცხიმოვანი მჟავებისაგან, ხოლო ეს უკანასკნელები ამცირებენ კვამლის წარმოქმნის ტემპერატურას და ცხიმების მდგრადობას, ცხადი ხდება ყურძნის ზეთის უპირატესობა სხვა მცენარეულ ზეთებთან შედარებით [16].

ყურძნის წიპწის ფიზიოლოგიურად აქტიური ნაერთები შეიძლება დავყოთ, პირობითად, ჰიდროფილურ და ჰიდროფობულ ნაერთებად. ვინაიდან შვევისწავლით ყურძნის ლიპიდებს და მათი მიღების ტექნოლოგიურ პროცესებს, ჩვენი ინტერესის სფეროშია ჰიდროფობული ნაერთები, რომლებსაც განეკუთვნებიან ცხიმხსნადი ვიტამინები, ფიტოსტეროლები, ფოსფატიდები, ნახშირწყალბადები და სხვა. ყველა ეს ნაერთი გამოიყოფა წიპწის გადამუშავებისას ყურძნის ზეთთან ერთად.

როგორც ცნობილია ფიტოსტეროლები ხასიათდებიან ჰიპოქოლესტერინემიური მოქმედებით ხოლო ყურძნის ზეთი შეიცავს, საშუალოდ, 0,13 % ფიტოსტეროლებს, რომელთა ძირითადი კომპონენტია B-სიტოსტეროლი, რაც დამახასიათებელია მცენარეული ზეთების უმრავლესობისათვის. სტეროლების კომპონენტური შემცველობა ყურძნის ზეთში საშუალოდ ასეთია: კამპესტეროლი - 0,013 %, სტიგმასტეროლი - 0,022 %, სიტოსტეროლი -0,095 % [2]

სტეროლებთან ახლოს, თვისებებითა და ქიმიური სტრუქტურით, დგანან 4-მეთილსტეროლები და ტრიტერპენული სპირტები, რომლებიც წარმოადგენენ მცენარეული ზეთების გაუსაპნავი ფრაქციის კომპონენტებს. ყურძნის ზეთში აღმოჩენილია 0,01 % ტრიტერპენული სპირტი [2].

ტოკოფეროლები (ვიტამინი E), როგორც ცნობილია, ადამიანის ორგანიზმში არ სინთეზირდება. მათი მიღების ძირითადი წყაროა სხვადასხვა ცხიმები და მათ შორის მცენარეული ზეთები. ვინაიდან ტოკოფეროლებს სახეობის მიხედვით აქვთ სხვადასხვა ვიტამინური

აქტიურობა, მნიშვნელოვანია მცენარეულ ზეთებში არა მარტო მათი ჯამური შემცველობა, არამედ მათი ხარისხობრივი შედგენილობაც. ყველაზე დიდი ვიტამინური აქტიურობით გამოირჩევა **a**-ტოკოფეროლი. ლიტერატურული მონაცემებით ტოკოფეროლების საერთო შემცველობა ყურძნის ზეთში შეადგენს საშუალოდ 200 მგ/%-ს და ამ მონაცემით ის ერთ ნიშნულზეა სოიოს, მზესუმზირისა და სიმინდის ზეთებთან და მნიშვნელოვნად აღემატება ზეთისხილის ზეთს.

ნახშირწყალბადები მცენარეული ზეთების ბუნებრივი კომპონენტებია. ყურძნის ზეთში შეინიშნება სკვალენის არსებობა უმნიშვნელო რაოდენობით - 0,07 %. ყურძნის ზეთი ასევე მცირე რაოდენობით შეიცავს ფოსფოლიპიდებს - 1,0 %-მდე. ეს გარკვეულწილად აკნინებს მის ბიოლოგიურ ფასეულობას, მაგრამ მნიშვნელოვნად აადვილებს რაფინაციისა და დეზოდორაციის პროცესებს, ასევე გამორიცხავს ნედლი ზეთის შენახვისა და რეალიზაციის დროს ჰიდრატაციული ნალექის წარმოქმნას [1, 8].

1.2.3. ყურძნის წიპწის მიღების ხერხები

ყურძნის წიპწის წარმოების სამრეწველო ნედლეულს მეღვინეობის ნარჩენები წარმოადგენს ჭაჭის სახით, რომელიც თავის მხრივ შედგება ყურძნის მარცვლის კანისაგან (43-45 %), წიპწისაგან (24-26 %) და კლერტისაგან (22-32 %). ახლადმიღებული ჭაჭის განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს მისი მაღალი ტენიანობა (60 %-ზე მეტი), რაც არ იძლევა მისი გადაუმუშავებლად შენახვისა და ტრანსპორტირების საშუალებას. ამ დროს ინტენსიურად მიმდინარეობს ბიოქიმიური პროცესები, რასაც მივყავართ ლიპიდებისა და ფენოლური ნაერთების ბიოლოგიური ფასეულობის მკვეთრ შემცირებამდე [17-19].

ყურძნის ჭაჭიდან წიპწის გამოყოფა და მისი მომზადება შემდგომი გადამუშავებისათვის წარმოებს ყურძნის გადამამუშავებელ საწარმოებში - ღვინის ქარხნებში.

ლიტერატურაში აღწერილია ჭაჭიდან წიპწის გამოყოფის ორი ტექნოლოგიური მიდგომა. პირველი მეთოდი, რომელმაც პრაქტიკული რეალიზება ჰპოვა პოსტ საბჭოთა ქვეყნებში, ითვალისწინებს შემდეგ ტექნოლოგიურ პროცესებს: წინასწარ ექსტრაჰირებული ჭაჭის მექანიკური გაუწყლოება შნეკურ წნეხებში, ჭაჭის შრობა, გამშრალი ჭაჭიდან წიპწის მოცილება, წიპწის მინარევებისაგან განთავისუფლება, დაფასოება და შენახვა. მეორე მეთოდი, რომელიც უპირატესად ევროპასა და ამერიკაში გამოიყენება, ითვალისწინებს ანალოგიური ტექნოლოგიური ოპერაციების შესრულებას, მაგრამ სხვა თანმიმდევრობით: ყურძნის ჭაჭის მექანიკური გაუწყლოება, ნედლი ჭაჭიდან წიპწის მოცილება, წიპწისა და ნარჩენი ჭაჭის ცალ-ცალკე შრობა, წიპწის გაცივება, დაფასოება და შენახვა [20].

მეორე ხერხი საშუალებას იძლევა მივიღოთ უფრო მაღალი ხარისხის წიპწა, რაც გამოიხატება ჭაჭიდან ნედლი წიპწის გამოყოფისა და შემდგომი მისი ცალკე შრობის უკეთესი შესაძლებლობებით [21].

ყურძნის ჭაჭის ოპერატიული შრობის შეუძლებლობის შემთხვევაში ჭაჭას ათავსებენ ბეტონის ორმო-ბურტებში, სადაც ის სპონტანურად დადუღდება და კონსერვირდება გამოყოფილი სპირტისა და ნახშირმჟავა აირების გავლენით. ჭაჭის ამგვარი კონსერვირება 2 თვის განმავლობაში წიპწის ლიპიდური კომპლექსის ხარისხზე გავლენას ვერ ახდენს, თუმცა ის ფენოლური ნაერთების მისაღებად უკვე გამოუსადეგარია [22].

სველი ჭაჭიდან წიპწის მოცილება ხდება თვითდამყოფებზე, რომლებიც წარმოადგენენ, როგორც წესი, სხვადასხვა კონსტრუქციის მარცვლის დამხარისხებელ მანქანებს. შედარებით ეფექტურია ფრანგული წარმოების „ლუქსზემეტ“ სისტემის დანადგარები, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვყოთ წიპწა 50-60 %-იანი ტენიანობის ჭაჭიდან. კომინიოვის ს.ლაზოს

სახ. პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში ასევე შეიქმნა ანალოგიური დანადგარი, კერძოდ, მმ2ვს-8 მანქანა [23-24].

ტკბილი ჭაჭის გადამუშავებისას მისგან ექსტრაჰირებით ჯერ გამოყოფენ შაქრებს, ღვინისმჟავა ნაერთებსა და საღებარ ნივთიერებებს. შემდგომში ხდება ჭაჭის მექანიკური გაუწყლოება უწყვეტი ქმედების შნეკურ დანადგარებზე და შრობა. გამშრალი ჭაჭიდან წიპწის მოცილებას ახდენენ ციკლონებში. ბოლოს ასუფთავებენ გამშრალ ჭაჭას გარეშე მინარევებისაგან, აფასობენ და ინახავენ.

ჭაჭის დაწნეხვის გზით მისი ტენიანობა დაიყვანება 50-55 %-მდე, რის შემდეგაც ახდენენ მექანიკურად გაუწყლოებული ჭაჭის შრობას.

გამშრალი ჭაჭიდან წიპწის გამოყოფა ხდება, ძირითადად, ციკლონებში: უფრო მძიმე ფრაქცია - წიპწა გამოეყოფა შედარებით მსუბუქ ფრაქციას - ყურძნის კანს. ამგვარად დამზადებული წიპწა აუცილებლად ექვემდებარება გასუფთავებას გარეშე მინარევებისაგან.

გამშრალი ჭაჭიდან წიპწის გამომყოფი აპარატურის კონსტრუქციული ხარვეზები გამოყოფილი წიპწის მცირე მოცულობებით წარმოების ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია. უფრო ეფექტურია წიპწის გამოყოფა სველი ჭაჭიდან, მაგრამ ამ შემთხვევაში საჭირო ხდება ჭაჭის გადამამუშავებელი არსებული ტექნოლოგიური ხაზებისა და სქემების რეკონსტრუქცია.

ყურძნის წიპწის საშრობად, ძირითადად, იყენებენ დოლური ტიპის საშრობ დანადგარებს, რომელთა ძირითად ნაკლოვანებას შრობის პროცესში წიპწის გადახურება წარმოადგენს, რაც იწვევს მისი ხარისხობრივი მახასიათებლების მნიშვნელოვან გაუარესებას. ყველაზე პერსპექტიულად მიიჩნევა წიპწის შრობა აერომდულარე შრეში, რომლის დროსაც შესაძლებელია თბომასცვლადი პროცესების ინტენსიფიკაციისა ტემპერატურის ნიველირება წიპწის მთელ მოცულობაში. შრობა მიმდინარეობს თანაბრად და გამორიცხულია წიპწის ადგილობრივი გადახურება.

წიპწის საბოლოო გასუფთავება ხდება სხვადასხვა კონსტრუქციის ჰაერბადიან სეპარატორებზე. მაღალი საწყისი დანაგვიანების გამო(5-12 % მინარევები) ერთჯერადი გატარებით ხშირად ვერ ხერხდება საჭირო სისუფთავის ხარისხის (არაუმეტესი 3,0 % მინარევებისა) მიღწევა. ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ ორჯერად გაწმენდას, რაც პრაქტიკაში არც თუ ხშირად ხორციელდება და გადამამუშავებელ საწარმოს მიეწოდება ნაკლებად სუფთა ნედლეული - წიპწა, რასაც მივყავართ ყურძნის ზეთის წარმოების რენტაბელობის დაცემამდე.

მინარევებისაგან გასუფთავებული წიპწა ინახება სპეციალურ ტომრებში ან კარგად ვენტილირებად სათავსოებში, სადაც ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა 70-75 %-ს არ აღემატება.

ამგვარი წესებით შენახული წიპწიდან ზეთის გამოსავლიანობა სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მიხედვით მერყეობს 13-23 %-ის ფარგლებში [25,26]. ქართული ჯიშების ყურძნის წიპწისათვის ეს მონაცემები დასაზუსტებელია.

ორგანოლექტიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლებით ყურძნის წიპწა უნდა აკმაყოფილებდეს ოსტ 18-108-73-ის მოთხოვნებს. მშრალი წიპწის ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 7,0 %-ს, დეფექტური წიპწის რაოდენობა - 5,0 %-ს, გარეშე მინარევების რაოდენობა - 3,0 %-ს. არ დაიშვება დაობების ნიშნები და სხვა გარეშე სუნი. ამგვარად დამზადებული წიპწის შენახვის ვადაა 1 წელი.

1.2.4. ყურძნის წიპწის გადამამუშავების ხერხები

უკანასკნელ ათწლეულებში ინტერესი ყურძნის ჭაჭისა და კერძოდ წიპწის მიმართ მნიშვნელოვნად გაიზარდა. უპირველეს ყოვლისა კომპლექსურად ღებულობდნენ ყურძნის ზეთსა და საკვებ ფხვნილს კომბინირებული საკვებისათვის. გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან კი

ყურძნის წიპწის გადამუშავების სრულიად ახალი მიმართულება ჩამოყალიბდა - ფუნქციონალური დანიშნულების საკვები და ბიოლოგიურად აქტიური დანამატების მიღება. ეს ინტერესი ნაკარნახევია არა მარტო ბიოქიმიური და ეკოლოგიური მიზეზებით, არამედ ეკონომიკური ფაქტორებითაც, რომლებიც ადასტურებენ წიპწის კომპლექსური სიღრმისეული გადამუშავების მიზანშეწონილობას. მ.ს.იგნატიუკმა თავის შრომებში აჩვენა, რომ ყურძნის მყარ ნარჩენებს თავიანთი ენერგეტიკული ფასეულობით (5064-7926 კჯ/კგ) აქვთ მეორადი გამოყენებისათვის დიდი ეკონომიკური პოტენციალი, მაგრამ საჭიროებენ საფუძვლიან ანალიზს უტილიზაციის კონკრეტული ტექნოლოგიური სქემის შერჩევას. ნაჩვენებია, რომ ჭაჭის გადამუშავება წიპწისა და საკვები ფხვნილის მისაღებად ეკონომიკურად არამიზანშეწონილია, ვინაიდან მათი რეალიზაციით მიღებული შემოსავალი 1990 წლის ფასებით შეადგენდა 6,8 მანეთი/ტონა-ს, ხოლო ენერგოდანახარჯები მათ მისაღებად - 6,8 მანეთი/ტონას [27]. მ.ა. კერაშევის მიერ შესრულებული ეკონომიკური გაანგარიშებები ასევე ადასტურებენ ყურძნის ჭაჭის სიღრმისეული გადამუშავების მიზანშეწონილობას. ნაჩვენებია, რომ წიპწიდან კომპლექსურად ზეთის, ფურფუროლისა და ტანინის მიღება მნიშვნელოვნად მომგებიანია, ვიდრე მხოლოდ ყურძნის ზეთის წარმოება [28-29].

ყურძნის წიპწის გადამუშავების შესახებ არსებული ლიტერატურული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ჩამოყალიბდა ორი ძირითადი მიმართულება:

- წიპწის გადამუშავების მეთოდები, რომლებიც ითვალისწინებენ მისგან კონცენტრირებული სახით მხოლოდ ერთი კომპონენტის გამოყოფას, ან მხოლოდ ერთი მიზნობრივი პროდუქტის მიღებას;
- ყურძნის წიპწის კომპლექსური გადამუშავების მეთოდები.

ყურძნის წიპწის გადამუშავების პირველი მიმართულება წარმოდგენილია, ძირითადად, ყურძნის ზეთის, ცილების

კონცენტრირებული ფორმების, კონცენტრირებული ტანინების ფუძეზე ბიოლოგიურად აქტიური კომპოზიციების და სხვათა მიღების ტექნოლოგიური და ტექნიკური წინადადებებით.

მეორე მიმართულებას განეკუთვნება ყურძნის ზეთის, ყურძნის ცილების კონცენტრირებული ფორმების, ფიტინის, მთრიმლავი ნივთიერებების კომპლექსურად მიღების ტექნოლოგიურ და ტექნიკურ წინადადებებს.

ჩვენ ქვრმოთ განვიხილავთ ყურძნის ზეთის წარმოების ტექნოლოგიურ ასპექტებს როგორც ინდივიდუალურად (პირველი მიმართულება), ისე კომპლექსურად (მეორე მიმართულება).

1.2.5. ყურძნის ზეთის მიღების თანამედროვე მდგომარეობა

არსებობს მცენარეული ზეთების წარმოების რამდენიმე ხერხი. ყურძნის ზეთს ღებულობენ როგორც ჭაჭიდან, ისე მისგან გამოყოფილი წიპწისაგან. ნებისმიერი ზეთის ხარისხის განმსაზღვრელ ძირითად კრიტერიუმებს წარმოადგენენ საწყისი ნედლეულის ხარისხი და ზეთის მიღების ხერხი [30,31, 39-55].

დაწნევა დაბალ ტემპერატურაზე. ეს მეთოდი მიმდინარეობს ზეთის დამატებითი გაცხელების გარეშე. ტემპერატურა გაზრდილი წნევების გამო ბუნებრივად მატულობს, თუმცა 55 °C-ს არ აღემატება, რაც პროდუქციის ხარისხზე უარყოფითად არ აისახება: ასეთი გზით მიღებული ზეთები ხასიათდებიან გამოხატული არომატითა და გემოთი, ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები (ვიტამინები, პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავები, პიგმენტები და სხვა) პრაქტიკულად მთლიანად არიან შენარჩუნებული. ასეთი ზეთები არ ექვემდებარებიან რაფინაციას, რადგანაც ამ დროს მნიშვნელოვნად უარესდება მათი ხარისხი. ამიტომაც, ნორმალურია, რომ ასეთი ზეთები ხშირად იმღვრებიან.

აღნიშნული მეთოდი არ იძლევა დიდი რაოდენობით ზეთის მიღების საშუალებას, რითაც აიხსნება მათი შედარებით მაღალი ფასი. ასეთმა ზეთებმა მიიღეს სახელწოდება „ბუნებრივი ექსტრა“.

ზეთის გამოწნევის პირველი ფაზის დამთავრების შემდეგ დარჩენილი მასა ერთმანეთში აირევა და იწნება მეორედ. მიღებული ზეთიც ასევე მაღალხარისხოვანია. ის იფილტრება და რაფინაციას არ ექვემდებარება. მას აღნიშნავენ როგორც „ბუნებრივი დელიკატური ზეთი“. მესამე დაწნევის დაწყებამდე დასაწნები მასა ცხელდება 80 °C ტემპერატურამდე წნევის შემდგომი მომატებით. ასეთი წესით მიღებული ზეთი იწოდება როგორც «ბუნებრივი საშუალო დელიკატური». ამით დაწნევით ზეთის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესი არ მთავრდება.

დაწნევა მაღალ ტემპერატურაზე. შემდგომი დაწნევა ხორციელდება მასის გაცხელებით 200°C ტემპერატურამდე. ამგვარად მიღებული ზეთი შემდგომში რაფინირდება, რის შედეგადაც კარგავს მთელ რიგ ნივთიერებებს, ასევე მისთვის დამახასიათებელ არომატსა და გემოს. ასეთი ზეთები შეიძლება გამოყენებული იქნას ცხელი კულინარული ნაწარმის დასამზადებლად. ასეთი ზეთები იწოდებიან როგორც „სუფთა მცენარეული ზეთი“ ან „რაფინირებული მცენარეული ზეთი“.

ქიმიური ექსტრაქცია. მცირე რაოდენობით ზეთის შემცველი ნედლეული, როგორც წესი, არ ექვემდებარება წნევის პროცესს. ასეთი ნედლეული, რომელიც შეიცავს მცირე რაოდენობით ზეთს, აირევა წნევის ყველა ეტაპის შემდეგ ასევე ზეთის შემცველ დარჩენილ გამონაწურებთან და ექვემდებარება ექსტრაქციას ორგანული გამხსნელით. დღეისათვის, სამწუხაროდ, ბუნებრივი მცენარეული ზეთის მიღების ეს მეთოდი ყველაზე გავრცელებულია, თუმცა არა საუკეთესო, ვინაიდან რაფინაციის პროცესი ვერ უზრუნველყოფს ზეთის სრულ გაწმენდას ორგანული გამხსნელისაგან.

ჭაჭიდან ყურძნის ზეთის მიღება ხდება, როგორც წესი, ექსტრაჰირების გზით ყურძნის მსხვილ გადამამუშავებელ საწარმოებში (ღვინისა და წველების ქარხნებში) ამ მიზნისათვის სპეციალურად გადაიარაღებულ

საამქროებში. ასეთ შემთხვევაში ჭაჭა სწრაფად უნდა გადამუშავდეს, რათა თავიდან ავიცილოთ ფერმენტაციული ჰიდროლიზის შედეგად მიღებული ზეთის მჟავიანობის გაზრდა. ჭაჭის გადამუშავებისას ექსტრაქტორების მწარმოებლობა 3-4 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე წიპწის გადამუშავების დროს.

ჭაჭიდან მიღებული ყურძნის ზეთი ხასიათდება გაზრდილი მჟავიანობით, გაუსაპნავი ლიპიდების მაღალი შემცველობითა და მუქი შეფერილობით. მას იყენებენ მხოლოდ ტექნიკური მიზნებისათვის, კერძოდ, საპნის წარმოებაში [5,10,32].

საკვები და ფარმაცევტული მიზნებისათვის განკუთვნილი უფრო მაღალი ხარისხის ზეთი მიიღება ყურძნის წიპწისაგან. ამასთან, დაუდუღებელი ჭაჭიდან გამოყოფილ წიპწის ზეთს აქვს უფრო მაღალი საკვები და ბიოლოგიური ღირებულება, ვიდრე დადუღებული ჭაჭიდან გამოყოფილი წიპწის ზეთს.

ყურძნის წიპწა, ისევე როგორც სხვა მცენარეული ზეთშემცველი ნედლეული, ხასიათდება შემდეგი თავისებურებებით:

- ზეთის მაღალი მჟავიანობა, რაც განპირობებულია ყურძნის გადამუშავების, წიპწის დამზადებისა და შენახვის დროს მიმდინარე ფერმენტაციული პროცესებით. ახლადმიღებული წიპწისგან დამზადებული ზეთის მჟავური რიცხვი მერყეობს 10-20 მგKOH ფარგლებში. წიპწის შენახვის პროცესში მისგან მიღებული ზეთის მჟავური რიცხვი მკვეთრად მატულობს და აღწევს 40-60 მგKOH-ს და მეტს;

- მნიშვნელოვნადაა დაბინძურებული გარე მინარევებით (20 %-მდე), საიდანაც 2/3-ზე მეტი მინერალური მინარევია, ხოლო დანარჩენი - ორგანული, ძირითადად ყურძნის მწვანე მასა;

- თესლის გარსის მაღალი შემცველობით - წიპწის მასის 70-75 %-მდე;

- თესლის მაღალი მექანიკური სიმტკიცითა და სათესლე გარსის ხეშეში სტრუქტურით;

ყურძნის წიპწას ზეთის მისაღებად წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები:

- გარეგანი სახე - სუფთა, ობის ნიშნების გარეშე;

- ფერი - ყავისფერი ან მოცემული ჯიშის ყურძნისათვის დამახასიათებელი სხვადასხვა შეფერილობის მუქი წითელი;

- სუნი - დამახასიათებელი ყურძნის წიპწისათვის. დაუშვებელია სხვა გარეშე სუნი;

- დაზიანებული წიპწის რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 5 %-ს;

- მინარევების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 3 %-ს;

- ზეთის მასური წილი - არანაკლები 10-15 %;

- წიპწაში ზეთის მჟავური რიცხვი - არაუმეტესი 2,5-4,0 მგKOH;

- ტენის მასური წილი - არაუმეტესი 7 % [11].

რაც ნაკლებია წიპწაში ზეთის მჟავიანობა და დაბინძურების ხარისხი, მით უფრო რენტაბელურია მისგან ზეთის მიღების პროცესი და მაღალია ზეთის ხარისხობრივი მახასიათებლები [10,11,33,34].

ყურძნის წიპწის გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, შნეკურ წნეხზე ზეთის ერთჯერადი გამოწნეხვით, მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

- წიპწის გაწმენდა გარეშე მინარევებისაგან სეპარატორებზე;

- წიპწის გაწმენდა მეტალური მინარევებისაგან მაგნიტურ სეპარატორზე;

- წიპწის კონდიციონირება-შრობა არაუმეტეს 11-12 % ტენიანობამდე;

- წიპწის დაქუცმაცება რიფლებიან და გლუვ ვალცებში;

- წიპწის ჭენჭოს მოხალვა ჩანურ დანადგარებში და მომზადება დასაწნეხად;

- ჭენჭოს დაწნეხვა შნეკურ წნეხზე;

- ზეთის პირველადი გასუფთავება მექანიკურ დამჭერებში და ფილტრწნეხებში.

ყურძნის წიპწის ერთჯერადი წნეხვისას ზეთის გამოწვლილვის ეფექტი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული წიპწის დაქუცმაცების ხარისხზე და მისი უჯრედული სტრუქტურის დარღვევაზე. მაღალჩენჩოიანი წიპწიდან კარგად დაფქვილი მასის მიღება გართულებულია ჩენჩოს სპეციფიკური აგებულებითა და ხეშეში სტრუქტურით. ამიტომაც წიპწას აქუცმაცებენ ორჯერადად - ჯერ რიფლებიან დოლებში, ხოლო შემდეგ - გლუვ, ხუთვალციან დანადგარზე. პირველ შემთხვევაში რეკომენდირებულია

ორვალციანი რიფლებიანი დანადგარი რიფლის სიღრმით 1,5 მმ. საბოლოო დაქუცმაცების შემდეგ ხუთვალციან დანადგარზე, მიღებული მასის 90-95 % უნდა გატარდეს 1 მმ-იან ბადეში.

ამგვარად დამუშავებული წიპწის მასის წნეხვისათვის მომზადების სპეციფიკა, წიპწის მაღალი ჩენჩოს შემცველობის გამო, მდგომარეობს მაღალი ხარისხით, 16 %-მდე, დატენიანებაში. ტენის მთელ მასაში თანაბრად გადანაწილებისა და ზეთის ნაწილაკების ზედაპირისაკენ გამოდევნის უზრუნველსაყოფად დატენიანება შნეკში ხდება ერთდროულად მწვავე ორთქლითა და კონდენსატით, ხოლო მოხალვის პროცესი რეკომენდირებულია განხორციელდეს ფენებსშორისი თვითშეორთქლით. წნეხში მიწოდებული ჭენჭოს ტემპერატურა უნდა იყოს არაუმეტეს 100-105 °C.

ყურძნის წიპწის ჭენჭოს ერთჯერადი წნეხვისას წნეხში ვითარდება ზეთის სიღრმისეული გამოწვლილვისათვის საკმარისი წნევა. ამ დროს შნეკის ბრუნთა რიცხვია 5-5,5 წუთში; ზეერულ ფირფიტებს შორის ღრეჩო პირველ საფეხურზე შეადგენს 0,35 მმ-ს, მეორე საფეხურზე - 0,3 მმ-ს, მესამეზე - 0,25 მმ-ს, მეოთხეზე 0,15 მმ-ს. ამგვარად მიღებული წიპწის კოპტონის ტენიანობა შეადგენს 11-12 %-ს, ხოლო მისი ზეთიანობა - 6-7 %-ს.

დაწნეხით მიღებული ზეთი შეიცავს დიდი რაოდენობით შეწონილ ნაწილაკებს და საჭიროებს მექანიკური მინარევებისაგან გასუფთავებას. პირველ ეტაპზე სპეციალურ დამჭერ-დამლექ დანადგარებზე აცილებენ შედარებით მსხვილ ნაწილაკებს, ხოლო წვრილდისპერსული ნაწილაკები გამოიყოფიან ჩვეულებრივ ფილტრ-წნეხებში.

საკვები დანიშნულებით ცხელი წნეხვით მიღებული ზეთის გამოსაყენებლად ის ექვემდებარება რაფინაციას. ხოლო ორჯერადი წნეხვის სქემის გამოყენებისას, პირველი გამოწნეხვით მიღებული ზეთი ვარგისია საკვებისათვის.

ხელმისაწვდომ ლიტერატურულ წყაროებში „ცივი“ ხერხით ყურძნის ზეთის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი დაწვრილებით აღწერილი არ

არის. არსებობს მხოლოდ ცხიმების ინსტიტუტის მიერ „სამსახურეობრივი მოხმარებისათვის“ წარმოდგენილი ანგარიშები, სადაც მოცემულია წარმოების ზოგადი აღწერა, საწყისი ნედლეულისა და მასალების დახასიათება, რეცეპტურები და მატერიალური გაანგარიშებები, მატერიალური ნაკადების სქემები, წარმოების ნარჩენები და ა.შ.

გამოწნევის გზით ზეთის გამოსავლიანობა შეადგენს 9-10 %-ს, კოპტონის რაოდენობა - 86-87 %-ს, ნარჩენები - დაახლოებით 5-5,5 %.

ყურძნის ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციით წარმოების მიზანშეწონილობა განპირობებულია, უპირველეს ყოვლისა, წიპწის დაბალი ზეთიანობით.

ექსტრაქციის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით:

- წიპწის გაწმენდა გარეშე მინარევებისაგან სეპარატორებზე;
- წიპწის გაწმენდა ფერომინარევებისაგან მაგნიტურ სეპარატორებზე;
- წიპწის კონდიციონირება 10-11 % ტენიანობამდე;
- წიპწის დაქუცმაცება რიფლებიან ვალცებზე;
- დაქუცმაცებული წიპწის გაბრტყელება გლუვ ვალცებზე;
- წიპწის ფურცლოვანი მასის ექსტრაქცია უწყვეტი ქმედების ექსტრაქტორში.

ზეთშემცველი ნედლეულის წინასწარი დაწნევის გარეშე ნედლი ფურცლოვანი სახით ექსტრაქციის შემთხვევაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს საექსტრაქციო მასის შიგა უჯრედოვანი სტრუქტურის სიღრმისეულ რღვევას. ამ მიზნით წიპწის პირველად დაქუცმაცებას ახდენენ წყვილ რიფლებიან ვალცებს შორის. წიპწის ოპტიმალური საექსტრაქციო სტრუქტურა მიიღწევა მისი შემდგომი გაბრტყელებით წყვილ გასაბრტყელებელ ვალცებს შორის გატარებით. ყურძნის წიპწის საექსტრაქციო ფურცლებს უნდა ჰქონდეთ სისქე 0,20-0,25 მმ და გასავალი 1 ვვ-იან ბადეში - 5-6 %.

ექსტრაგენტად ყურძნის საექსტრაქციო ზეთის წარმოებაში გამოიყენება ბენზინი ან ხლადონი 11. ზეთის გამოსავლიანობა ექსტრაქციის

აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით შეადგენს წიპწაში ზეთის საწყისი შემცველობის 88-90 %-ს.

ყურძნის ზეთი მისი მჟავიანობისა და გამოყენების მიმართულების მიხედვით ექვემდებარება სხვადასხვა სახის გაწმენდა-გასუფთავებას.

ნედლი ზეთი, მიუხედავად მისი მჟავიანობისა, წინასწარი მექანიკური გაწმენდის შემდეგ გამოიყენება საპნის ან ოლიფის წარმოებაში. რაფინირებულ ზეთს მჟავური რიცხვით 0,2-0,5 მგKOH იყენებენ კვების მრეწველობაში ქონოვანი მასების დასამზადებლად და, შემდგომში, მარგარინებისა და მყარი ტუალეტის საპნის წარმოებაში გამოსაყენებლად.

ხელმისაწვდომ ლიტერატურულ წყაროებში დაწვრილებით ყურძნის ზეთის ექსტრაქციული გზით მიღების პროცესი აღწერილი არ არის. არსებობს მხოლოდ შიგამოხმარებისათვის ცხიმებზეთების ინსტიტუტის (რუსეთის ფედერაცია) მიერ შესრულებული რიგი გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც ვერ ქმნიან სრულ ტექნოლოგიურ სურათს და საქართველოს პირობებში მოყვანილი ყურძნის წიპწისათვის საჭიროებენ დაზუსტებას. ყურძნის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 4 –ში.

ცხრილი 4

ყურძნის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლები [2,8,11,66]

სიმკვრივე 15 oC-ზე, გ/სმ ³	0,909-0,956
გარდატეხის მაჩვენებელი 20 oC -ზე	1,470-1,480
სიბლანტე 20 oC -ზე	52,3-63,0
გამყარების ტემპერატურა, oC	- 10-დან - 25-მდე
გასაპვნის რიცხვი, მგKOH	176-196
იოდის რიცხვი , იოდის %	103,6-157
ჰიდროქსილური რიცხვი, მგKOH	10-12
გერენის რიცხვი, %	94-96,5
რეიხერტ-მეისლის რიცხვი, %	0,2-4
პოლენსკეს რიცხვი, %	0,0-1,6
როდანული რიცხვი, იოდის %	70-82,5

დიდი ინტერვალები ყურძნის ზეთის ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებში გამოწვეულია როგორც ნედლეულის ფიზიკურ-ქიმიური

მახასიათებლების, ასევე გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემების, რეჟიმებისა და გამოყენებული საშუალებების სხვადასხვაობით.

ყურძნის ზეთს აქვს ღია ყვითელი მომწვანო შეფერილობა. ზეთის ფერის ძირითადი განმსაზღვრელი პიგმენტი ამ შემთხვევაში ქლოროფილია. ნედლ ყურძნის ზეთში მისი შემცველობა 81 მგ/კგ-ს აღწევს, ნეიტრალიზებულში - 66 მგ/კგ-ს, ხოლო გათეთრებულში - 1,1 მგ/კგ-ს.

საზღვარგარეთის ზოგიერთ ქვეყანაში (საფრანგეთი, ესპანეთი) მაღალხარისხოვანი ყურძნის ზეთის მისაღებად წიპწას აცლიან გარსს, მაგრამ პროცესი რთულია და ერთის მხრივ დაბალი ოქსიმჟავებისა და ცვილების შემცველობის ზრდის მიღების თანადროულად რამდენჯერმე იზრდება ენერგო და სხვა მატერიალური დანახარჯები, რომელთა ანაზღაურებაც ხარისხის ხარჯზე შეუძლებელი ხდება.

ზეთის წარმოების თანმხლები პროდუქტებია ყურძნის კოპტონი (დაწნევის შედეგად მიღებული მასა) და ყურძნის შროტი (ექსტრაქციის შემდეგ დარჩენილი მასა). ამასთან ყურძნის კოპტონი მდიდარია ფასეული ნაერთებით. ის, სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მონაცემებით, შეიცავს ნედლ ცხიმებს - 4-8 %, ცილებს - 12-15 %, უჯრედისს - 16-18 %, კალციუმს 0,8-0,9 %, კალიუმს - 0,35-0,40 %, ფოსფორს - 0,33-0,38 %. ყურძნის შროტში ცხიმები 1 %-მდეა, ცილები - 15 %-მდე, ხოლო უჯრედისი - 65 %-მდე [10,4,11,28,35].

არსებობს ყურძნის წიპწის კომპლექსური გადამუშავების მრავალი მიმართულება: **ყურძნის ზეთისა და ენოტანინის მიღება**

აღნიშნული ტექნოლოგია დამუშავებულია იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტისა და მეღვინეობის საკავშირო ინსტიტუტის („მაგარაჩი“, იალტა) მეცნიერების მიერ და დანერგილი იყო თბილისის ქიმიურ-ფარმაცევტულ ინსტიტუტში. აღნიშნული ტექნოლოგიით 1 ტონა წიპწიდან ღებულობდნენ 56,6 კგ ენოტანინსა და 145 კგ ზეთს, ანუ საწყისი შემცველობის, შესაბამისად, 34,2 %-ს და 98 %-ს. ზეთის ექსტრაქციისათვის გამოყენებული იყო ოთხქლორიანი ნახშირბადი, ენოტანინისათვის -

სპირტი. ყურძნის ზეთი გამოყენებული იქნა ფარმაცევტული მიზნებისათვის, ხოლო ტანინი თეთრი ღვინოების გაწმენდა-სტაბილიზაციისათვის. გამოცდებმა კარგი შედეგები აჩვენა [36,37].

ყურძნის ზეთის, ლეციტინის, ცილოვანი ჰიდროლიზატისა და ბად-ის მიღება

პ.პ.რუდენკომ შემოგვთავაზა ყურძნის წიპწის კომპლექსური გადამუშავების პრინციპული სქემა, რომლის მიხედვითაც მიიღება ზეთი, ლეციტინი ჰიდრატაციული ნარჩენიდან, ცილოვანი ჰიდროლიზატი შროტიდან და ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები ცილის მიღების შემდეგ დარჩენილი თანმხლები პროდუქტებისაგან [38].

ყურძნის ზეთის, ენოტანინის, ცილოვანი კონცენტრატისა და ფიტინის მიღება

აღნიშნული ტექნოლოგიური სქემა დამუშავებულია ე.ი. ლეკიაშვილის მიერ (თბილისი, 1982) და ითვალისწინებს ყურძნის წიპწის დაქუცმაცებას და ექსტრაჰირებას ბენზინით. ექსტრაქტი გამოიყოფა შროტისაგან, ხოლო ექსტრაქტიდან ბენზინის აორთქლებით ღებულობენ ნედლ ტექნიკურ ზეთს, რომელიც რაფინაციისა და დეზოდორაციის შემდეგ შესაძლებელია გამოყენებული იქნას საკვებადაც. შროტს აშრობენ და 96 % -იანი სპირტით ექსტრაქციით გამოყოფენ ენოტანინს. ნარჩენი შროტიდან სპეციალური ქიმიური დამუშავებით უკვე ღებულობენ ცილოვან კონცენტრატსა და ფიტინს [36].

1.3. ექსტრაჰირების პროცესის თეორიული წინაპირობები

ექსტრაქცია, ისევე როგორც დისტილაცია ადსორბცია კრისტალიზაცია და სხვა განიხილება როგორც დაყოფის ფიზიკური მეთოდი, როცა დასაყოფი კომპონენტები ქიმიურ ცვლილებებს არ განიცდიან.

სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში საკმაოდ სრულად არის წარმოდგენილი მცენარეული ნედლეულიდან შაქრისა და ზეთების ექსტრაქციის თეორიები. მკვლევარები აჩვენებენ, რომ ექსტრაქციისათვის დამახასიათებელ ჰიდროდინამიკურ პირობებში მყარი სხეულის გარე ზედაპირთან იქმნება სითხის ფენა, რომლის სისქეზე კონვექციური ნაკადი მკვეთრად მილევადია და, შესაბამისად, დიფუზიის სიჩქარეც მილევადია მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარემდე.

ცნობილია, რომ დიფუზური ფენის სისქე ფასდება ფარდობით:

$$\delta = \frac{D}{\beta},$$

სადაც D -დიფუზიის კოეფიციენტი; β -მას. გადაცემის კოეფიციენტი.

იხილავს რა დიფუზური აპკის როლს, ზოგი ავტორი შესაძლებლად თვლის უგულვებელყოს მისი წინააღმდეგობა. სხვა ავტორთა აზრით დიფუზური აპკი მნიშვნელოვან წინააღმდეგობას ქმნის, მაგალითად, შაქრის ექსტრაქციის დროს. ს. ფ. დრონოვი, ვ. მ. ლისიანსკი და გ. ა. აქსელრუდი განსაზღვრავენ, რომ ექსტრაქციის დროს ძირითადია შიგა წინააღმდეგობა, ხოლო გარე-მთლიანად დამოკიდებულია ჰიდროდინამიკულ პირობებზე და ის მნიშვნელოვნად ნაკლებია შიგაზე. დადგენილია, რომ სასაზღვრო შრეში სითხის მოძრაობის სიჩქარე უწყვეტად იზრდება. სასაზღვრო შრის სისქე, რომელშიც ხდება სითხის სიჩქარის მკვეთრი ზრდა, ტოლია

$$\delta_0 = \frac{\ell}{\sqrt{\text{Re}}},$$

სადაც ℓ - მახასიათებელი ზომაა, Re - განეკუთვნება დენადობას ზედაპირიდან მოშორებით. დიფუზური წრე, როგორც ცნობილია, განისაზღვრება არა მარტო ჰიდროდინამიკით, არამედ დიფუზიითაც და დამოკიდებულია სისტემის კომპონენტების ფიზიკურ თვისებებზე. დიფუზური შრის სისქე

$$\delta = \frac{\ell}{\sqrt[3]{Pr'} \cdot \sqrt{Re}},$$

და თუ შევაფარდებთ ერთმანეთს (3) და (2) გამოსახულებებს, მივიღებთ:

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{1}{\sqrt[3]{Pr'}}.$$

ვინაიდან $Pr' > 1$, ამიტომ $\delta_0 > \delta$ ე.ი. დიფუზური შრე ყოველთვის ნაკლებია სასაზღვროზე და მასში კონცენტრაციის გრადიენტი მაღალია.

ა.მ. გოლდოვსკიმ, უთმობდა რა დიდ ყურადღებას ზეთის ექსტრაქციის მექანიზმის შესახებ წარმოდგენის განვითარებას, დაასკვნა, რომ ექსტრაგენტი ჯერ ჰაერს განდევნის ნაწილაკებში არედან, შემდეგ აღწევს ნაწილაკების შიგა არხებში და მემბრანებიდან-უჯრედებში. ექსტრაგენტის მთელ გზაზე ხდება მასში ზეთის გახსნა. ამრიგად, ექსტრაგენტი, შეავსებს რა ნაწილაკების ყველა ფოსოებს, ქმნის არხების ერთიან სისტემას, რომლებშიც ხდება ზეთის გარეთ დიფუზია. ავტორი აუცილებელ პირობად თვლის გარე წინააღობის შემცირებას, ანუ სასაზღვრო შრე უნდა იყოს შესაძლოდ თხელი.

ს.ს. ილინმა გვიჩვენა, რომ მცენარეული ნედლეულიდან ზეთის ექსტრაქციის დროს 60 % - მდე ზეთი გამოიღება ადვილად და დიდი სიჩქარით, დანარჩენი კი ექსტრაჰირდება ნელა.

ექსტრაქციის პროცესი ს.ს. ილინმა დაყო ორ ეტაპად. პირველი - როცა ექსტრაქცია მიმდინარეობს ღია დარღვეული უჯრედებიდან და მეორე-მთელი უჯრედების მემბრანებიდან და ცხადია, ამ შემთხვევაში ექსტრაქცია წავა ძალზე ნელა. ეს დასკვნები ექსპერიმენტალურად დადასტურდა რიგი მკვლევარების მიერ.

პ.გ. რომანკოვმა შეისწავლა სოიოდან ზეთის ექსტრაქციის პროცესი და აჩვენა, რომ საერთო წინააღობა ყალიბდება გარე და შიგა წინააღობებისაგან. ამავე დროს შიგა წინააღობა ექსტრაქციის დასაწყისში შედარებით ნაკლებია, ხოლო შემდგომ დროის განმავლობაში მნიშვნელოვნად იზრდება. ალბათ, აქ დიდ როლს ასრულებს ნედლეულის ნაწილაკების სტრუქტურა,

დარღვეული უჯრედების წილი და სხვა. ამასვე აღნიშნავენ სხვა ავტორებიც.

ექსტრაქციის პროცესის მექანიზმის შესახებ სამეცნიერო ნაშრომთა ამ მოკლე მიმოხილვიდან ჩანს, რომ ავტორთა ძირითადი ინტერესების საგანი იყო შიგა და გარე წინააღობების ფარდობა და ის გზები, რომლებითაც დიფუზირდება მიზნობრივი ნივთიერება. არსად არ ყოფილა განხილული საკუთრივ გახსნის სიჩქარის საკითხი, გამოსაღები ნივთიერებისა და მცენარეული ნედლეულის ჩონჩხს შორის კავშირი. ეს ცხადი გახდება, თუ აღვნიშნავთ, რომ განხილული ნაშრომები ეხებოდნენ შაქრისა და ზეთების ექსტრაქციას, ხოლო ეს ნივთიერებები მცენარეში დაგროვილია თავისუფალი სახით, როგორც მარაგი. ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები, უმეტეს შემთხვევაში, ვეგეტაციის პირობებში ასრულებენ გარკვეულ როლს, აუცილებელს მცენარის განვითარებისათვის. შესაბამისად ისინი მცენარეში ბმულ მდგომარეობაში იმყოფებიან. მცენარეული ნედლეულიდან მათი ექსტრაქციის დროს არ შეიძლება იყოს შიგა და გარე წინააღობებს შორის იგივე თანაფარდობა. ამას განდა, ისინი სხვადასხვა გვარად არიან ლოკალიზებული სხვადასხვა მცენარის სხეულში. აღნიშნულის გამო არ შეიძლება შაქრისა და ზეთების ექსტრაქციის კვლევის მონაცემები სრულიად გადავიტანოთ ყურძნის წიპწიდან ზეთის ექსტრაქციის პროცესის დასახასიათებლად.

ნაშრომები, რომლებშიც გამოკვლეულია ექსტრაქციის პროცესები შეიძლება პირობითად დავყოთ ორ ჯგუფად: პირველ ჯგუფს მიეკუთვნებიან გამოკვლევები, რომლებშიდაც საფუძვლად აღებულია ფიკის პირველი კანონის განტოლება. მაგრამ, თუ პროცესს წარმოვიდგენთ როგორც ცალკეული ნივთიერებების ექსტრაქციების ჯამს, ანუ განვიხილავთ მას როგორც ნივთიერებების ნაწილაკების ექსტრაქციას, მაშინ პროცესი განიხილება როგორც არასტაციონალური. მეორე ჯგუფში შედიან ნაშრომები, რომლებშიდაც საფუძვლად აღებულია ფიკის მეორე კანონის განტოლება.

თანამედროვე წარმოდგენა თბომასცვლაზე დამუშავებულია ა. ვ. ლიკოვის, პ. გ. რომანკოვის, გ. ა. აქსელრუდის მიერ. ეს მკვლევარები იძლევიან სხვადასხვა ფორმის ნაწილაკების ექსტრაქციის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნას ფიკის მეორე კანონის განტოლებების საფუძველზე. განტოლებები საშუალებას გვაძლევს გავაანალიზოთ პროცესი და მოვახდინოთ მისი მოდელირება. გ.ა. აქსელრუდი გვაძლევს განტოლების ამოხსნას ნაწილაკების ფორმის გათვალისწინებით და ამას გარდა, მათი პოლიდისპერსულობისა და კინეტიკური უთანაბრობის გათვალისწინებითაც, მაგრამ იმისთვის, რომ გამოვიყენოთ აღნიშნული განტოლებები, აუცილებელია ვიცოდეთ ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტი მყარი სხეულის ფორმის შიგნით, რომელიც შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს იგივე კოეფიციენტისაგან თავისუფალ სითხეში.

მკვლევარების ნაწილი - კინგი, სმიტი, ოტმარი და სხვა მიზანშეწონილად მიიჩნევენ გამოიყენონ ემპირიული განტოლებები. მაგრამ, ემპირიული განტოლებების გამოყენების არეალი ძალზე ვიწროა და ისინი მიესადაგებიან მხოლოდ მოცემულ ნედლეულს.

ყურადღებას იმსახურებს ვ. მ. ლისიანსკის შრომები, რომლებიც გვაძლევს საშუალებას გავაანალიზოთ ექსტრაქტორის ან მთლიანად საექსტრაქციო ბატარეის მუშაობა.

ყველა აღნიშნული გამოკვლევები ჩატარებული იყო შაქრის ან მცენარეული ზეთების ექსტრაქციისათვის გარკვეული ნედლეულიდან.

ამრიგად, მყარი სხეულებიდან ექსტრაქციის კინეტიკისადმი მიძღვნილი ნაშრომების მოკლე მიმოხილვა საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოდ შემდეგი დასკვნები:

- უკანასკნელ წლებში ექსტრაქციის თეორიამ განიცადა განვითარება, რომელსაც საფუძვლად უდევს ფიკის მეორე კანონის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნა. მიღებულია ამონახსენი წესიერი სხეულებისათვის, როგორებიცაა სფერო, ფირფიტა, ცილინდრი;

- ნაწილაკებიდან ექსტრაქციის პროცესის განხილვის დროს ყველა ავტორი მიიჩნევს, რომ დიფუზიის ძირითადი წინააღმდეგობა ნაწილაკის შიგნითაა. აღნიშნულის საფუძველზე ზოგი მეცნიერი საერთოდ უგულველყოფს სასაზღვრო თხევადი შრის წინააღმდეგობას, ხოლო მისი იგნორირება, მაგალითად, წიპწის დასრესილი ბურბუშელასათვის არ შეიძლება, ხოლო მნიშვნელოვანი ზომების მქონე ნაწილაკებისათვის შიგნითაა წინააღმდეგობა იმდენად დიდია გარეზე, რომ ეს უკანასკნელი შესაძლებელია უგულვებელყოფით;

- ნაწილაკის შიგნით დიფუზიის მამოძრავებელ ძალას კონცენტრაციის გრადიენტი წარმოადგენს. ამასთან მეცნიერები მიიჩნევენ, რომ წონასწორობისას გამოსაწვლილი ნივთიერების კონცენტრაცია სითხეში, რომლითაც შევსებულია ფორები, და სითხის შუაგულში წონასწორდებიან, ვინაიდან სითხის ამ ნაწილაკებს შორის არ არსებობს რაიმე გამყოფი. შაქრისა და ზეთის შემთხვევაში ეს დებულება არ იწვევს ეჭვს, მაგრამ უფრო რთული შემთხვევისათვის საჭიროა მისი სათანადო შემოწმება;

- მცენარულ საკვებ-სამკურნალო ნედლეული და საექსტრაქციო ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები ხასიათდებიან რიგი თავისებურებებით, რის გამოც მიღებული განტოლებები საჭიროებენ შემოწმებას და შესწროებებს, შეიძლება საკმაოდ მნიშვნელოვანსაც.

1.4. ექსტრაქციის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები

ექსტრაქცია, როგორც პროცესი, გამოირჩევა გარკვეული სირთულით, ვინაიდან ის მოიცავს გახსნას, დესორბციას, დიალიზს, დიფუზიას და სხვა პროცესებს. მყარი სხეულის სითხეში გახსნისაგან განსხვავებით, ექსტრაქციის პროცესი გართულებულია უჯრედული გარსის არსებობით, რომელიც ქმნის ძირითად წინააღმდეგობას უჯრედის შიგნით გამხსნელის შესაღწევად და უჯრედის შიგნიდან ექსტრაქტული ნივთიერებების გარეთ

გამოტანისას.

ელექტრონული მიკროსკოპისა და რენდგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგენილია, რომ მცენარეული უჯრედოვანი გარსი წარმოადგენს მკვრივ ბოჭკოსმაგვარ ტიხარს, წარმოქმნილს $(C_6H_{10}O_5)_n$ შედგენილობის ცელულოზის მიცელარული ძაფებით, სადაც “n” ტოლია 600-30000 ერთეულის. ამას გარდა არსებობს პექტინოვანი პროტოცილოვანი და სხვა გარსები. უჯრედის გარსი ულტრამიკროფოროვანია დიამეტრით 0,01-0,001 მკმ და ხშირად დაფარულია ნივთიერებებით, რომლებიც ამცირებენ ან სრულიად ახშობენ ამ ფორებს, ასეთი ნივთიერებებია პროტოპექტინი, ლიგნინი, სუბერინი, კუტინი, ცვილები და სხვა. ყველა მათგანი წყალში ნაკლებად ან საერთოდ არ იხსნებიან. ყოველივე ამნელებს ექსტრაგენტის შეღწევას უჯრედში.

ულტრამიკროფოროვანი უჯრედის გარსი ქმნის დიდ ჰიდროსტატიკურ წინააღმდეგობას გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლეკულების გადაადგილებისას (მოძრაობისას) და, რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, მას შესწევს უნარი გამოაცალკაოს, დააკაოს მაღალმოლეკულური ნივთიერებები, ანუ უზრუნველყოს დიალიზი და გაატაროს ამავდროულად დაბალმოლეკულური ნივთიერებები, რომელთა რიცხვსაც მიეკუთვნებიან თითქმის ყველა ბუნებრივი წარმოშობის თერაპევტულად აქტიური ნივთიერებები.

უჯრედის გარსს გააჩნია მაკროფორები (0,1-0,2 მკმ). ისინი აკავშირებენ ურთიერთშორის უჯრედებს, ქმნიან უჯრედებს შორის კავშირებს, რომლებითაც ხორციელდება მცენარეული წვენების ნელი მოძრაობა უჯრედიდან უჯრედში.

უჯრედის შემადგენელი არასდროს არ არის წარმოდგენილი მხოლოდ ერთი ნივთიერებით. ის მოქმედი ნივთიერებების რთული კომპლექსია და შეიცავს ასევე ცვლის მკვებავ მეტაბოლიტებს, მჟავათა ფერმენტებს, მინერალურ ნივთიერებებს და სხვა, რომლებიც მოქმედებენ დესორბციის, გახსნისა და დიფუზიის პროცესებზე ანუ ექსტრაქციაზე, ახდენენ გავლენას

პრეპარატის თერაპევტულ ეფექტურობაზე.

ნედლეულიდან გამომწვლილვის პროცესი გართულებულია ექსტრაგენტ-გამხსნელის მოლეკულების ურთიერთქმედებით უჯრედოვანი სტრუქტურის მოლეკულებთან. ადგილი აქვს სორბციულ მოვლენებსაც: ნივთიერებათა უმეტესობა გამშრალ ნედლეულში იმყოფება გარსის ზედაპირზე და მის შიგნით სორბირებულ მდგომარეობაში, ენდო და ციტოპლაზმით, ფერმენტული ელემენტებით, პროტოპლაზმით. ყოველივე ეს მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ექსტრაქციის პროცესზე.

ექსტრაქციის პროცესზე მოქმედი ფაქტორები მრავალრიცხოვანია, მაგრამ მათ შორის შეიძლება გამოვყოთ:

- მოლეკულური მასა და შესაბამისად გამოსაწვლილი ნივთიერების მოლეკულების ზომა;
- უჯრედის პროტოპლაზმის კოლოიდური ნაწილაკების მუხტი;
- ექსტრაქციის პროცესის ტემპერატურა;
- დაქუცმაცებული ნედლეულის ნაწილაკების ზომები;
- ნედლეულის სიმკვრივე ნაყარ მდგომარეობაში;
- გამხსნელის სახეობა, მისი სიბლანტე და ჰიდროდინამიკური პირობები;
- ექსტრაქციის პროცესის ხანგრძლივობა დროში;
- ნედლეულში ჰაერის არსებობა;
- ცოცხალი პროტოპლაზმის არსებობა და მრავალი სხვა.

ექსტრაქცია, ამრიგად, რთული პროცესია და წარმოადგენს მთელი რიგი პროცესების შეხამებას. მათ შორისაა დასველება, გაჯირჯვება, გახსნა, ქიმიური ურთიერთქმედება, ადსორბცია, დიფუზია, დიალიზი და სხვა.

ყოველივე ზემო აღნიშნულის გამო არ არსებობს უჯრედოვანი ნედლეულის ექსტრაქციის პროცესის მკაფიოდ ჩამოყალიბებული მათემატიკური მოდელი.

განასხვავებენ უჯრედოვანი ნედლეულის ექსტრაქციის სამ ძირითად სტადიას:

1. მშრალი მცენარეული ნედლეულის გაჟღენთვა-გაჯირჯვება

ექსტრაგენტი - ე. წ. კაპილარული გაჟღენთვა. ამ დროს ხდება ექსტრაგენტის შეღწევა ნედლეულში და მასში არსებული ნივთიერებების დასველება.

2. მცენარეული უჯრედის კომპონენტების გახსნა და პირველადი წვენის წარმოქმნა.
3. გახსნილი ნივთიერებების გადასვლა ექსტრაქტში, ანუ მასათა ცვლა, ნივთიერებების მასაგადატანა უჯრედების ფოროვანი კედლებიდან (გარსიდან).

1 სტადია. მცენარეული ნედლეულის გაჟღენთვა ექსტრაგენტით ხორციელდება კაპილარული ძალების გავლენით. დაქუცმაცებული მცენარეულ ნაწილაკებს შორისი არხებით, უჯრეთ შორისი გზებით და ულტრამიკროფორებით ექსტრაგენტი ხვდება ნედლეულის სიღრმეში და უჯრედის შიგნით. გამშრალი ნედლეულის გაჟღენთვა სპონტანური, თავისთავადი პროცესია გარედან ჩარევის გარეშე. ამ დროს ძირითად როლს ასრულებს მყარი ფაზისა და ექსტრაგენტის მოლეკულების ასოციაციის ენერგია და თავისუფალი ზედაპირის ენერგია.

თუ ექსტრაგენტის მოლეკულები უფრო აქტიურად ურთიერთქმედებენ მყარი ფაზის ზედაპირულ მოლეკულებთან ვიდრე საკუთარ მოლეკულებთან, მაშინ სითხე ყოველთვის ეცდება გაზარდოს შეხების ფართი მყარ ფაზასთან და გამოიწვევს მყარი ზედაპირის დასველებას. ამ სიტუაციაში გამხსნელი, შედის რა ულტრამიკროფორებსა და წვრილ კაპილარულ მილებში სპონტანურად, სწრაფად გაჟღენთოს მცენარეულ მასალას.

თუ ექსტრაგენტის მოლეკულათა ასოციაციის ძალები აღემატებიან ამ მოლეკულების მყარი ფაზის მოლეკულებთან ურთიერთქმედების ძალებს, მაშინ დასველებას ადგილი არა აქვს და არავითარ ექსტრაქციაზე ლაპარაკი არ შეიძლება.

ექსტრაგენტის უჯრედში შეღწევის სიჩქარეზე არა მარტო კაპილარული ძალები მოქმედებენ არამედ მნიშვნელოვანია სითხის სიბლანტე,

კონტაქტის ზედაპირის ფართი და სხვა ფაქტორები. დაბალი სიბლანტის სითხე სწრაფად გაჟღენთს მასალას და პირიქით სიბლანტის გაზრდით პროცესი ყოვნდება.

ფიკის კანონის მიხედვით ექსტრაგენტის გარკვეულ შრეში გადასული ნივთიერებების რაოდენობა უკუპროპორციულია ამ ექსტრაგენტის სიბლანტისა მოცემულ ტემპერატურაზე. შესაბამისად, დაბალი სიბლანტის ხსნარები ხასიათდებიან მაღალი დიფუზური უნარით.

ექსტრაგენტი, ავსებს რა უჯრედშორის სივრცეს, გამოდენის ჰაერს, რაც ძალზედ მნიშვნელოვანია ექსტრაქციისათვის, ვინაიდან ამ დროს იზრდება კონტაქტის ფართი ნედლეულთან.

ექსტრაჰირების პირველი სტადია მთავრდება გამხსნელის უჯრედის შიგნით შეღწევის პროცესით.

მე-2 სტადია. მცენარეული უჯრედების კომპონენტების გაჯირჯება და გახსნა. პირველადი წვენის წარმოქმნა.

უჯრედის შიგნით შეღწევის შემდეგ გამხსნელი შედის ურთიერთქმედებაში უჯრედის შიგთავსისა და გარსის ყველა კომპონენტთან:

- ხსნადი ნივთიერებები დესორბირდებიან და იხსნებიან;
- შეუზღუდავად გაჯირჯებადი ნივთიერებები იჟღენთებიან და პეპტიზირდებიან;
- შეზღუდულად გაჯირჯებადი ნივთიერებები მხოლოდ იჟღენთებიან.

მიმდინარეობს სხვა პროცესებიც. მაგ. ქიმიური ურთიერთქმედება. ამ დროს უჯრედის მემბრანები სქელდებიან, ფორები იწელებიან, ხოლო ნედლეულის მოცულობა იზრდება. მცენარეული ნედლეულის ყველაზე მეტ გაჯირჯებას იწვევს წყალი, ყველაზე ნაკლებს – თხევადი ნახშირწყლები. განსაკუთრებული ადგილი ექსტრაგენტებს შორის უჭირავს სპირტს. ნედლეულის გაჟღენთვის ხარისხი (ერთი გრამი მასის ნედლეულის მიერ დაკავებული ექსტრაგენტის რაოდენობა) უკუპროპორციულია სპირტის კონცენტრაციასთან: ის რაც უფრო ნაკლებია,

მით მეტია გაჯირჯვების ხარისხი, მით უფრო მეტად იხსნებიან ფორები, ადვილად მიმდინარეობს ექსტრაქციის პროცესი.

ექსტრაგენტის მასალაში შეღწევისას უჯრედში წარმოიშვება გამხსნელში ხსნადი ნივთიერებებით კონცენტრირებული ხსნარი, რომელსაც პირველადი წვენი ეწოდება. მისი ნაწილი რჩება თავისუფალი, ხოლო ნაწილი შეიწოვება პლასტიდების ფერმენტული ელემენტების და გაჯირჯვებული უჯრედის გარსის სხვადასხვა ფორებში.

პირველადი წვენის წარმოქმნა მთავრდება ექსტრაქციის მე-3 სტადიის მასალათაცვლის ანუ საკუთრივ ექსტრაქციის სტადიის დადგომით.

მე-3 სტადია. მასალათაცვლა. მასალათაცვლის (მასაგადატანის) პროცესი წარმოადგენს ნივთიერებების ერთი ფაზიდან (სისტემიდან) მეორეში გადატანის პროცესს წონასწორობის დამყარების მიმართულებით. კონკრეტულ შემთხვევაში – მცენარეული ნედლეულიდან ექსტრაგენტში, ანუ მყარი ფაზიდან თხევადში ფაზათაშორისი ზედაპირის გავლით.

თერმოდინამიკის მეორე კანონის შესაბამისად, სითბოს თვითნებური გადაცემა ხდება მხოლოდ ცხელი სხეულიდან ცივზე და არა პირიქით. ანალოგიურად, ნივთიერების ერთი ფაზიდან მეორეში გადასვლა მიმდინარეობს მხოლოდ მათ შორის კონცენტრაციების სხვაობის შემთხვევაში: მაღალი კონცენტრაციის ფაზიდან დაბალი კონცენტრაციის ფაზაში.

თხევად ფაზაში – ექსტრაგენტში ექსტრაქციის პროცესის დასაწყისში მყარი ფაზის – მცენარეული ნედლეულის მოლეკულები საერთოდ არ არის ან არის ძალზე მცირე რაოდენობით. შემდგომში ექსტრაქტული ნივთიერებები იწყებენ გადასვლას მყარი ფაზიდან თხევად ფაზაში – ექსტრაგენტში. დროთა განმავლობაში, მოლეკულათა ქაოსური მოძრაობის წყალობით, იწყება უკუპროცესიც – თხევადი ფაზიდან ექსტრაქტული ნივთიერებების უკან, მყარ ფაზაში დაბრუნება. საწყის ეტაპზე ეს პროცესი უმნიშვნელოა, მაგრამ ექსტრაგენტში ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად უკუპროცესის სიჩქარე იზრდება.

გარკვეულ მომენტში თხევადი ფაზიდან ექსტრაქტული ნივთიერებების მყარ ფაზაში გადატანის სიჩქარე გაუტოლდება მყარიდან თხევადში გადატანის სიჩქარეს და დამყარდება წონასწორობა – მყარდება დინამიკური წონასწორობა და მასათაცვლის პროცესი წყდება.

ამრიგად, ნივთიერებების გადატანა შესაძლებელია მხოლოდ მაღალი კონცენტრაციის ფაზიდან დაბალი კონცენტრაციის ფაზაში, ანუ კონცენტრაციათა სხვაობის Δc არსებობისას. სწორედ კონცენტრაციათა არსებული სხვაობა წარმოადგენს მასაგადაცემის პროცესის მამოძრავებელ ძალას.

მასათაცვლის პროცესი დიფუზიური პროცესია. რთულ დიფუზიურ პროცესში ანსხვავენ ორი სახის ერთმანეთისაგან პრონციპულად განსხვავებულ დიფუზიას:

- a) მოლეკულური დიფუზია, რომელიც იყოფა: 1– თავისუფალ დიფუზიად და 2– შიგა დიფუზიად;
- b) კონვექციური დიფუზია.

მოლეკულური დიფუზია ხორციელდება საკუთრივ მოლეკულების ქაოსური მოძრაობების ხარჯზე. მოლეკულური დიფუზიის დამახასიათებელი თავისებურებაა მყარი და თხევადი ფაზების ურთიერთ მოძრაობა – მიკროსიმშვიდე.

მოლეკულურ დიფუზიას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ფაზების გაყოფის საზღვარზე, მცენარეული ან ცხოველური უჯრედის შიგნით, დიფუზურ (ლამინარულ) ფენაში, რომელიც გარს აკრავს მყარ ფაზას და ამ უკანასკნელის მიმართ გვევლინება უძრავი თხევადი ფაზის როლში.

მოლეკულურ დიფუზიაზე გავლენას ახდენს:

- ტემპერატურული ფაქტორი: რაც მაღალია ტემპერატურა, მით სწრაფად მოძრაობენ მოლეკულები;
- დიფუზიის სიჩქარე დამოკიდებულია ექსტრაქტული ნივთიერების მოლეკულის ზომაზე: მოლეკულური მასის გაზრდით (შესაბამისად, მოლეკულის ზომის გაზრდით) მისი მოძრაობის უნარი (სიმარდე) ეცემა.

- მოლეკულური დიფუზიისას ყველაზე მაღალი სიჩქარით გამოირჩევიან აირების მოლეკულები, ხოლო ყველაზე დაბალით – მაღალმოლეკულური ნივთიერებების მოლეკულები;
- ორი ფაზის კონტაქტის ზედაპირი: მისი გაზრდით იზრდება მასათაცვლა;
 - დიფუზური შრის სისქე, იმ შრისა, რომელშიც მიმდინარეობს დიფუზია: რაც უფრო სქელია ეს შრე, მით ნელა მიმდინარეობს დიფუზია.

ანალოგიურად მოქმედებენ დრო და რიგი სხვა ფაქტორებისა, მაგრამ დომინირებულია კონცენტრაციების სხვაობა ΔC .

მოლეკულური დიფუზიის კინეტიკის შესწავლას მიუძღვნეს თავიანთი შრომები გ.ა. აქსელრუდმა, ვ.მ. ლისიანსკიმ, ს.ფ. დრონოვმა, დალტონმა, ბერტოლემ და სხვა. ფიკმა პირველმა დაამტკიცა ანალოგია დიფუზიის კინეტიკასა და თბოგამტარებლობის კინეტიკას შორის. მან მოგვცა ამ მოვლენის რაოდენობრივი დახასიათება თხევადი სისტემებისათვის.

მყარი სხეულის სითხეში გახსნისას დიფუზიის განტოლება გამოიყვანა ა. ნ. შჩუკარევმა. მოლეკულური დიფუზიის პროცესის მისეული მათემატიკური განსაზღვრა გამოიხატება შემდეგნაირად: დიფუნდირებული ნივთიერებების რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია მოცემული ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტის, იმ ზედაპირის ფართის, რომელზეც მიმდინარეობს ეს პროცესი, დროის, კონცენტრაციათა სხვაობის და უკუპროპორციულია ფენის სისქის.

ამრიგად მოლეკულური დიფუზიის კანონის მათემატიკურ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$S_{\text{თავ}} \frac{D_{\text{თავ}} \times F \times T \times \Delta C}{d}$$

- სადაც $S_{\text{თავ}}$ – დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობა, კგ;
 $D_{\text{თავ}}$ – თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის კოეფიციენტი კგ/(მ²/წმ);
 F – ზედაპირი, რომელზეც მიმდინარეობს დიფუზია, მ²;
 T – დიფუზიის დრო, სთ;
 Δc – ფაზების დაყოფის საზღვარზე კონცენტრაციების სხვაობა, კგ/მ³;

d – დიფუზიური ფენის სისქე, მ.

მოლეკულური (თავისუფალი) დიფუზიის კოეფიციენტი $D_{თავ}$. მუდმივი სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს ერთეულ დროში (წმ) 1მ^2 ზედაპირზე 1კგ/მ^3 კონცენტრაციების სხვაობისას 1მ სისქის ფენაში დიფუნდირებული ნივთიერებების რაოდენობას კგ-ში. ეს სიდიდე მუდმივია კონკრეტული ნივთიერებებისა და კონკრეტული ექსტრაგენტი – გამხსნელისათვის.

მოლეკულური (თავისუფალი) დიფუზიის $D_{თავ}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა დიფუზიის კინეტიკური თეორიის თვალთახედვით განსაზღვრა ეინშტეინმა. მის მიერ გამოყვანილ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$D_{თავ} = \frac{R \times T}{N_0} \cdot \frac{1}{6 \times \pi \times \eta \times r},$$

სადაც $R=8,32$ ჯ/(გრად.მოლი) – კლასიკური გაზის (აირის) მუდმივია;

T – ტემპერატურა კელვინის შკალის მიხედვით ($^{\circ}\text{K}$);

$N_0=6,06 \times 10^{23}$ –ავოგადროს რიცხვია,

$\pi=3,14$;

η – თხევადი ფაზის სიბლანტეა, ნ/(წმ²);

r – დიფუნდირებული ნაწილაკის (მოლეკულის, იონის) რადიუსი, მ.

თუ მოლეკულური (თავისუფალი) დიფუზიის განტოლებაში შევიტანთ « $D_{თავ}$ » მნიშვნელობას მივიღებთ შრუკარევ-ფიკის გაშლილ განტოლებას:

$$S_{თავის.} = \frac{R \times F \times T \times \Delta C \times \tau}{d \times 6 \times N_0 \times \pi \times \eta \times r} \quad (38)$$

მიღებული განტოლების საშუალებით შეგვიძლია შევაფასოთ სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა დიფუნდირებული ნივთიერებების რაოდენობაზე თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის დროს.

თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარე წარმოადგენს ერთეულ ფართობზე ერთეულ დროში დიფუნდირებული ნივთიერებების რაოდენობას:

$$W_{თავის.} = \frac{S_{თავის.}}{F \times \tau},$$

ან, თუ ჩავსმათ ამ განტოლებაში $S_{თავ}$ მნიშვნელობას, გვექნება:

$$W_{თავის.} = \frac{R \times T \times \Delta C}{d \times 6 \times N_0 \times \pi \times \eta \times r} \text{ (კგ/(მ}^2\text{/წმ))}$$

ახლა ვნახოთ, რომელია ის ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ახდენენ გავლენას თავისუფალ მოლეკულურ დიფუზიაზე.

ჩვენ უკვე ავღნიშნეთ მოლეკულურ დიფუზიაში კონცენტრაციათა სხვაობის Δc უპირველესი როლის შესახებ. რაც შეეხება ტემპერატურას (T), მისი გაზრდა ხელს უწყობს $S_{თავ}$ და $W_{თავ}$. სიდიდეების ზრდას, ვინაიდან ამ დროს იზრდება მოლეკულების კინეტიკური ენერჯია, იზრდება მათი თბური მოძრაობა. ამავდროულად მცირდება სიბლანტე (η). დიფუზიის სიჩქარე იზრდება საშუალოდ 2-ჯერ ტემპერატურის 40°C გაზრდით.

სადიფუზიო ნივთიერების ნაწილაკების (მოლეკულების, იონების, მიცელების) ეფექტური რადიუსი (r) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დიფუზიაზე. მცირე მოლეკულები გაცილებით სწრაფად დიფუნდირდებიან, ვიდრე მსხვილი. მაგალითად, ამიაკის მოლეკულები (NH_3 , მოლეკულური მასა 17) გადაადგილდებიან ვაკუუმში 517მ/წმ სიჩქარით, ხოლო ქლორწყალბადის მოლეკულები (HCl, მოლეკულური მასა 36) იგივე პირობებში – 354 მ/წმ სიჩქარით. ამრიგად, მოლეკულური მასის 2-ჯერ გაზრდა იწვევს დიფუზიის სიჩქარის 1/3-ით დაცემას. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მაღალმოლეკულური ნაერთების მოლეკულების გადაადგილების სიჩქარე თხევად არეში ძალზედ მცირეა.

მაღალმოლეკულურ ნაერთთა და დაბალმოლეკულურ ნაერთთა დიფუზიის სიჩქარეთა სხვაობის შედეგად ხდება დიალიზი, ანუ ფრაქციონირება: საწყის მცენარეულ ნედლეულში რჩება მაღალმოლეკულური ნაერთები (ლორწო, ცილები, პექტინები და სხვა მაღალმოლეკულური ნაერთები) ექსტრაქციის შეზღუდული ექსპოზიციისას, ხოლო დაბალმოლეკულური ნაერთები (ალკალოიდები, გლუკოზიდები, ვიტამინები, ფლავონოიდები და სხვ) გადადიან გამონაწურში, ვინაიდან დაბალმოლეკულური ნაერთების « $D_{თავ}$ » 2-3 რიგით მეტია მაღალმოლეკულებიანების « $D_{თავ}$ »-ზე.

ასეთია ის ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარეზე.

ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული მოლეკულური დიფუზია იყო თავისუფალი, ანუ არ იყო შეზღუდული ტიხარით მყარ და თხევად ფაზებს შორის. უჯრედოვანი გარსის კედლების და სხვა არსებობის შემთხვევაში, რასაც ადგილი აქვს უჯრედოვანი ნედლეულის ექსტრაჰირებისას, ნივთიერებათა დიფუზია განისაზღვრება, როგორც **შიგა დიფუზია**. ამ დროს ექსტრაქტული ნივთიერებების მოლეკულები დიფუნდირდებიან საკუთრივ უჯრედოვანი გარსისა და ტიხრის სიღრმეში.

უჯრედოვანი გარსის ფიზიოლოგიური მდგომარეობა განსაზღვრავს მასათაცვლის შესაძლებლობებს. ცოცხალ უჯრედში გარსი შიგნიდან დაფენილია პროტოპლაზმით, რომელიც წყალს უშვებს უჯრედშიგნით და იქედან არ უშვებს პლაზმაში გახსნილ ნივთიერებებს. მასათა ცვლას, ექსტრაქციას ადგილი არა აქვს სანამ ცოცხალია პროტოპლაზმა. ამ დროს უჯრედიდან არავითარი ნივთიერების გამოღება არ შეძლება. ყველასათვის ცნობილია გაჭრილი ცოცხალი ჭარხლის, სტაფილოს ცივ წყალში დასველების მაგალითი: ნივთიერებათა გამოყოფას დაუზიანებელი უჯრედებიდან ადგილი არა აქვს, ექსტრაქცია არ ხდება.

სხვაგვარად იქცევა გამშრალი მკვდარი უჯრედი. მკვდარი პროტოპლაზმა ხდება შეღწევადი, უჯრედოვანი გარსი ხდება ფოროვან ტიხრად, გამჭოლი ულტრაფორებით, რომლებითაც ხდება დიფუზია, მიმდინარეობს დიალიზი.

უჯრედოვანი გარსიდან ნივთიერების დიფუზიის მექანიზმი შემდგომში მდგომარეობს: სადიფუზიო ნივთიერებების მოლეკულები ჯერ სორბირდებიან პირველადი წვენიდან მცენარეული უჯრედის კედლის მემბრანის მასალასთან, შემდეგ დიფუნდირდებიან მემბრანიდან და დესორბირდებიან ტიხრის მეორე მხარეს, გროვდებიან დიფუზურ (სასაზღვრო) შრეში და მხოლოდ ამის შემდეგ გადაადგილდებიან გამხსნელის არეში. მცენარეულ ნედლეულში უჯრედოვანი კედლის,

მემბრანის არსებობა ასევე უჯრედოვანი გარსის ცვილით, კუტინით, სუბერინით მოპირკეთება, ლიგნინისა და სხვა კომპონენტების თანხლებით, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასათა ცვლაზე, ამცირებს რა მას კიდევ უფრო მეტად (რამდენიმე რიგით) ვიდრე თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის შემთხვევაში.

ბუნებრივია, უჯრედის კედლებში, უჯრედოვან გარსში სადიფუზიო ნივთიერების დიფუზიის კოეფიციენტი იქნება ნაკლები თავისუფალ მოლეკულურ დიფუზიასთან შედარებით. ამიტომაც, მცენარეული მასალებისაგან ნივთიერებების დიფუზიის სიდიდის დასადგენად მოლეკულურ (თავისუფალ) დიფუზიის კოეფიციენტში «D_{თავ}» შეგვყავს შემასწორებელი კოეფიციენტი «B», რომელიც ითვალისწინებს პროცესის ზემოთნახსენებ გართულებებს. «D»-ს ამ შემთხვევაში ეწოდება «შიგა დიფუზიის კოეფიციენტი» «D შიგა», ხოლო შიგა დიფუზიის განტოლება ლებულობს შემდეგ სახეს:

$$S_{\text{შიგა}} = \frac{R \times T}{N_0} \times \frac{F \times \Delta C}{-6 \times \pi \times \eta \times r \times d \times B};$$

$$W_{\text{შიგა}} = \frac{S_{\text{შიგა}}}{F \times \tau} = \frac{R \times T \times \Delta C}{-6 \times \pi \times \eta \times r \times d \times B}.$$

მოლეკულური დიფუზია მიმდინარეობს უძრავ სისტემაში ნელა. ამიტომაც, პრაქტიკისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს დიფუზიას მოძრავ არეში, ანუ **კონვექციურ დიფუზიას**.

ამ შემთხვევაში ნივთიერების მოლეკულები ერთი ფაზიდან მეორეში გადადიან არა მარტო მოლეკულური მოძრაობის მიზეზით, არამედ მექანიკურადაც, ცალკეული მცირე (ელემენტარული) თხევადი ფაზის მოცულობების გადაადგილებით ცირკულაციის, შერყევის, წნევის, ტემპერატურათა სხვაობის და ა.შ. გავლენით.

კონვექციური დიფუზია ექვემდებარება კანონზომიერებებს, რომელთა მიხედვითაც კონვექციური დიფუზიის სიდიდე იზრდება მასათაცვლის ზედაპირის, კონცენტრაციათა სხვაობის, პროცესების ხანგრძლივობის,

კონვექციური დიფუზიის კოეფიციენტის გაზრდით.

სადიფუზიო ნივთიერებების მოლეკულების ზომა, მათი კინეტიკური ენერგია აქ მეორეხარისხოვანი ფაქტორების როლს ასრულებენ.

კონვექციური დიფუზიის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$S_{\text{კონვ.}} = \beta \times F \times \Delta C_{\text{ნაწ.}} \times \tau,$$

სადაც $S_{\text{კონვ.}}$ – კონვექციური დიფუზიით გადატანილი ნივთიერებების რაოდენობაა, კგ;

β – კონვექციური დიფუზიის კოეფიციენტია და წარმოადგენს 1 წამში 1მ² ფართობიდან მოძრავი სითხით გადატანილი ნივთიერებების რაოდენობას, როცა კონცენტრაციების სხვაობაა 1კგ/მ³.

F – დიფუზური პროცესის ზედაპირის ფართობი, მ².

$\Delta C_{\text{ნაწ.}}$ – ნივთიერების კონცენტრაციების სხვაობაა ფაზების დაყოფის ზედაპირსა და მოძრავი სითხის მოცულობის ცენტრში, კგ/მ³.

τ – დრო, წ.

ნივთიერების კონვექციური გადატანის სიჩქარე, რომელიც ახასიათებს გადატანილი ნივთიერების რაოდენობას ერთეულ დროში გამოითვლება როგორც

$$W_{\text{კონვ.}} = \frac{S_{\text{კონვ.}}}{\tau} = \frac{\beta \times F \times \Delta C \times \tau}{\tau} = \beta \times F \times \Delta C_{\text{ნაწ.}} \text{ (კგ/წ)}$$

კონვექციური დიფუზიის სიჩქარე ათეულობითჯერ მეტია თავისუფალი მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარეზე.

ორი სახის დიფუზიის (მოლეკულური და კონვექციური) არსებობის პირობებში მასათაგადაცემის პროცესი შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ განტოლებით (მასათაგადატანის ძირითადი განტოლება):

$$S = K \times F \times \Delta C \times \tau \text{ (კგ)}$$

ერთი ფაზიდან მეორეში გადამავალი ნივთიერებების რაოდენობა (ჩვენს შემთხვევაში უჯრედიდან ექსტრაგენტ-გამხსნელში) დამოკიდებულია

მასათაგადაცემის კოეფიციენტი (K), გამყოფ ზედაპირზე (F), კონცენტრაციების სხვაობასა (ΔC) და დროზე (τ).

მასათაგადაცემის K კოეფიციენტი აჯამებს ყველა სახის დიფუზიების მნიშვნელობებს, რომლებსაც ადგილი აქვს ექსტრაქციისას, განზოგადებული სახით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$K = \frac{1}{\frac{2r}{\eta \times D_{\text{ფიგ.}}} + \frac{d}{D_{\text{თაგ}}} + \frac{1}{\beta}}$$

სადაც r – მცენარეული ნედლეულის ნაწილაკის რადიუსია, მ;

η – მცენარეული ქსოვილის ანატომიური თავისებურებებით გამოწვეული შემასწორებელი კოეფიციენტი;

D, d, β – იგივეა რაც წინა შემთხვევაში.

მნიშვნელში ორი უკანასკნელი შესაკრები წარმოადგენენ ცვლად სიდიდეებს. რომლებიც დამოკიდებული არიან სისტემის ჰიდროსტატიკურ მდგომარეობაზე, ანუ თხევადი ფაზის გადაადგილების სიჩქარეზე.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, მასათაგადატანის პროცესი მიმდინარეობს სასაზღვრო შრეში (ლამინარული, დიფუზური შრე). ეს შრე უქმნის ძირითად წინაღობას მოლეკულურ დიფუზიას. მისი სისქე მნიშვნელოვნად მოქმედებს მასათაცვლის ინტენსივობაზე: ლამინარული (დიფუზური) შრის გაზრდით ექსტრაგენტული ნივთიერებების რაოდენობა თხევად ფაზაში ნელა იზრდება, შრის შემცირებისას – პირიქით, სწრაფად, ვინაიდან კონცენტრაციების სხვაობა შენარჩუნებულია მაქსიმალურ ნიშნულზე.

ამ შრის სისქე დამოკიდებულია, ძირითადად, ექსტრაგენტის გადანაცვლების (გადაადგილების) სიჩქარეზე.

1. თუ მასათაგადატანის პროცესი (მოქმედი და თანმდევი ნივთიერებების ექსტრაქცია მცენარეული ნედლეულიდან) მიმდინარეობს სრულ მაკროსიმპვიდეში, მაგალითად, მაცერაციის მეთოდის დროს, როცა კონვექციური დიფუზიის „ β “ მნიშვნელობა ნულის ტოლია და არსებითია მხოლოდ მნიშვნელის ორი შესაკრები – შიგა და თავისუფალი დიფუზიები. მასათაგადატანის კოეფიციენტი ასეთ

შემთხვევაში იქნება:

$$K = \frac{1}{\frac{2r}{\eta \times D_{\text{შოგ}}} + \frac{d}{D_{\text{თავ}}}}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ კონვექციური დიფუზიის კოეფიციენტი რამდენიმე რიგით მეტია თავისუფალი დიფუზიის კოეფიციენტზე და მითუმეტეს, შიგა დიფუზიის კოეფიციენტზე, მაშინ მასათაგადატანაც მთლიანად მიმდინარეობს ნაკლებეფექტურად.

2. ექსტრაგენტის ზომიერი გადაადგილების (არაუმეტეს 0,5 მ/წ სიჩქარე) შემთხვევაში დიფუზიის ყველა კოეფიციენტი არსებითია და ისინი იკრიბებიან, ანუ მასათაგადაცემის კოეფიციენტი ღებულობს მნიშვნელობას:

$$K = \frac{1}{\frac{2r}{\eta \times D_{\text{შოგ}}} + \frac{d}{D_{\text{თავ}}} + \frac{1}{\beta}} :$$

მართლაც, პერკოლაციის, რეპერკოლაციის და ურთიერთსაწინააღმდეგო ნაკადის მეთოდებით ექსტრაქციისას მასათაცვლის პროცესი ერთობ ეფექტურია.

3. ექსტრაქციის მესამე შესაძლო შემთხვევაა, როცა ექსტრაგენტი გადაადგილდება დიდი სიჩქარით. ამ დროს ნივთიერება, გადალახავს რა უჯრედოვან გარსს, ხვდება გამონაწვლილის საერთო მოცულობაში, ანუ თხევად ფაზაში. აღარ არსებობს დიფუზური შრე, ამ შრის სისქე ნოლის ტოლია და მასათაცვლის განტოლებაში მნიშვნელის მეორე შესაკრებიც ნოლის ტოლია. ამავდროულად, კონვექციური დიფუზიის კოეფიციენტი იზრდება უსასრულობამდე ($\beta \rightarrow \infty$) და მნიშვნელის მესამე შესაკრებიც ნოლის ტოლია. შესაბამისად, ასეთ შემთხვევაში მასათაგადაცემის კოეფიციენტი განისაზღვრება როგორც

$$K = \frac{1}{\frac{2r}{\eta \times D_{\text{შოგ}}}} .$$

ასეთ სურათს ვღებულობთ ექსტრაქციის გრიგალისებური მეთოდის

შემთხვევაში როცა ამრევი პროპელერის ბრუნთა რიცხვი 9000-12000-ია წუთში, აგრეთვე აკუსტიკური და ელექტროჰიდროდინამიკური მეთოდებით ექსტრაქციისას, როტორულპულსაციური აპარატებით ექსტრაქციისას.

უკანასკნელ წლებში შემოთავაზებულია ექსტრაჰირება ელექტრული განმუხტვებით, ელექტროპლაზმოლიზისა და ელექტროდიალიზის გამოყენებით. ამ შემთხვევებში ჩნდება შიგა დიფუზიის კოეფიციენტზე ზემოქმედების შესაძლებლობა, რაც განაპირობებს ექსტრაქციის პროცესის დაჩქარებას მის ყველაზე ნელ სტადიაზე.

მასათაცვლის პროცესზე მოქმედი სხვა ძირითადი ფაქტორებია:

ფაზების გამყოფი ზედაპირი (F). „მყარი მცენარეული ნედლეული – სითხე“ დამოკიდებულია ნედლეულის დაქუცმაცების ხარისხზე. F მით მეტია, რაც უფრო მცირეა ნაწილაკების ზომა. მაგრამ, პრაქტიკულად, ბევრი მცენარეული ნედლეულის 0,1-0,3 მმ ფრაქციამდე დაფქვისას ექსტრაქცია უფრო ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე 5-10 მმ ფრაქციის შემთხვევაში. ეს იმიტომ ხდება, რომ ნედლეულის ფქვილი გამხსნელში ქმნის ბურთულებს და მის გარსში ექსტრაგენტის შეღწევა გაძნელებულია. ნედლეულის გარკვეული ნაწილი ამ მიზეზით, შესაძლებელია, საერთოდ არ ექსტრაჰირდეს. ამას გარდა, ძალზე წმინდად დაქუცმაცების შემთხვევაში მკვეთრად იზრდება დაშლილი უჯრედების რაოდენობა, რასაც მივყავართ თანმყოფი ნივთიერებების გამორეცხვამდე და, როგორც შედეგი, ექსტრაქტის დაბინძურებამდე (პექტინები, ლორწო, ცილები, სხვა მაღალმოლეკულური ნაერთები). ამასთან ექსტრაქტში გადადის შეწონილი ნაწილაკების დიდი რაოდენობა. შედეგად გამოწვევლილები მიიღებიან მღვრიე, ძნელად ფილტრირებადი. აქედან გამომდინარეობს, რომ მსხვილი ნედლეული უნდა დაქუცმაცდეს ოპტიმალურ ზომებამდე: ფოთლები, ყვავილები, ბალახეული 3-5 მმ-მდე; ღეროები, ქერქი, ფესვები 1-3 მმ-მდე; თესლი და ნაყოფი 0,3-0,5 მმ-მდე. აღნიშნული ისე უნდა განხორციელდეს, რომ ნედლეულში შენარჩუნდეს უჯრედოვანი სტრუქტურა. ექსტრაჰირება

შესაძლებელია შენეღდეს, მაგრამ მიღებული გამონაწვლილი იქნება მნიშვნელოვნად სუფთა, მექანიკური მინარევების გარეშე.

კონცენტრაციების სხვაობა ნედლეულსა C_1 და ექსტრაგენტში C_2 წარმოადგენს ექსტრაქციის პროცესის მამომრავებელ ძალას. ექსტრაქციის დროს აუცილებელია მივისწაფოდეთ კონცენტრაციის მაქსიმალურად გადაცემაზე, რაც მიიღწევა ექსტრაგენტის ხშირი შეცვლით (რემაცერაცია მაცერაციის ნაცვლად), პროცესის ურთიერთსაწინააღმდეგო ნაკადით ჩატარებით და სხვა.

ექსტრაჰირების დრო (ხანგძლივობა). მასათაადაცემის ძირითადი განტოლებიდან ჩანს, რომ რაღაც ფენაში დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობა ექსტრაქციის დროის პირდაპირპროპორციულია. მაგრამ, აუცილებელია მივალწიოთ შესაძლო მაქსიმალური გამოღება უმოკლეს დროში, სხვა დანარჩენი ფაქტორის მაქსიმალურად გამოყენების – ინტენსიფიკაციის გზით.

ხანგძლივ ექსტრაქციას მივყავართ გამონაწვლილის დაბინძურებასთან. მასში გადადის მაღალმოლეკულური ნაერთები, რომელთა დიფუზიის სიჩქარეც მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების დიფუზიის სიჩქარე. ხანძლივი ექსტრაჰირების პირობებში შესაძლებელია განვითარდეს არასასურველი პროცესები ფერმენტების გავლენით. ექსტრაქციის საერთო ხანძლივობა განისაზღვრება ეკონომიკური მოსაზრებებით. ამ დროს შესაძლებელია პროცესი შევწყვიტოთ რაღაც მომენტში, ვინაიდან დამატებით გამოწვლილვით მოღებული ნივთიერება ვეღარ ანაზღაურებს გაწეულ ხარჯებს.

ექსტრაგენტის სიბლანტე (η) ფიკის კანონის მიხედვით ექსტრაგენტის რაღაც შრეში დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობა უკუპროპორციულია ამ ექსტრაგენტის სიბლანტის მოცემულ ტემპერატურაზე. შესაბამისად, დაბალი სიბლანტის ხსნარები ხასიათდებიან დიფუზიის გაზრდილი უნარით. სიბლანტის შესამცირებლად ზეთებით ექსტრაჰირებისას იყენებენ ექსტრაგენტის

შეთბობას.

პერსპექტიულია, ამ მიმართულებით, უკანასკნელ წლებში გამოყენებული გათხევადებული აირები, მაგალითად ნახშირბადის დიოქსიდი, პროპანი, თხევადი ამიაკი და სხვა. ყველაზე ხშირად იყენებენ გათხევადებულ ნახშირბადის დიოქსიდს, რომელიც ინდიფერენტულია უმეტეს ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებთან. მისი სიბლანტე წყლისაზე 14-ჯერ ნაკლებია, ეთანოლისაზე – 5-ჯერ. ნახშირბადის დიოქსიდი თხევად მდგომარეობაში მაღალ შედეგებს იძლევა ეთერზეთებისა და სხვა ჰიდროფობური ნივთიერებების ექსტრაქციისას.

ტემპერატურა (T). ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ექსტრაქციის პროცესის დაჩქარებას, მაგრამ ფიტოქიმიური წარმოებისას შეთბობას იყენებენ მხოლოდ წყლის ექსტრაქტებისათვის. ექსტრაქცია ეთანოლით და, მით უმეტეს, ეთერებით მიმდინარეობს ოთახის ტემპერატურაზე, რადგან ტემპერატურის გაზრდით იზრდება ექსტრაგენტის დანაკარგები, ამასთან მავნე და საშიშია სამუშაო პირობები.

როგორც უკვე ავლინებთ, ზეთებით ექსტრაქციისას შესაძლებელია ექსტრაგენტის შეთბობა, მაგრამ, თერმოლაბირული ნივთიერებებისათვის ცხელი ექსტრაგენტის გამოყენება დასაშვებია მხოლოდ მცირე დროის მონაკვეთში. ექსტრაგენტის გაზრდილი ტემპერატურა არასასურველია ეთერზეთოვანი ნედლეულისათვის, ვინაიდან გაცხელების პროცესში ეთერზეთები მნიშვნელოვანწილად იკარგებიან. გაზრდილი ტემპერატურა შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ისეთი ნედლეულისათვის, როგორებიცაა ფესვები, ფესურები, ქერქი და უხეში ფოთლები. ცხელი წყალი ამ დროს ხელს უწყობს ქსოვილების უკეთესად დაშორიშორებას და უჯრედოვანი კედლების დარღვევას, – ამით კი დიფუზური პროცესების დაჩქარებას.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (ზან) დამატება. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ მცირე რაოდენობით (0,01 – 0,1%) ზან-ის დამატება აუმჯობესებს ექსტრაქციის პროცესს. ამ დროს იზრდება

ექსტრაჰირებული ნივთიერებების – ალკალოიდების, გლიკოზიდების, ეთერზეთების და სხვა რაოდენობა, ზოგიერთ შემთხვევაში კი გამოწვლილის სისრულე ექსტრაგენტის შედარებით მცირე რაოდენობის გამოყენებით მიიღწევა. ზან-ის დამატება ამცირებს ზედაპირულ დაჭიმულობას ფაზების დაყოფის საზღვარზე, უმჯობესდება უჯრედის შემაკვებლის დასველება და ადვილდება უჯრედში ექსტრაგენტის შეღწევა. ამას გარდა მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ზან-ის სოლუბილიზაციის უნარი.

ექსტრაგენტის შერჩევა. მოქმედი ნივთიერებების სრულად ამოღებისა და ექსტრაჰირების მაქსიმალური სიჩქარისათვის ექსტრაგენტს წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები: სელექციურობა (შერჩევითი ხსნადობა), ქიმიური და ფარმაცევტული ინდიფერენტულობა, დაბალი ტოქსიკურობა, ხელმისაწვდომობა.

ექსტრაგენტის შერჩევა განისაზღვრება გამოსაღები ნივთიერების ჰიდროფილურობის ხარისხით. პოლარული ნივთიერებების ექსტრაჰირებისათვის დიელექტიკური მუდმივის მაღალი მნიშვნელობით, გამოიყენება პოლარული გამხსნელები; წყალი, მეთანოლი გლიცერინი; არაპოლარულებისათვის – არაპოლარული.

ლიპიდური კომპლექსების გამოყოფის კლასიკური მეთოდია არაპოლარული გამხსნელების გამოყენება. ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და ევროპის ზოგიერთ ქვეყანაში ამ მიზნით გამოიყენება ქლორწარმოებული ნახშირწყალბადები: ტრიქლორეთილენი, ტეტრაქლორეთილენი, დიქლორეთანი და სხვა. ყურძნის წიპწიდან ზეთის ექსტრაჰირებისას, ჩამოთვლილთაგან, ყველაზე ეფექტური აღმოჩნდა ტრიქლორეთილენი.

ფორიანობა და სიცარიელე. ფორიანობა წარმოადგენს ნაწილაკებში ცარიელ ადგილებს. რაც მეტია ის, მით მეტი შიგა წვენი წარმოიქმნება გაჯირჯვების დროს. სიცარიელე წარმოადგენს ნაწილაკებს შორის ცარიელ ადგილს ნაყარ მდგომარეობაში. ფორიანობასა და სიცარიელეზეა

დამოკიდებული ნედლეულის დასველებისა და გაჯირჯვების დრო. გაჯირჯვების სიჩქარე იზრდება ნედლეულის წინასწარი ვაკუუმირებით, ასევე წნევისა და ტემპერატურის გაზრდით.

ფორიანობა და სიცარიელე ახასიათებენ ნედლეულის შთანთქმის უნარს, რომელიც გამოისახება ნედლეულის შთანთქმის კოეფიციენტით $K_{\text{ფ}}$:

$$K_{\text{ფ}} = \frac{P_2}{P_1},$$

სადაც P_1 და P_2 – ნედლეულის მასაა გაჯირჯვებამდე და გაჯირჯვების შემდეგ. ნედლეულის შთანთქმის უნარი პირდაპირ დამოკიდებულებაშია მისი დაქუცმაცების ხარისხთან.

გამორეცხვის კოეფიციენტი. ის ახასიათებს დაქუცმაცებულ ნედლეულში უჯრედების რღვევის ხარისხს. თუ ეს კოეფიციენტი დაბალია, ნიშნავს, რომ ნედლეულში დარღვეული უჯრედები ცოტაა, ექსტრაჰირება მიდის ნელა და განისაზღვრება, ძირითადად, მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარით. გამორეცხვის კოეფიციენტის სიდიდედ ღებულობენ ერთეული ნედლეულიდან ექსტრაგენტისა და ნედლეულის გარკვეული თანაფარდობის პირობებში ერთ საათში გარკვეული სიჩქარით არევისას გამონაწვლილში გადასულ ნივთიერებათა რაოდენობას.

ვიზრაცია, პულსაცია, ექსტრაგენტის არეში ნედლეულის დაქუცმაცება და დეფორმაცია. ექსტრაქციის იმ მეთოდების გამოყენებისას, რომლის დროსაც ადგილი აქვს ვიზრაციას, პულსაციას, ექსტრაგენტის არეში ნედლეულის დაქუცმაცებასა და დეფორმაციას, მნიშვნელოვნად იზრდება ექსტრაჰირების სისრულე და სიჩქარე. ეს აიხსნება შემდეგი გარემოებებით:

- მყარ ნაწილაკებზე ინტენსიური ზემოქმედებისას წარმოიქმნებიან ძლიერი ტურბულენტური დინებები, ჰიდროდინამიკური მიკრონაკადები, რომლებიც ხელს უწყობენ მასათა გადატანას და ნივთიერებების გახსნას. ასეთი მოვლენა აღინიშნება როგორც ნაწილაკების ზედაპირებზე, ისე მათ შიგნით. შედეგად მიიღწევა ინტენსიური არევა ცალკეული უჯრედების შიგნითაც კი;
- ნედლეულის ნაწილაკების ინტენსიური რხევებისას ხახუნის

ადგილებში ლოკალურად იზრდება ტემპერატურა, მცირდება ექსტრაგენტის სიბლანტე, ხოლო შედეგად ვლუბლობთ შიგა დიფუზიის კოეფიციენტის ზრდას;

- ტურბულენტურობის გაზრდისა და მიმდებარე ფენების სტრუქტურის დარღვევის შედეგად სასაზღვრო დიფუზური შრე იფიტება ან აქვს ძალზე მცირე სისქე;
- ინტენსიური რხევების შედეგად ადგილი აქვს შეკუმშვისა და გაწელების ზონების პერიოდულობას. ამ დროს, გაჭიმვის მომენტში, ექსტრაგენტში იქმნება სითხის გაწყვეტის ზოლები (კავიტაციური ზონები), რომლებიც ძალისმიერად იხურებიან (ამ დროს წნევა რამდენიმე ათეულ მპა-ს აღწევს). ამ პროცესის დადებითი მხარეა ნაწილაკების დისპერგირება და, შესაბამისად, ფაზათაშორისი ზედაპირის გაზრდა.

ელექტროიძვლასური განმუხტვებით ზემოქმედება. ამ დროს ჩქარდება ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოწვლილვის პროცესი. ამის მიზეზია ნაპერწკლოვანი განმუხტვებით ნედლეულში გამოწვეული მიკროაფეთქებები, რომლებიც შლიან მასალის უჯრედოვან სტრუქტურას. სითხეში წარმოშობილი რხევები ამცირებს ექსტრაქციის დროს და ზრდის ბიოაქტიური ნაერთების გამოსავალს.

მასათაცვლის დამთავრებას თან ერთვის ნივთიერების კონცენტრაციების თანასწორობა ორივე ფაზაში. დინამიკურ წონასწორობას მივყავართ იქამდე, რომ მცენარეულ ან ცხოველურ ნედლეულში რჩება ფასეული კომპონენტების რაღაც ნაწილი, რომელიც შემდეგ გადაიყრება. ასეთი მატერიალური დანაკარგები ცნობილია სახელწოდებით „დანაკარგები დიფუზიაზე“ და მათი რაოდენობა განისაზღვრება განტოლებით:

$$P_x = \frac{V}{V} \times X_0,$$

სადაც P_x – მატერიალური დანაკარგები, ანუ ექსტრაქტული ნივთიერებების რაოდენობა, რომელიც რჩება გამოფიტულ ნედლეულში, კგ;

X_0 – ექსტრაქტული ნივთიერებების რაოდენობა საწყის ნედლეულში, კგ;

V – ექსტრაქციის დასრულების შემდეგ ნედლეულში დარჩენილი ექსტრაგენტის რაოდენობა, ლიტრი;

V – ექსტრაქციისათვის გამოყენებული ექსტრაგენტის რაოდენობა, ლ;

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ „Px“ სიდიდის შემცირება შესაძლებელია, თუ შვცვლით „V“ და „V“ სიდიდეებს. დანაკარგები მით მეტია, რაც მეტია „V“ – შროტში დარჩენილი ექსტრაგენტის რაოდენობა. შროტში დარჩენილი ექსტრაგენტის რაოდენობის შესამცირებლად წარმოებაში იყენებენ ცენტრიფუგირებას ან გამოწნეხვას.

ამრიგად, ჩვენ გავეცანით ზოგიერთ მონაცემებს ექსტრაქციის პროცესის არსსა და მექანიზმზე, იმ ფაქტორებზე, რომლებიც მოქმედენ თითოეულ სამი განხილული სახის დიფუზიაზე და მასათაგადატანაზე საერთოდ. აქვე უნდა ითქვას, რომ აქტუალურობისა და პრაქტიკული მნიშვნელოვნების მიუხედავად, ექსტრაქციის პროცესი ჯერ კიდევ არასრულადაა შესწავლილი და საჭიროა ამ მიმართულებით სამუშაოების გაგრძელება.

შედეგების განსჯა

2. კვლევის ობიექტები და ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია

2.1. ექსტრაქციის პროცესის კვლევის წინაპირობები

ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოებას დიდი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს. საქართველოში მისი დამზადება ხდებოდა ყურძნის წიპწის შრობის, დაქუცმაცების, ჰიდროთერმული დამუშავებისა და ჭენჭოს დაწნევის გზით. ეს მეთოდი კი ზეთის საერთო შემცველობის 40–45 %-ზე მეტს არ იძლეოდა. დაბალი იყო რენტაბელობა და წარმოებამ მიიღო მიღევადი, მინორული ხასიათი.

ზეთის მიღების კომბინირებული ხერხი: ჯერ ჭენჭოდან ზეთის გამოწნევა, ხოლო დარჩენილი კოპტონის ექსტრაქცია პრაქტიკულად ზეთის მაქსიმალური გამოწვლილვის საშუალებას გვაძლევს, მაგრამ დიდია მატერიალური დანახარჯებიც. აღნიშნულმა გარემოებამ განაპირობა წიპწიდან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციით წარმოების აუცილებლობა. შესაბამისად, პირდაპირი ექსტრაქციით ზეთის წარმოების პროცესების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა აქტუალურია.

ამისათვის, როგორც ავლნიშნეთ, მიზანშეწონილია ყურძნის წიპწის შრობა, ჰიდროთერმული დამუშავება, წიპწის დაქუცმაცება, ვალცებში გატარება და ბურბუშელას მაგვარი ფოთლოვანი მასის მიღება, მისი ექსტრაქცია ორგანული გამხსნელით - ტრიქლორეთილენით, გამხსნელის გამოხდა ექსტრაქტოვანი ზეთის მიღებით. გამოხდას ექვემდებარება აგრეთვე ექსტრაქციის შემდეგ ყურძნის წიპწის შროტში დარჩენილი ექსტრაგენტი. საბოლოოდ, მიღებული მშრალი შროტი შესაძლებელია გამოვიყენოთ მრეწველობის მრავალ დარგში. ცნობილია მისი გამოყენების მაგალითები სოფლის მეურნეობაში სასუქად, ინტერესს იწვევს მისი გამოყენების შესაძლებლობა, როგორც მაღალცილოვანი პროდუქტის. პერსპექტიულია წიპწის შროტიდან კოსმეტიკურ–ფარმაცევტული

დანიშნულების ბიოლოგიურად აქტიური ფენოლური და სხვა ნაერთების წარმოება. ყურძნის წიპწის მშრალ შროტში 20%-ზე მეტი ცილაა. ის მდიდარია მიკროელემენტებითაც.

ჩვენს მიზანს შეადგენდა წინასწარ დამუშავებული და ვალცებში გატარებული ყურძნის წიპწის ექსტრაქციის პროცესის შესწავლა, მისი ოპტიმიზაცია და ექსტრაქტოვანი ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება. შესაბამისად, საჭირო იყო ნედლეულის (ყურძნის წიპწის ბურბუმელას) რეგულარულად და ერთგვაროვანი სახით მიღების წინაპირობების შემუშავება.

გამშრალ ყურძნის წიპწას ვაქუცმაცვებით 1–2 მმ ფრაქციამდე ჩაქუჩებიან წისქვილში. დაქუცმაცების ძირითადი მიზანი იყო უჯრედული სტრუქტურის შესაძლო მაქსიმალურად დაშლა და ნედლეულისათვის ისეთი სტრუქტურის მიცემა, რომ გაადვილდეს შემდგომი ოპერაციები: ჰიდროთერმული დამუშავება, ვალცებზე ბურბუმელას მიღება და ზეთის პირდაპირი ექსტრაქცია. დაქუცმაცების კარგი ხარისხი მიიღწევა ყურძნის წიპწის არაუმეტესი 10% ტენიანობის დროს. ნაყოფში არსებული ზეთი განაწილებულია ნაწილაკების ზედაპირებზე აკვის სახით, რომლის სისქე 10^{-6} მმ-ის რიგისაა და დაკავშირებულია ნაწილაკთან მოლეკულური ურთიერთქმედების უზარმაზარი ძალებით. სწორედ ამ ძალების გადასალახავად ან საგრძნობლად შესამცირებლად იყენებენ ყურძნის წიპწის დაქუცმაცებული მასის ჰიდროთერმულ დამუშავებას. სხვადასხვა ზეთოვანი მარცვლეული კულტურების ჰიდროთერმული დამუშავებისას იყენებენ ტემპერატურას, არაუმეტესი 105°C -ს. ჰიდროთერმული დამუშავების ხანგრძლივობა არ აღემატება 30–40 წამს. ვალცებში გატარებისას ტემპერატურა დაგვყავს $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$ -მდე.

ექსტრაქციისათვის გამოიყენებოდა ვალცებიდან მიღებული ბურბუმელა, რომელიც ექსპერიმენტში ყოველი ცდისათვის გამოიწნეებოდა იმ რაოდენობით, რა რაოდენობითაც ცდისათვის იყო საჭირო. როგორც წესი, თითოეული ცდისათვის ვიღებდით 120 გ

ვალცებზე ახლად გამოწეხილ წიპწის ბურბუშელას.

ცნობილია, რომ უწყვეტი ქმედების საპირისპირო დინების საექსტრაქციო დანადგარები მაღალი მწარმოებლურობით ხასიათდებიან, მაგრამ აქვთ მთელი რიგი უარყოფითი მხარეები, რომლებიც ისეთი მცირეტონაჟიანი ზეთოვანი კულტურებისათვის, როგორც ყურძნის წიპწა საქართველოში, თვალნათლივ წარმოჩინდებიან:

- უწყვეტი ქმედების აპარატებში ნედლეულის დაყოვნების ხანრძლივობა, უკეთეს შემთხვევაში, 20–25 წუთს არ აღემატება, რაც ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის (დიფუზური პროცესების) დამთავრებისათვის არასაკმარისია. ხდება ზეთის არასრული ექსტრაქცია და შროტთან ერთად ზეთის დანაკარგების ზრდა. უკეთეს შემთხვევაში ეს დანაკარგები 10–15 %-ს შეადგენს;
- უწყვეტი ქმედების სერიული საექსტრაქციო დანადგარები დიდ სიმძლავრეებზეა გაანგარიშებული (დღეღამური მწარმოებლურობა არანაკლებ 100 ტონა ნედლეულს შეადგენს) და ნაკლებად მისაღებია წიპწის ზეთის წარმოებაში.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციისათვის მიზანშეწონილია პერიოდული ქმედების საექსტრაქციო აპარატების გამოყენება. ნახ.1–ზე ნაჩვენებია ასეთი აპარატის სქემა, რომელიც დამუშავებული და რეალიზებულია ვ.ხვედელიძის მიერ, მოდიფიცირებულია ა.ბანცაძის მიერ და, როგორც წინისწარმა ექსპერიმენტმა გვიჩვენა, სავსებით გამართლებულია წინასწარ ჰიდროთერმულად და მექანიკურად დამუშავებული ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ორგანული გამხსნელით ზეთის ექსტრაქციისათვის [56]

ყურძნის წიპწის ბურბუშელას შემთხვევაში ექსტრაქტორის მუშაობის პრინციპი შემდეგია: ბურბუშელა 120 გ-ოდენობით (ექსტრაქტორის მაქსიმალური დატვირთვის შემთხვევაში – 500 გ) იყრება ექსტრაქტორში. აღნიშნულ მასას ესხმება ექსტრაგენტი ისე, როგორც ექსპერიმენტის პირობებით იქნება გათვალისწინებული (ყურძნის წიპწის ზეთის

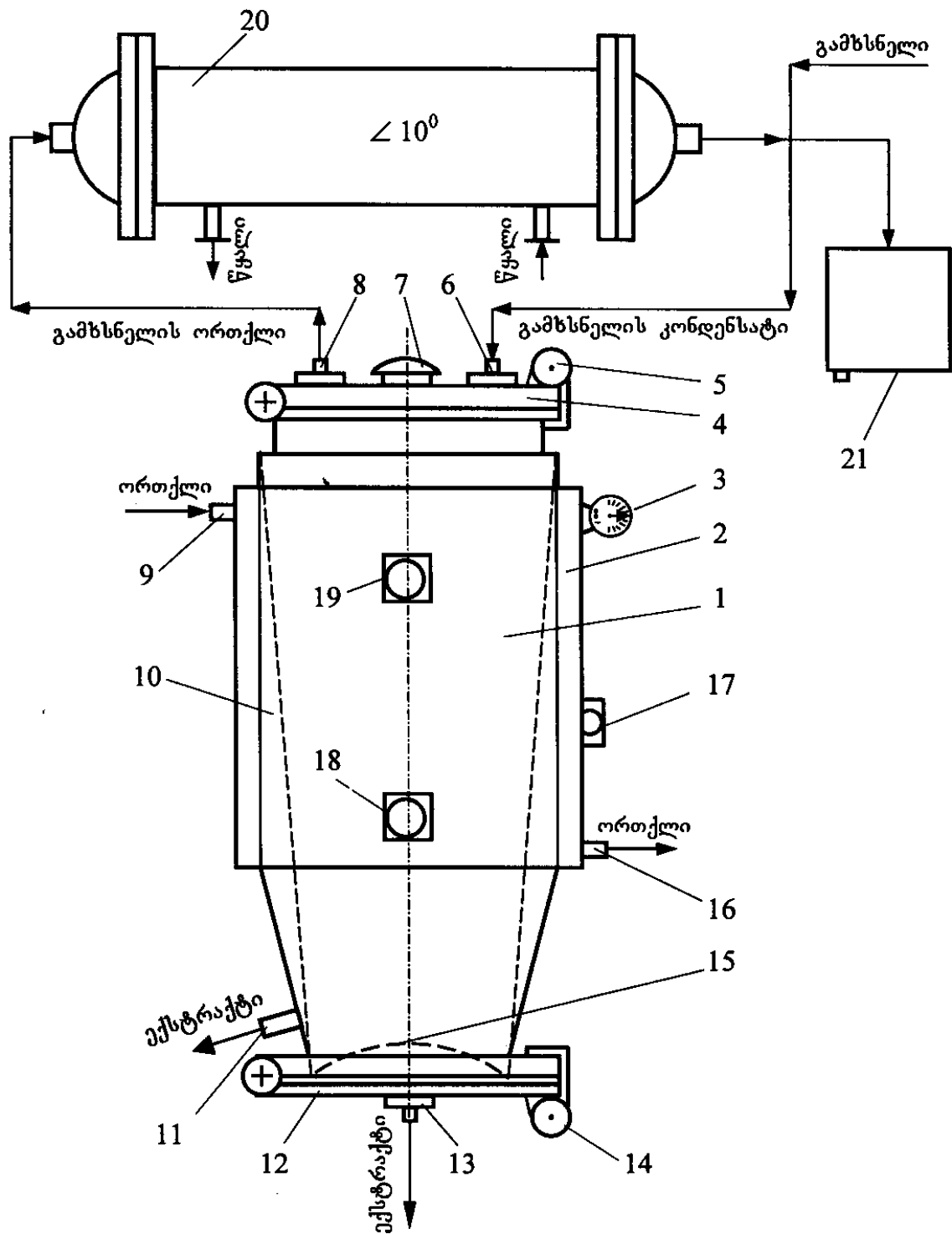
წარმოებისას იმდენი, რომ ექსტრაქტორის მოცულობა 70...75%-მდე შეივსოს). ამის შემდეგ გამაცხელებელ პერანგში ხდება ორთქლის გატარება და საკუთრივ ექსტრაქცია ხორციელდება გარკვეულ ტემპერატურაზე, რომელიც რეგულირდება თერმორეგულატორით. პროცესის დაჩქარებისათვის პერიოდულად ირთვება ვიბრატორები. საექსტრაქციო მასის გახურების შედეგად წარმოქმნილი წყლისა და გამხსნელის ორთქლი სარქველიდან გაივლის თბომცვლელს. შემდეგ კონდენსირდება და სარქველით უბრუნდება ექსტრაქტორს. ვაკუუმის ან წნევის მატების თავიდან ასაცილებლად ექსტრაქტორზე დაყენებულია წნევის სარქველი. ვიზუალურად წნევის ცვალებადობას ვაკონტროლებთ მანომეტრის საშუალებით.

ექსტრაქციის დამთავრებისთანავე ექსტრაქტს ვღებულობთ სარქველებიდან. ამის შემდეგ შესაძლებელია პროცესის მეორედ, მესამედ და ასე შემდეგ გამეორება, თუ ამას საჭიროება მოითხოვს.

როგორც კი ორგანული გამხსნელით ნედლეულის ექსტრაქცია დამთავრდება, შროტიდან ექსტრაგენტის რეკუპერაციისათვის გამაცხელებელ პერანგში ვუშვებთ ორთქლს. ასევე, გარკვეული წნევით ვაწვდით ორთქლს სარქველიდანაც. გამხსნელის ორთქლი წყლის ორთქლთან ერთად თბომცვლელში წარიტაცება სარქველიდან, კონდენსირდება და ჩაედინება ავზში. ამ დროს სარქველი დახურულია.

დასასრულს შროტი, განთავისუფლებული ორგანული გამხსნელისაგან, გამოიტვირთება ექსტრაქტორის ხუფიდან და საჭიროების შემთხვევაში მიეწოდება უტილიზაციისათვის.

ექსტრაქტორი შედგება კორპუსისაგან 1, რომლის ცილინდრულ ნაწილს გარს აკრავს პერანგი 2 ექსტრაქციის საჭირო ტემპერატურის მისაღწევად. ნედლეულის ჩაყრა წარმოებს ზედა ხუფიდან 4, რომელიც გერმეტულად იკეტება ჩამკეტით 5, ხოლო ექსტრაჰირებული ნარჩენის გამოყრა სწარმოებს ქვემო ხუფიდან 12 ჩამკეტით 14.



ნახ.1. ექსპერიმენტული საექსტრაქციო დანადგარის
პრინციპული სქემა

1-კორპუსი; 2-პერანგი; 3-მანომეტრი; 4-ზედა ხუვი; 5,14-ჩამკვეთები; 6,8-ექსტრაგენტის სარქველები; 7-წნევის სარქველი; 9,16-ორთქლის სარქველები; 10-ცრუ კედელი; 11,13-ექსტრაგენტის სარქველები; 15-ცრუ ძირი; 17-თერმორეგულატორი (თრ); 18,19-ვიბრატორები; 20-თბომცვლელი; 21-ექსტრაგენტის ავზი.

კორპუსის 1 შიგნით მთელ სიმაღლეზე მოთავსებულია კონუსური ცრუ კედელი 10 კონუსური მეტალის ფურცლის ბადის სახით, რათა მასში თავისუფლად იმოძრაოს ექსტრაგენტმა და არ გავიდეს ნედლეული. ქვედა ხუფზეც 12 დამაგრებულია ასეთივე სფერული ბადე 15, რომელიც ფილტრის როლს ასრულებს.

პერანგში 2 გამაცხელებელი აგენტის (ორთქლი, წყალი) მიწოდება ხდება მილისიდან 9, ხოლო გამოშვება-მილისიდან 16. ექსტრაქტს ღებულობენ მილისებიდან 11 და 13, რომლებიც სარქველების მოვალეობას ასრულებენ. ექსტრაქტორი აღჭურვილია მზომი საკონტროლო ხელსაწყოებით: წნევის სარქველით 7, მანომეტრით 3 და თერმორეგულატორით 17, რომელიც არეგულირებს ტემპერატურას ექტრაქტორში.

ექსტრაქციის პროცესში ექსტრაგენტის ორთქლი სარქველიდან 8 გაივლის თბომცვლელს 20 და კონდენსატის სახით მიეწოდება სარქველით 6 ექსტრაქტორს. თბომცველი 20 დამონტაჟებულია დახრილად, ჰორიზონტალურის მიმართ 10° -ით, რათა ექსტრაგენტის კონდენსატი თვითდინებით მოხვდეს ექსტრაქტორში.

აღნიშნული ექსტრაქტორის შიგა მოცულობაა $3,5\text{მ}^3$. მუშა მდგომარეობაში კი საექსპლუატაციო მოცულობა შეადგენს $2,6...2,7\text{მ}^3$. სწორედ ამ მოცულობას იკავებენ საექსტრაქციო ნედლეული და ორგანული გამხსნელი.

ვიბრატორების 18 და 19 პერიოდული ჩართვით (სულ ოთხი, ექსტრაქტორის გარშემო, სიმეტრიულად) ხდება, საჭიროების შემთხვევაში, პროცესის ინტენსიფიკაცია: გამოსავლის გაზრდა პროდუქციის ხარისხობრივი მახასიათებლების, როგორც შემდეგ ვნახავთ, ნაწილობრივი გაუარესების ხარჯზე.

ექსტრაქტორის მუშაობის პრინციპი შემდეგია. ყურძნის წიპწის ბურბუშელა იყრება ექსტრაქტორში მასით 20-25კგ და ესხმება ექსტრაგენტი ისე, რომ ექსტრაქტორის მოცულობა შეივსოს 70-75%-მდე. ამის შემდეგ ხდება გამაცხელებელ პერანგში 2 ორთქლის გატარება და საკუთრივ

ექსტრაქცია გარკვეულ ტემპერატურაზე, რომელიც რეგულირდება თერმორეგულატორით 17. პროცესის დაჩქარებისათვის პერიოდულად ირთვება ვიბრატორები 18 და 19. ექსტრაქტისა და მასალის გახურების შედეგად წარმოშობილი წყლისა და გამხსნელის ორთქლი სარქველიდან 8 გაივლის თბომცველს 20, კონდენსირდება და უბრუნდება სარქველით 6 ექსტრაქტორს. ვაკუუმის ან წნევის მატების თავიდან ასაცილებლად ექსტრაქტორზე დაყენებულია წნევის სარქველი 7. ვიზუალურად წნევის ცვალებადობას ვაკონტროლებთ მანომეტრის 3 საშუალებით.

ექსტრაქციის დამთავრების შემდეგ ექსტრაქტს ვღებულობთ 11 და 13 სარქველებიდან. ამის შემდეგ შესაძლებელია პროცესის მეორედ, მესამედ და ა.შ. განმეორება, თუ ამას საჭიროება მოთხოვს.

ორგანული გამხსნელით ნედლეულის ექსტრაქციის დამთავრების შემდეგ, ყურძნის წიპწის შროტიდან ექსტრაგენტის რეკუპერაციისათვის, გამაცხელებელ პერანგში 2 ვუშვებთ ორთქლს. ასევე, გარკვეული წნევით ორთქლს ვაწვდით სარქველიდან 13. გამხსნელის ორთქლი წყლის ორთქლთან ერთად წარიტაცება სარქველიდან 8 თბომცველში 20, კონდენსირდება და ჩაედინება ავზში 21. ამ დროს სარქველი 6 დახურულია.

დასასრულს, მშრალი შროტი ექსტრაჰირდება წყლით გარკვეულ ტემპერატურაზე იგივე თანმიმდევრობით.

საექსტრაქციო დანადგარი (ნახ. 1) საშუალებას იძლევა ჩაერთოს უწყვეტი ქმედების სისტემაში, როცა მიმდევრობით იტვირთება და განიტვირთება ქსელში ჩართული ექსტრაქტორები, რომლებსაც ერთი საერთო შემასქელებელი და საშრობი დანადგარები აერთიანებთ სხვა კომუნიკაციებთან ერთად.

2.2. ოპტიმიზაციის პარამეტრებისა და მათზე მოქმედი

ფაქტორების შერჩევა და დასაბუთება

2.2.1. ოპტიმიზაციის პარამეტრების შერჩევა და დასაბუთება

წინასწარ დამუშავებული ყურძნის წიპწის ბურბუშელადაც ზეთის

ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის ძირითად პარამეტრად ვღებულობთ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის გამოსავლიანობას B_0 , კგ/ტ.

ოპტიმიზაციის მეორე კრიტერიუმად მივიღეთ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის წარმოებაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები (ექსტარქცია, გამხსნელის რეკუპერაცია)- E , დოლარი/ტ (აქ 1 კვტ*სთ ენერჯის ღირებულებად მივიღეთ 0,1 დოლარი). ოპტიმიზაციის მეორე კრიტერიუმის შერჩევა განპირობებულია იმ მოსაზრებითაც, რომ ყურძნის წიპწის ზეთის ტექნოლოგიის დამუშავებისას ოპტიმიზაციის ინტეგრალური კრიტერიუმების შერჩევა, რომლებიც მოიცავენ მწარმოებლურობას, თვითღირებულებას, პროდუქციის ხარისხს, წარმოების მოგებას და ასე შემდეგ, მიზანშეწონილი არ არის შემდეგი მიზეზებით: ცნება "მოგება" ამორფულია და არ შეიძლება გამოდგეს რაიმე ინტეგრალური კრიტერიუმის წანამდღვრად. მწარმოებლურობის ზრდაც არ შეიძლება იყოს ოპტიმალურობის კრიტერიუმი. ასევე რთულია საწარმოო ექსპერიმენტის პირობებში ვიმსჯელოთ პროდუქციის თვითღირებულებაზე, მით უმეტეს, რომ არ არსებობს სტაბილური ფასები ნედლეულზე, მასალებზე, ენერჯიასა და შრომაზე. მესამე, წარმოებულ ეკონომიკურ კრიტერიუმად ვღებულობთ ენერგოთვითღირებულებას, როგორც ერთეული მიზნობრივი პროდუქტის (ზეთის) წარმოებაზე დახარჯული რეალური ენერჯის ღირებულება D , დოლარი/კგ.

შემდგომში უნდა მოვკებნოთ პროცესების წარმართვის ისეთი რეჟიმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის მაქსიმალურ გამოსავლიანობას შესაძლო მინიმალური ენერგოდანახარჯების პირობებში. აღნიშნულის რეალიზაციისათვის დავამუშავებთ საწარმოო ეკონომიკურ მოდელებს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმალური რეჟიმების დადგენა, მათი უზრუნველყოფისა და კონტროლის მეთოდების დამუშავება.

2.2.2. ოპტიმიზაციის პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორებისა და მათი ვარიანტების ინტერვალების დასაბუთება

ლაბორატორიული ექსპერიმენტების შედეგებმა საშუალება მოგვცეს დაგვედგინა ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე მოქმედი რიგი ფაქტორების მოქმედების ხასიათი და დიაპაზონი. მათ შორისაა, ექსტრაქციის ხანგრძლივობა და ტემპერატურა, ექსტრაგენტისა და ნედლეულის მასური თანაფარდობა, საექსტრაქციო მასის (ექსტრაგენტი, წიპწა) ექსტრაქტორში რხევების სიხშირე, ამპლიტუდა და პერიოდულობა.

ამას გარდა, ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებზე მოქმედებენ რიგი არარეგულირებადი ფაქტორებისა, როგორებიცაა ელექტროენერჯის, ორთქლისა და საწვავის ტარიფების ცვალებადობა; ყურძნის პლანტაციების ადგილმდებარეობა, კლიმატური პირობების ცვალებადობა, მოსავლის აღების დრო, ბურბუშელას მიღების პირობები, მისი ტენიანობა, ექსტრაქციის პირობები, ექსტრაგენტის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები და მრავალი სხვა.

ყველა ჩამოთვლილი ფაქტორის გათვალისწინება დაგეგმილ ექსპერიმენტში პრაქტიკულად შეუძლებელია, დაკავშირებულია დროისა და საშუალებების მრავალჯერად ზრდასთან და, რაც მთავარია, მიგვიყვანს ნაკლებად საიმედო შედეგებამდე.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტის შედეგებისა და სხვადასხვა მცენარეული ზეთოვანი ექსტრაქტების წარმოების მრავალწლიანი გამოცდილების გათვალისწინებით ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცაში შევიტანეთ ოთხი ფაქტორი:

- ექსტრაქციის ხანგრძლივობა m , წთ;
- ექსტრაქციის ტემპერატურა t , °C;
- ექსტრაგენტისა და ყურძნის წიპწის ბურბუშელას მასური თანაფარდობა n , ლ/კგ;

– პულსაციისას რხევების სიხშირე T , წ⁻¹. ამ დროს დავეყრდენით ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგებს და რხევის ამპლიტუდა მივიღეთ მუდმივი 1 მმ-ს ტოლი. რხევებს ვახორციელებთ პერიოდულად ყოველ 10 წუთში 1 წუთის განმავლობაში.

ფაქტორები, რომლებიც შევიდნენ დაგეგმვის მატრიცაში, მათი დონეები და ვარირების ინტერვალები მოყვანილია ცხრ.5-ში. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცად გამოვიყენეთ ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური გეგმა, რომელიც ყველაზე მოხერხებულია დასახული მიზნების რეალიზაციისათვის, ვარსკვლავური მხარი ამ შემთხვევაში ± 2 -ის ტოლია. ექსტრაგენტად გამოვიყენეთ ტრიქლორეთილენი, რომლის დუდილის ტემპერატურაა **87 °C**, რაც სავსებით მისაღებია საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის ერთის მხრივ და პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის მეორეს მხრივ (ექსტრაქცია მიმდინარეობს დუდილის ტემპერატურის ახლოს) [57].

ცხრილი 5

ფაქტორები და დონეები	ექსტრაქციის ტემპერატურა t , °C	ექსტრაქციის ხანგრძლივობა m , წუთი	გამხსნელი/ნედლეული n , ლ/კგ	ვიბრაციის სიხშირე T , 1/წმ
კოდირებული აღნიშვნა	X_1	X_2	X_3	X_4
ძირითადი დონე	65	120	10	3
ვარირების ინტერვალი	10	10	1	1
ზედა დონე	70	130	11	4
ქვედა დონე	50	110	9	2
$a = + 2$	80	140	12	5
$a = - 2$	40	100	8	1

ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები

3. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის საწარმოო ექსპერიმენტის დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია

3.1. ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის რეალიზაცია

ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები მოყვანილია ცხრ. 6-ში წითელი ყურძნის წიპწისათვის და ცხრ.7-ში თეთრი ყურძნის წიპწისათვის. დაგეგმვის შერჩეულ მატრიცაში შევიდა ოთხი ფაქტორი: ექტრაქციის ტემპერატურა t , მისი ხანგრძლივობა m , გამხსნელისა და ბურბუშელას მასური თანაფარდობა n და პულსაციისას რხევების სიხშირე T .

ცხრილი 6

წითელი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები

№ რიგზე	ჩატარების №	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁ , კგ/ტ (B)	Y ₂ , დოლ/ტ (E)	Y ₂ / Y ₁ (D)დოლ/კგ
1	19	-1	-1	-1	-1	115	148	1,29
2	3	1	-1	-1	-1	123	166	1,35
3	7	-1	1	-1	-1	143	168	1,17
4	1	1	1	-1	-1	151	186	1,23
5	15	-1	-1	1	-1	145	170	1,17
6	11	1	-1	1	-1	153	200	1,31
7	2	-1	1	1	-1	161	190	1,18
8	5	1	1	1	-1	181	220	1,21
9	12	-1	-1	-1	1	109	148	1,36
10	4	1	-1	-1	1	141	166	1,18
11	6	-1	1	-1	1	137	168	1,23
12	8	1	1	-1	1	169	186	1,1
13	10	-1	-1	1	1	139	170	1,22

14	13	1	-1	1	1	171	200	1,17
15	23	-1	1	1	1	167	190	1,14
16	20	1	1	1	1	199	220	1,1
17	9	-2	0	0	0	133	145	1,09
18	18	2	0	0	0	173	193	1,11
19	21	0	-2	0	0	121	165	1,36
20	14	0	2	0	0	177	205	1,16
21	16	0	0	-2	0	115	157	1,36
22	22	0	0	2	0	175	213	1,22
23	24	0	0	0	-2	151	185	1,22
24	17	0	0	0	2	163	185	1,13
25	25	0	0	0	0	165	185	1,12
26	26	0	0	0	0	165	185	1,12
27	27	0	0	0	0	165	185	1,12
28	28	0	0	0	0	165	185	1,12
29	29	0	0	0	0	165	185	1,12
30	30	0	0	0	0	165	185	1,12
31	31	0	0	0	0	165	185	1,12

ცხრილი 7

თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები

№ რიგზე	ჩატარების №	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁ , კგ/ტ (B ₀)	Y ₂ ,დოლ/ტ (E)	Y ₂ / Y ₁ (D),დოლ/კგ
1	19	-1	-1	-1	-1	101	150	1,48
2	3	1	-1	-1	-1	109	164	1,5
3	7	-1	1	-1	-1	125	166	1,33
4	1	1	1	-1	-1	133	180	1,35
5	15	-1	-1	1	-1	129	168	1,3
6	11	1	-1	1	-1	137	194	1,42
7	2	-1	1	1	-1	153	184	1,2
8	5	1	1	1	-1	161	210	1,3
9	12	-1	-1	-1	1	95	150	1,58
10	4	1	-1	-1	1	123	164	1,33
11	6	-1	1	-1	1	119	166	1,39
12	8	1	1	-1	1	147	180	1,22
13	10	-1	-1	1	1	123	168	1,36
14	13	1	-1	1	1	151	194	1,28
15	23	-1	1	1	1	147	184	1,25
16	20	1	1	1	1	175	210	1,2
17	9	-2	0	0	0	115	148	1,29
18	18	2	0	0	0	151	188	1,24

19	21	0	-2	0	0	109	164	1,5
20	14	0	2	0	0	157	196	1,25
21	16	0	0	-2	0	101	156	1,54
22	22	0	0	2	0	157	204	1,3
23	24	0	0	0	-2	133	180	1,35
24	17	0	0	0	2	141	180	1,28
25	25	0	0	0	0	145	180	1,24
26	26	0	0	0	0	145	180	1,24
27	27	0	0	0	0	145	180	1,24
28	28	0	0	0	0	145	180	1,24
29	29	0	0	0	0	145	180	1,24
30	30	0	0	0	0	145	180	1,24
31	31	0	0	0	0	145	180	1,24

რეგრესიის კოეფიციენტების არსებითობას ვამოწმებდით სტიუდენტის კრიტერიუმით უტყუარობის 0,95 დონისა და $f_2=30$ თავისუფლების ხარისხისათვის, ხოლო მიღებული რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობას ვამოწმებდით ფიშერის კრიტერიუმით. სტატისტიკურად არაარსებითი ეფექტების გამორიცხვის შემდეგ მივიღეთ შემდეგი სახის ადეკვატური რეგრესიის განტოლებები:

წითელი ყურძნის წიპწისათვის:

$$Y_1 = 165 + 10 X_1 + 14X_2 + 15X_3 + 3X_4 + 6X_1X_4 - 3X_1^2 - 4X_2^2 - 5X_3^2 - 2X_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 185 + 12X_1 + 10X_2 + 14X_3 + 3X_1X_3 - 4X_1^2; \quad (2)$$

$$D = Y_2/Y_1. \quad (3)$$

თეთრი ყურძნის წიპწისათვის:

$$Y_1 = 145 + 9 X_1 + 12X_2 + 14X_3 + 2X_4 + 5X_1X_4 - 3X_1^2 - 3X_2^2 - 4X_3^2 - 2X_4^2; \quad (4)$$

$$Y_2 = 180 + 10X_1 + 8X_2 + 12X_3 + 3X_1X_3 - 3X_1^2; \quad (5)$$

$$D = Y_2/Y_1. \quad (6)$$

განტოლებები (1), (2), (4) და (5) ექსპერიმენტულადაა მიღებული, ხოლო განტოლებები (3) და (6) მათგანაა შემდგომი დამუშავებით გამოყვანილი. ამასთან, განტოლება (3) და (6) წარმოადგენს ერთეული მიზნობრივი პროდუქტის წარმოებაზე ენერგეტიკულ თვითღირებულებას, შესაბამისად,

წითელი და თეთრი ყურძნის წიპწისათვის.

მიღებული რეგრესიის განტოლებების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრ.8 და ცხრ.9–ში, შესაბამისად, წითელი და თეთრი ყურძნის წიპწისათვის. ყველა შემთხვევაში კმაყოფილდება პირობა: $F_{საანგარ.} < F_{კრიტ.}$ [58].

ცხრილი 8

რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (წითელი ყურძნის წიპწისათვის)

პრამეტრები Y(i)	f ₁	f ₂	S ² y	S ² არაად	α	t _{0,95;31}	F _{საანგ}	F _{კრ}
B ₀ (Y ₁), კგ/ტ	6	16	7,5	17,350	0,95	2,447	2,313	3,92
E (Y ₂), დოლ/ტ	6	19	7,1	15,950	0,95	2,447	2,246	3,89

ცხრილი 9

რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (თეთრი ყურძნის წიპწისათვის)

პრამეტრები Y(i)	f ₁	f ₂	S ² y	S ² არაად	α	t _{0,95;31}	F _{საანგ}	F _{კრ}
B ₀ (Y ₁), კგ/ტ	6	16	6,6	18,150	0,95	2,447	2, 750	3,92
E (Y ₂), დოლ /ტ	6	19	6,2	16,150	0,95	2,447	2, 573	3,89

მიღებულ რეგრესიის განტოლებებში X_i ცვლადები კოდირებულ მასშტაბშია მოცემული. მათ ნატურალურ მასშტაბში გადაყვანას მოვახდენთ ექსპერიმენტის პირობების გათვალისწინებით (ცხრ.1) შემდეგი ფორმულებით:

$$X = (t - 60)/10; \quad X = (m - 60)/10; \quad X = n - 7; \quad X = T - 3. \quad (7)$$

გამოძახილების ზედაპირების ერთზომადი კვებები, რომელებიც (1) – (5) განტოლებების მიხედვითაა აგებული, მოცემულია ნახ.2– ნახ. 4-ზე. ყოველი ფაქტორისათვის გრაფიკები აგებულია იმ პირობით, რომ დანარჩენი ფაქტორების მნიშვნელობები დაფიქსირებული იყოს ძირითად (ნულოვან) დონეზე.

მიღებული რეგრესიის განტოლებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ

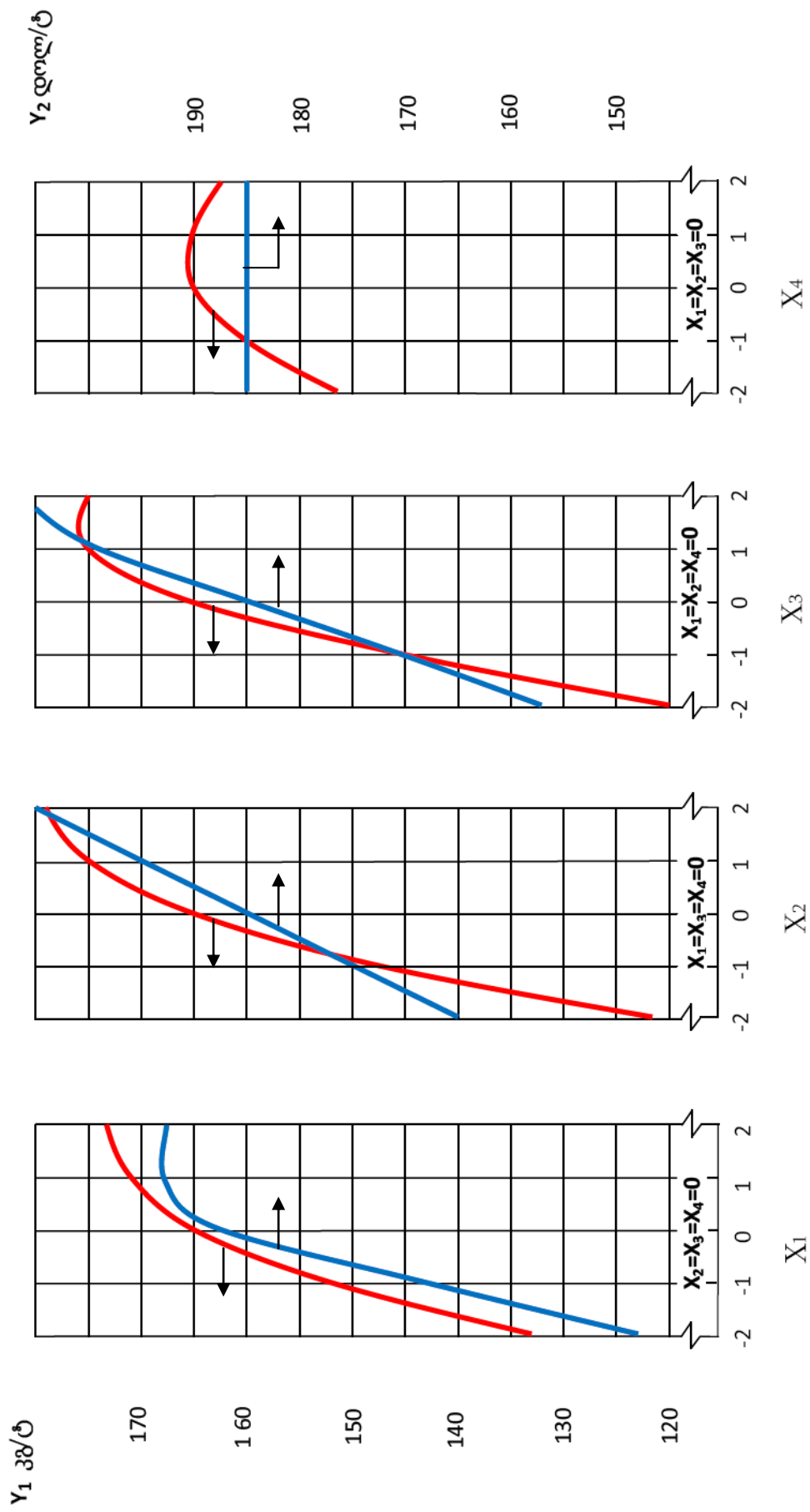
ყველა ფაქტორი მნიშვნელოვნად მოქმედებს ოპტიმიზაციის შერჩეულ პარამეტრებზე.

X_1 ფაქტორის ცვლილებით ოპტიმიზაციის პარამეტრები პარაბოლურად იცვლებიან ისე, რომ E და B_0 პარამეტრებს აქვთ გამოხატული მაქსიმუმები ექსპერიმენტის არეში ან მასთან ახლო (ნახ.2–ნახ.3), ხოლო D პარამეტრს ექსპერიმენტის არეში აქვს მაქსიმუმი წითელი წიპწისათვის და მინიმუმი – თეთრი წიპწისათვის (ექსპერიმენტის ცენტრის ახლოს, მარჯვნივ ნახ.4), თუმცა ეს სიდიდეები არ არიან მკვეთრად გამოხატული (საშუალო მნიშვნელობასთან ახლოსაა).

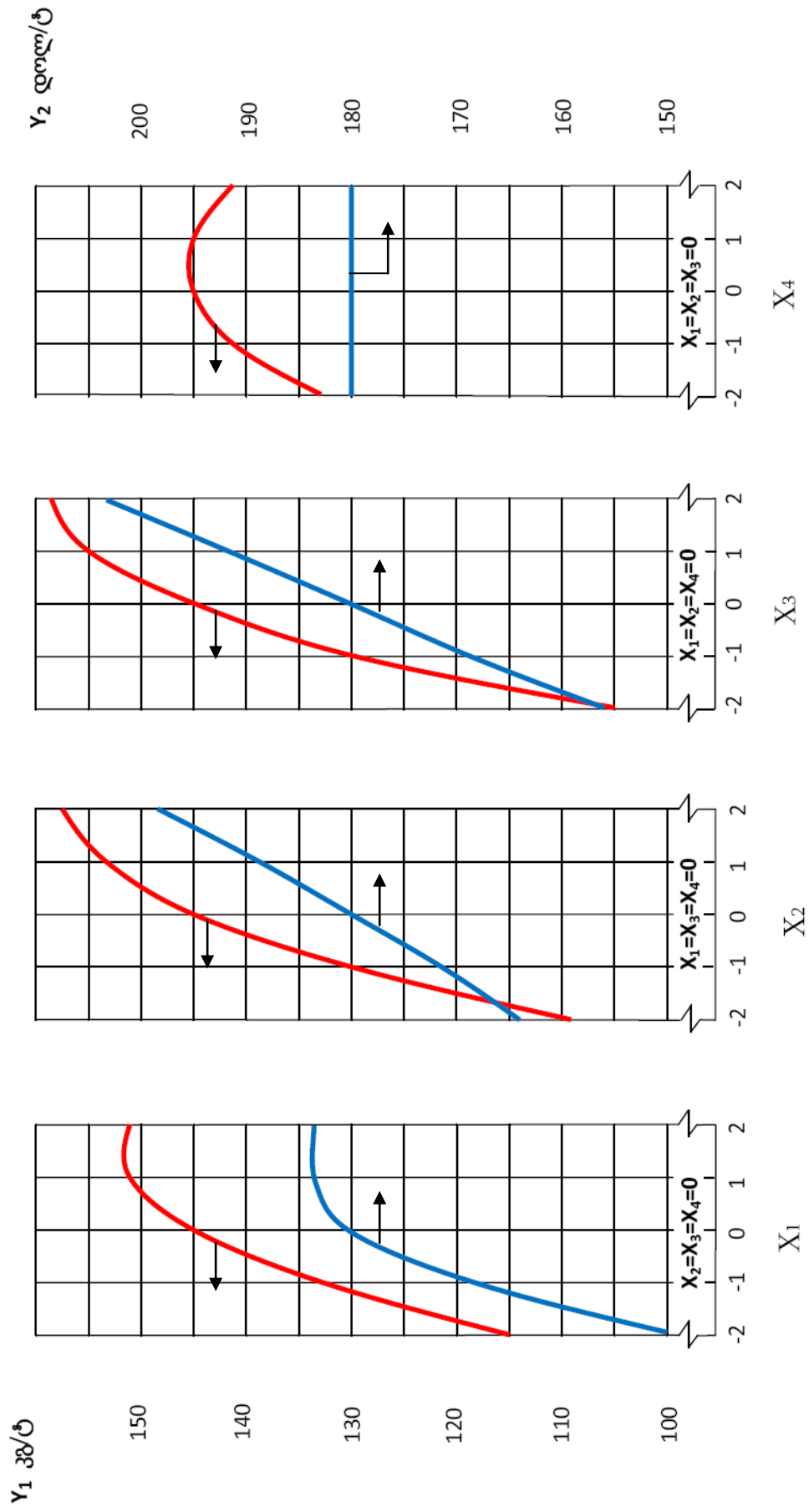
X_2 ფაქტორის გავლენით ოპტიმიზაციის B_0 პარამეტრი პარაბოლურად იზრდება ისე, რომ ექსპერიმენტის არეში მაქსიმუმი არ ჩანს, ხოლო პარამეტრი E წრფივად იზრდება (ნახ.2–ნახ.3). რაც შეეხება D პარამეტრს, ის პარაბოლურად იცვლება მინიმუმით ექსპერიმენტის ცენტრთან ახლოს, მარჯვნივ (ნახ.4).

განსაკუთრებულ გავლენას მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავლიანობასა და ენერგოდანახარჯებზე ახდენს X_3 ფაქტორი (ფარდობა "ექსტრაგენტი/წიპწა"). ფაქტორის გაზრდით B_0 პარამეტრი პარაბოლურად იცვლება ისე, რომ მაქსიმუმი (+1) – (+2) ინტერვალში უნდა ვეძებოთ; რაც შეეხება E პარამეტრს, ის ორივე სახის წიპწისათვის წრფივად იზრდება (ნახ.2–ნახ.3). D პარამეტრი X_3 ფაქტორის გაზრდით პარაბოლურად იცვლება მკვეთრად გამოსახული მინიმუმით ექსპერიმენტის ცენტრთან ახლოს, მარჯვნივ (ნახ.4).

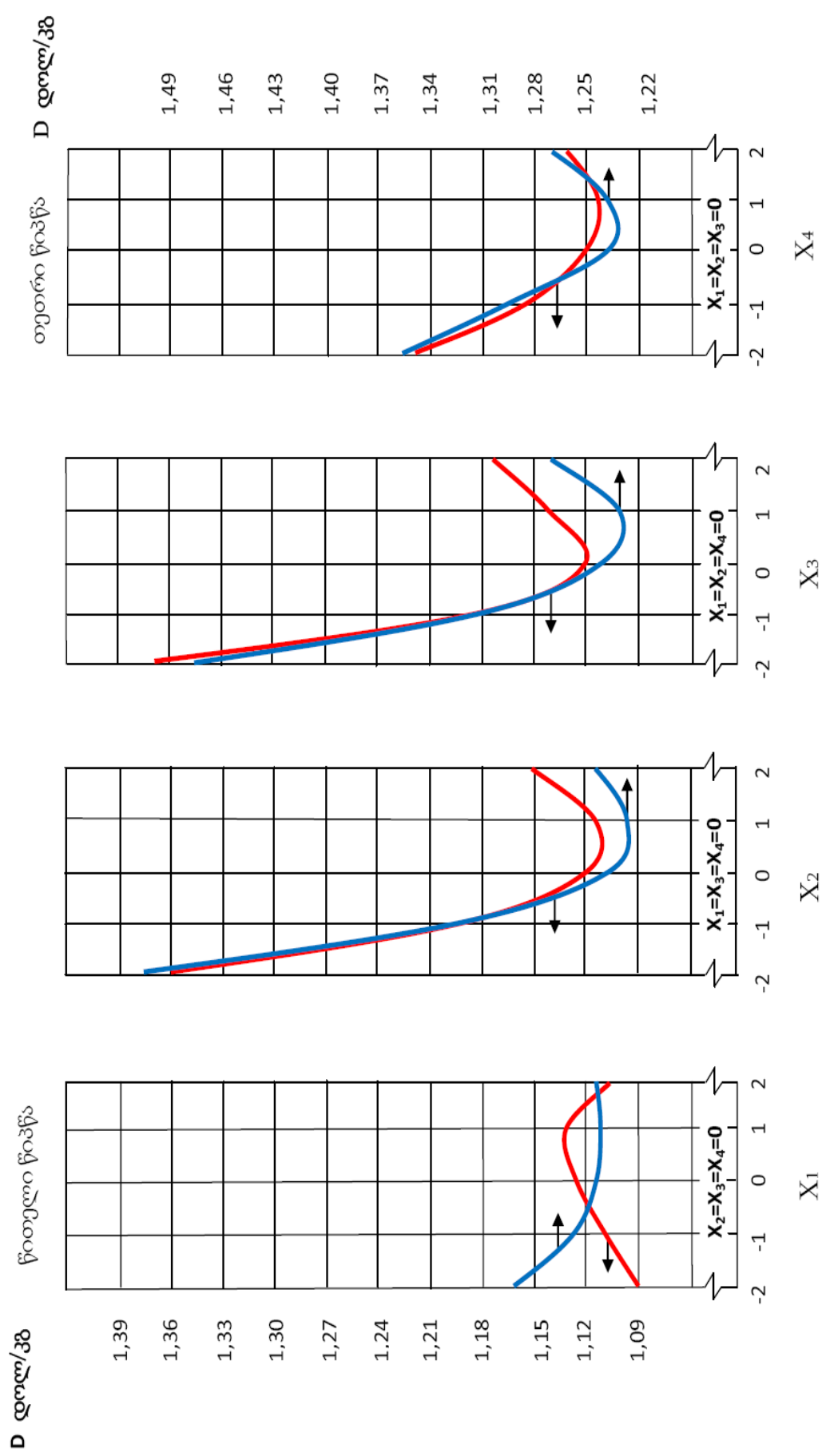
X_4 ფაქტორს აქვს მკვეთრად გამოსახული მაქსიმუმი B_0 პარამეტრებისათვის ძირითად დონესთან ახლოს, მარჯვნივ. ხოლო ამ ფაქტორის ცვლილება E პარამეტრებზე გავლენას პრაქტიკულად არ ახდენს (ნახ.2–ნახ.3). რაც შეეხება D პარამეტრს, ის ორივე სახის წიპწისათვის X_4 ფაქტორის ცვლილებით პარაბოლურად იცვლება მკვეთრად გამოხატული მინიმუმით ექსპერიმენტის ცენტრის ახლოს, მარჯვნივ (ნახ.4).



ნახ. 2. რეგრესიის განტოლებების ერთობლივი კვლევა ფორმის წიგნისათვის



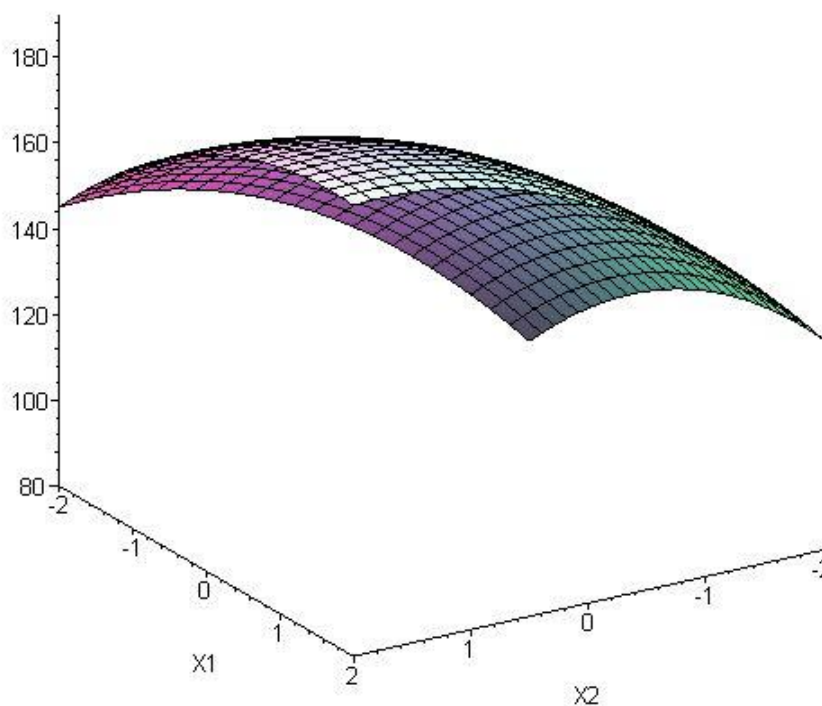
ნახ. 3. რეგრესიის განტოლებების ერთობლივი კვლევა თეორიული ეკონომიკის წიგნისათვის



ნახ. 4. $D = Y_2/Y_1$ ფუნქციის ერთზომიანი კვებები თეთრი და წითელი ყურძნის წიპწისათვის

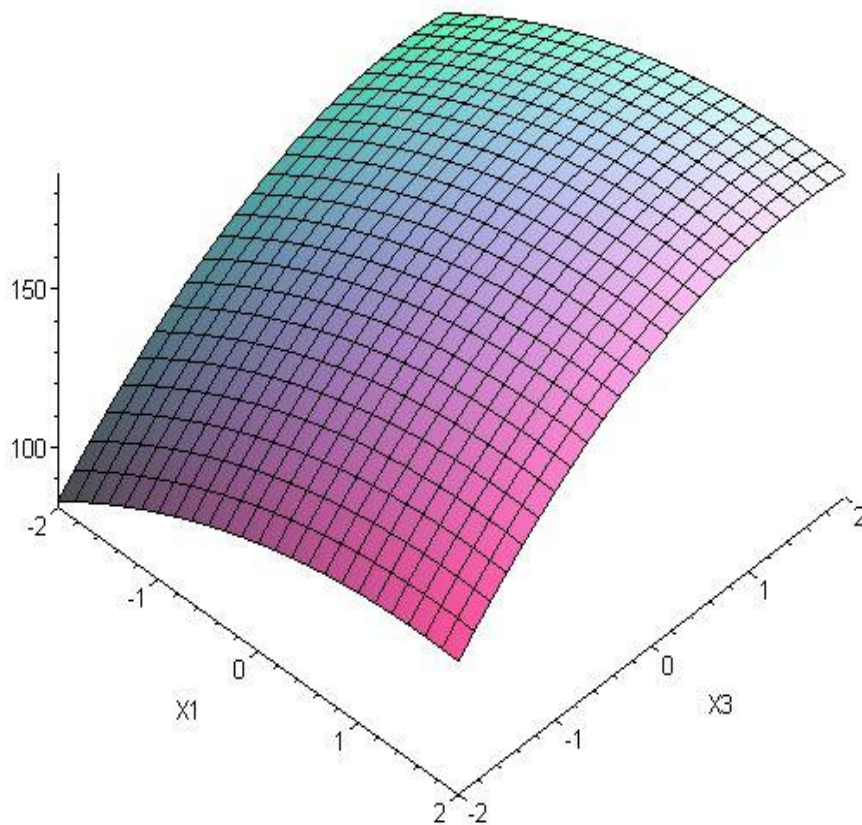
ოპტიმიზაციის B_0 პარამეტრისათვის ორმაგი ეფექტების ზედაპირები მოცემულია ნახ.5–ნახ.16–ზე. ყველა ეფექტს გარდა $Y_1(X_1X_2)$ ეფექტისა, ორივე სახის ყურძნის წიპწისათვის აქვს ამოზნექილი პარაბოლოიდის ფორმა ექსპერიმენტის არეში, რომელთა პიკების კოორდინატები მოცემულია ცხრ.10–ში. $Y_1(X_1X_2)$ ეფექტების ზედაპირებს როგორც წითელი (ნახ.7), ისე თეთრი ყურძნის წიპწისათვის აქვთ უნაგირის ფორმა ექსტრემალური წერტილების გარეშე.

Live



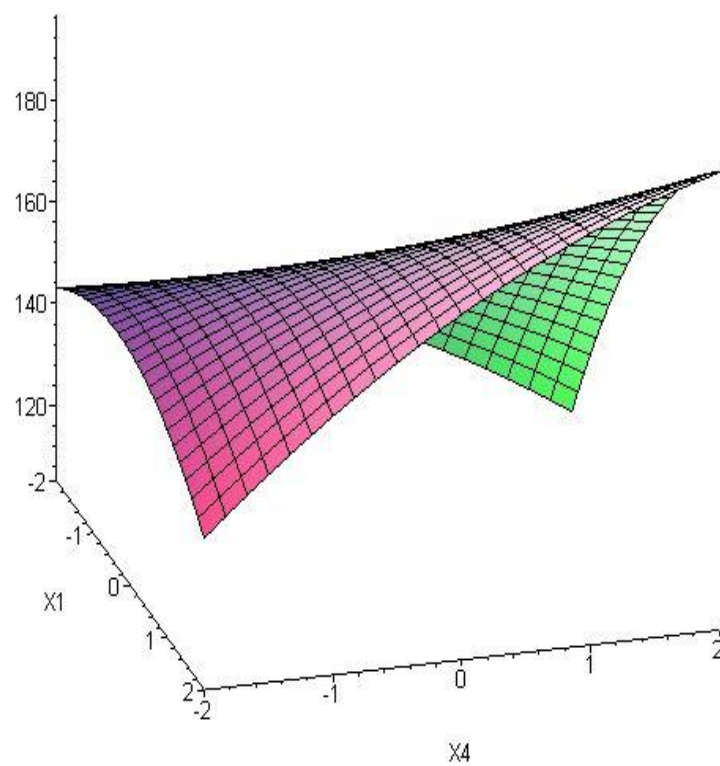
$$Y_1 = 165 + 10 X_1 + 14X_2 - 3X_1^2 - 4X_2^2$$

ნახ.5. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



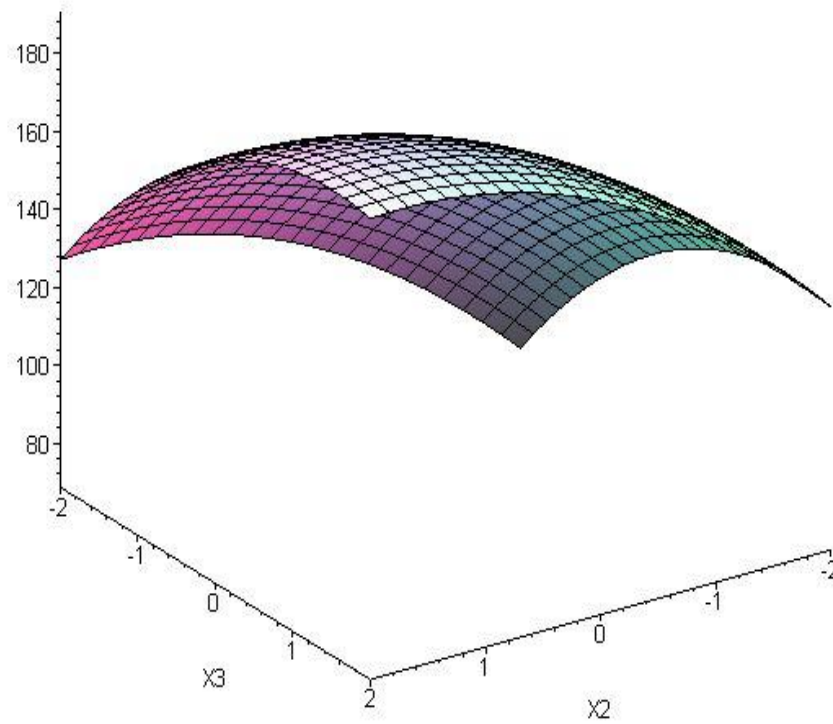
$$Y_1 = 165 + 10 X_1 + 15X_3 - 3X_1^2 - 5X_3^2$$

ნახ.6. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



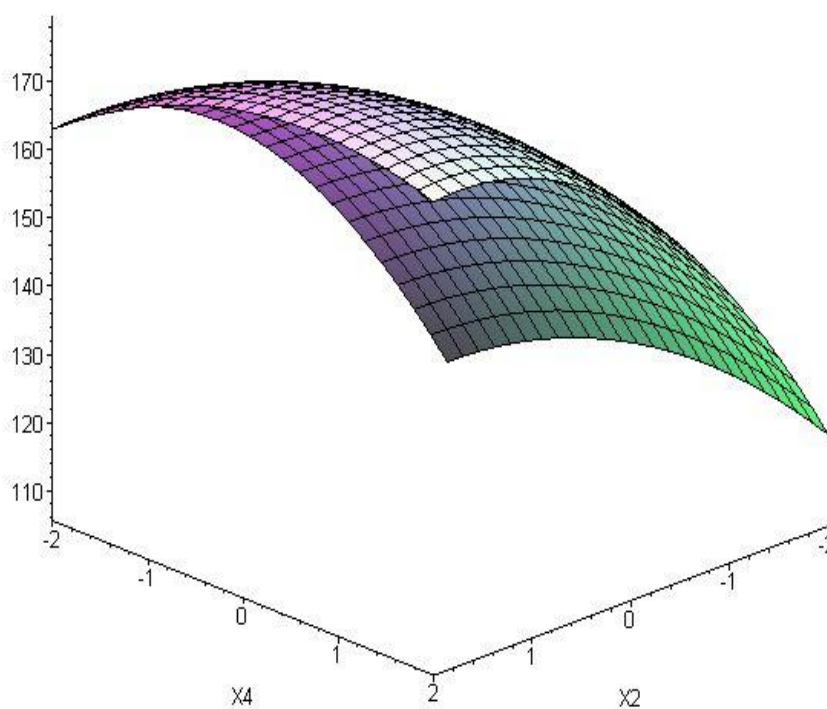
$$Y_1 = 165 + 10 X_1 + 3X_4 + 6X_1X_4 - 3X_1^2 - 2X_4^2$$

ნახ.7. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ვიბრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



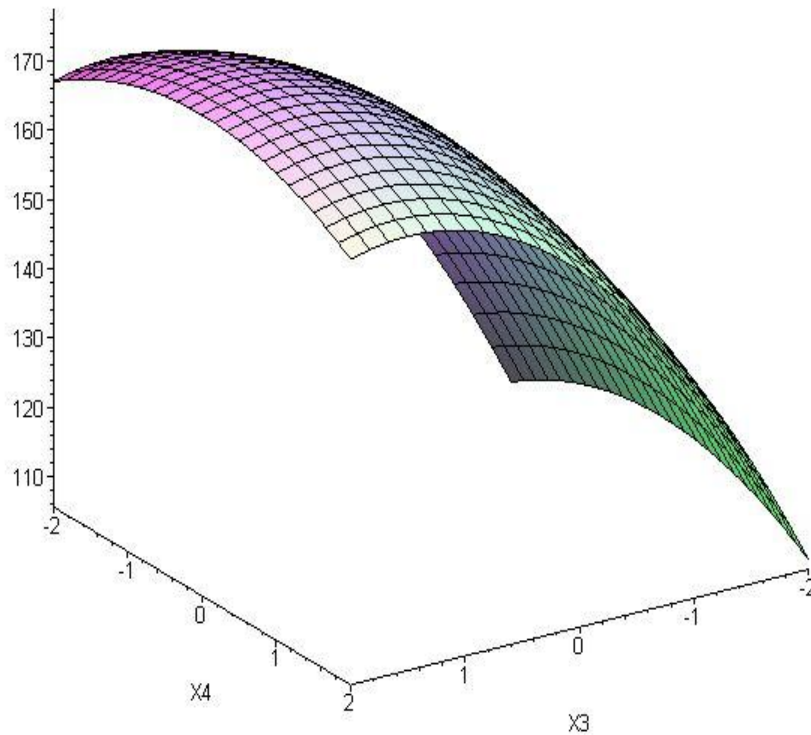
$$Y_1 = 165 + 14X_2 + 15X_3 - 4X_2^2 - 5X_3^2$$

ნახ.8. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



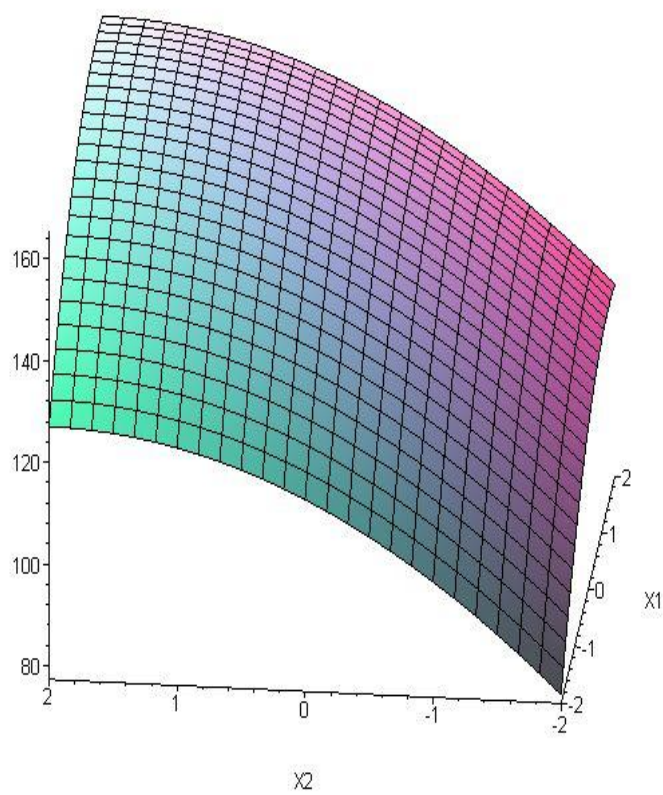
$$Y_1 = 165 + 14X_2 + 3X_4 - 4X_2^2 - 2X_4^2$$

ნახ.9. წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და ვიბრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



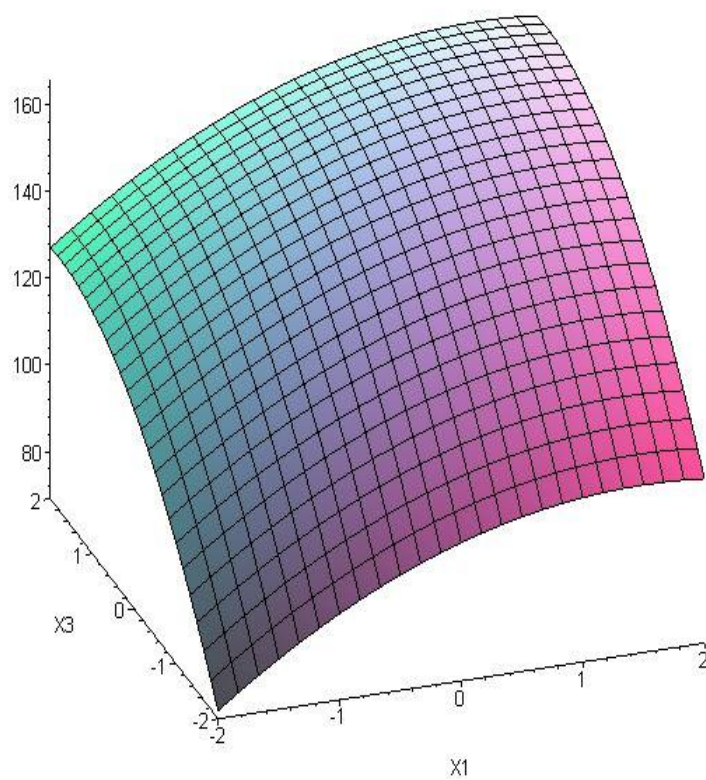
$$Y_1 = 165 + 15X_3 + 3X_4 - 5X_3^2 - 2X_4^2$$

ნახ.10. წითელი ყურძნის წიპწისათვის წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და ვიბრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



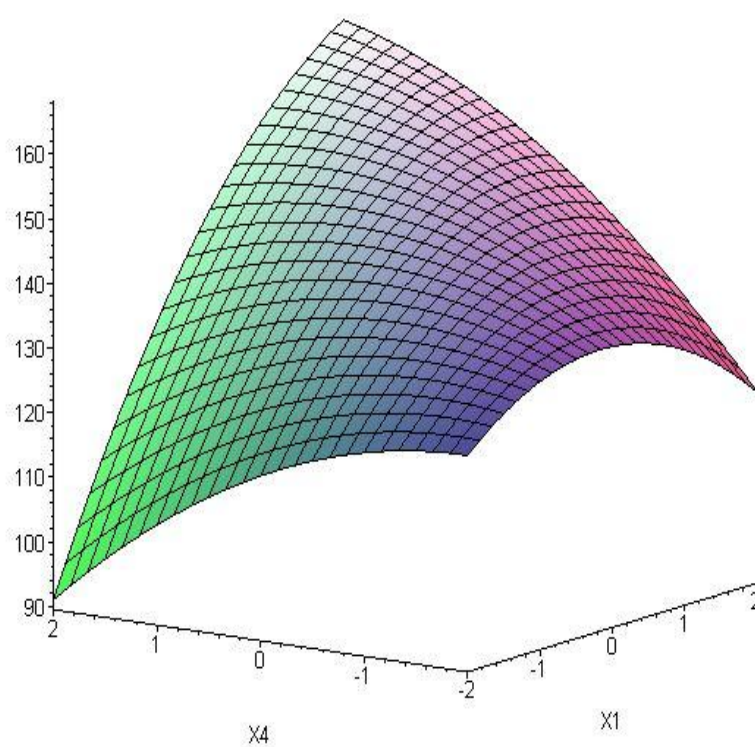
$$Y_1 = 145 + 9 X_1 + 12X_2 - 3X_1^2 - 3X_2^2$$

ნახ.11. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



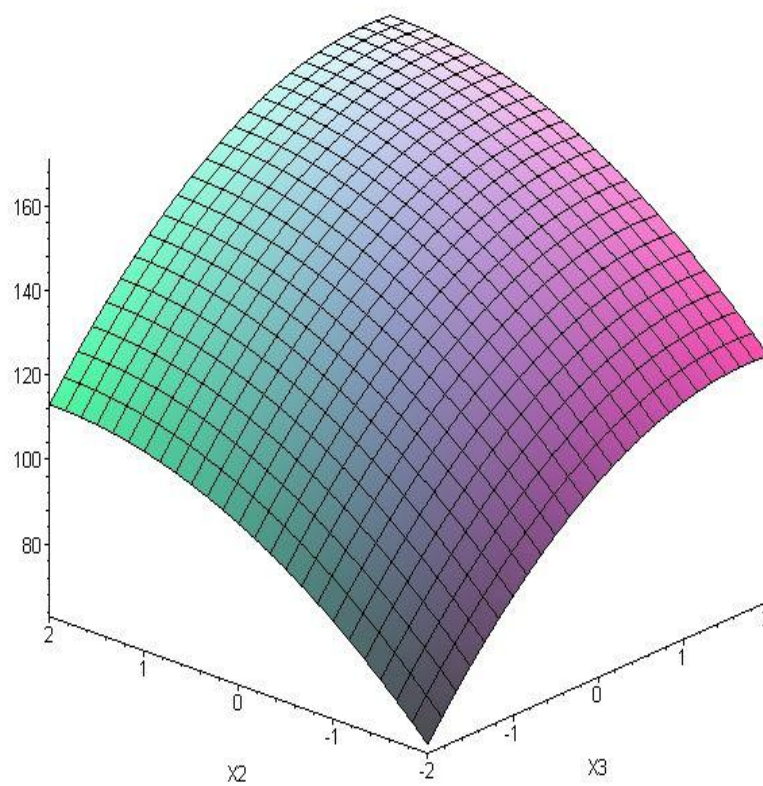
$$Y_1 = 145 + 9 X_1 + 14X_3 - 3X_1^2 - 4X_3^2$$

ნახ.12. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



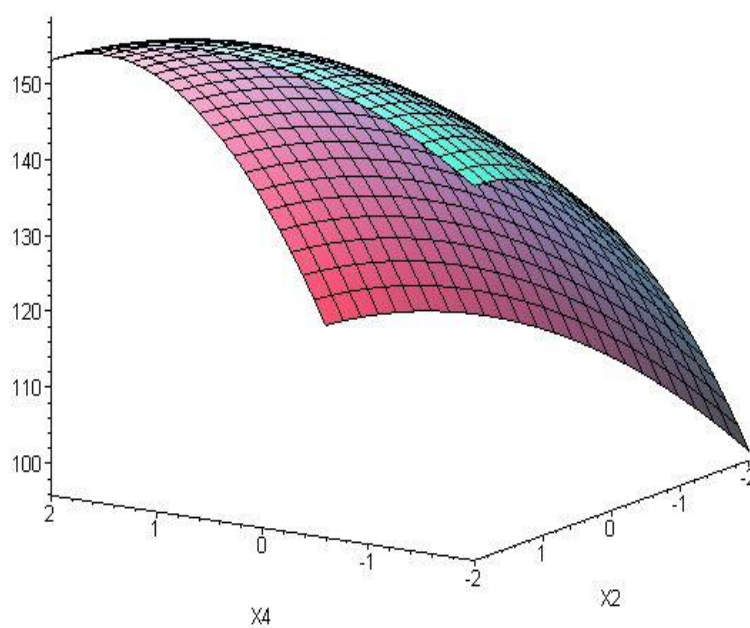
$$Y_1 = 145 + 9 X_1 + 2X_4 + 5X_1X_4 - 3X_1^2 - 2X_4^2$$

ნახ.13. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ტემპერატურის (X_1) და ვიბრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



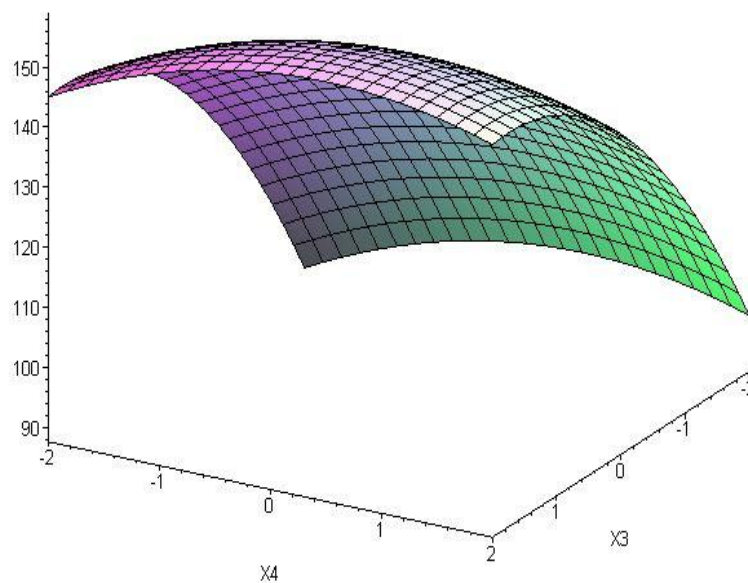
$$Y_1 = 145 + 12X_2 + 14X_3 - 3X_2^2 - 4X_3^2$$

ნახ.14. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



$$Y_1 = 145 + 12X_2 + 2X_4 - 3X_2^2 - 2X_4^2$$

ნახ.15. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის წითელი ყურძნის წიპწისათვის ექსტრაქციის ხანგრძლივობის (X_2) და ვიბრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)



$$Y_1 = 145 + 14X_3 + 2X_4 - 4X_3^2 - 2X_4^2$$

ნახ.16. თეთრი ყურძნის წიპწისათვის "გამხსნელი/ნედლეული (X_3) და ვიზრაციის სიხშირის (X_4) დამოკიდებულების გრაფიკი ზეთის გამოსავლიანობაზე (B_0 , კგ/ტ)

ოპტიმიზაციის B_0 პარამეტრისათვის ორმაგი ეფექტების ზედაპირები მოცემულია ნახ.5–ნახ.16–ზე. ყველა ეფექტს გარდა $Y_1(X_1X_4)$ ეფექტისა, ორივე სახის ყურძნის წიპწისათვის აქვს ამოზნექილი პარაბოლოიდის ფორმა ექსპერიმენტის არეში, რომელთა პიკების კოორდინატები მოცემულია

ცხრ.10–ში. $Y_1(X_1X_4)$ ეფექტების ზედაპირებს როგორც წითელი (ნახ.7), ისე თეთრი ყურძნის წიპწისათვის აქვთ უნაგირის ფორმა ექსტრემალური წერტილების გარეშე.

მიღებული შედეგების წინასწარი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მიზნობრივი პროდუქტის მაქსიმალური გამოსავლიანობა უნდა ვეძებოთ, როცა $X_i \geq 1$, რაც სრულ შესაბამისობაშია ოპტიმიზაციის B_0 პარამეტრისათვის რეგრესიის განტოლების ერთზომადი კვთების ანალიზისას გაკეთებულ დასკვნებთან.

ცხრილი10

ორმაგი ეფექტების ლოკალური ექსტრემალური წერტილების კოორდინატები

ორმაგი ეფექტები	წითელი ყურძნის წიპწა			თეთრი ყურძნის წიპწა		
	X_i	X_j	შენიშვნა	X_i	X_j	შენიშვნა
X_1X_2	$X_1=1,68$	$X_2=1,75$	–	$X_1=1,5$	$X_2=2$	–
X_1X_3	$X_1=1,68$	$X_3=1,5$	–	$X_1=1,5$	$X_3=1,75$	–
X_1X_4	–	–	არ იძებნება	–	–	არ იძებნება
X_2X_3	$X_2=1,75$	$X_3=1,5$	–	$X_2=2$	$X_3=1,75$	–
X_2X_4	$X_2=1,75$	$X_4=0,75$	–	$X_2=2$	$X_4=0,5$	–
X_3X_4	$X_3=1,5$	$X_4=0,75$	–	$X_3=1,75$	$X_4=0,5$	–

ამრიგად, მიღებული ადეკვატური რეგრესიის (1)–(5) განტოლებების ერთზომადი კვთების (ნახ.2–ნახ.4) ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ექსპერიმენტის პირობები ორივე სახის ყურძნის წიპწისათვის სწორადაა შერჩეული;
2. ერთდროულად მიზნობრივი პროდუქტის მაქსიმალური გამოსავლიანობის მიღწევა ორივე სახის წიპწისათვის მინიმალური ენერგოდანახარჯების პირობებში შეუძლებელია კომპრომისული ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტის გარეშე;
3. ფაქტორების გარკვეული მნიშვნელობებისათვის შესაძლებელია მინიმალური ენერგოთვითღირებულების მიღწევა მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავლიანობისა და ერთეული ნედლეულის

გადამუშავებაზე გაწეული ენერგოდანახარჯების ხარჯზე;

4. პროცესის რეალური ოპტიმალური რეჟიმის დასადგენად მიზანშეწონილია ოპტიმიზაციის კომპრომისული ამოცანის გადაწყვეტა, რისთვისაც ვიყენებთ ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა კლასიკურ მეთოდს.

მიზნობრივ ფუნქციად ვღებულობთ ერთეული ნედლეულიდან (ყურძნის წიპწის წინასწარ დამუშავებული ბურბუშელა) ყურძნის წიპწის ზეთის პროცენტულ გამოსავლიანობას (1) და (4) რეგრესიის განტოლებების სახით, ხოლო შეზღუდვის სახით ვღებულობთ ერთეული ნედლეულიდან ზეთის მისაღებად საჭირო სრულ ენერგოდანახარჯებს რეგრესიის (2) და (5) განტოლებების სახით, რომლებსაც ვანიჭებთ ჩვენთვის მისაღებ მნიშვნელობებს: 165 დოლარი/ტონა – წითელი ყურძნის წიპწისათვის და 145 დოლარი/ტონა – თეთრი ყურძნის წიპწისათვის, ანუ $Y_2(X_i)$ ფუნქციის მნიშვნელობებს ექსპერიმენტის ცენტრში. აღნიშნული შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$Y_1(X_i) \rightarrow \text{მაქსიმუმი}, \quad (8)$$

შემდეგი შეზღუდვებისათვის

$$Y_2(X_i) = 165 \text{ დოლარი/ტ} - \text{წითელი ყურძნის წიპწისათვის};$$

$$Y_2(X_i) = 145 \text{ დოლარი/ტ} - \text{თეთრი ყურძნის წიპწისათვის};$$

$$-2 \leq X_i \leq 2; \quad i=1,2,3,4. \quad (9)$$

შემოგვაქვს დამხმარე Φ ფუნქცია და პირობითი ექსტრემუმის ამოცანა დაგვყავს უპირობო ექსტრემუმამდე, ანუ შეზღუდვების გარეშე ექსტრემუმის ამოცანამდე. ეს ფუნქცია შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება.

$$\Phi = B_0(X_i) + \lambda_1 [E(X_i) - 165] - \text{წითელი ყურძნის წიპწისათვის}; \quad (10)$$

$$\Phi = B_0(X_i) + \lambda_2 [E(X_i) - 145] - \text{თეთრი ყურძნის წიპწისათვის}, \quad (11)$$

სადაც λ_1 და λ_2 - ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლია და გამოდის როგორც დამოუკიდებელი ცვლადები X_i ფაქტორების მსგავსად.

თუ ავიღებთ $\partial\Phi/\partial X_i$ და $\partial\Phi/\partial\lambda$ წარმოებულებს და გავუტოლებთ მათ ნოლს, მივიღებთ 5 განტოლებიან და ხუთუცნობიან ორ სისტემას როგორც

წითელი, ისე თეთრი ყურძნის წიპწისათვის:

– წითელი ყურძნის წიპწისათვის

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 10 - 6x_1 + 6x_4 + 12\lambda - 8x_1\lambda + 3x_3\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_2} = 14 - 8x_2 + 10\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 15 - 10x_3 + 14\lambda + 3x_1\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_4} = 3 + 6x_1 - 4x_4 = 0$$

$$12x_1 + 10x_2 + 14x_3 + 3x_1x_3 - 4x_1^2 = 0$$

(12)

– თეთრი ყურძნის წიპწისათვის

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 9 - 6x_1 + 5x_4 + 10\lambda - 3x_1\lambda + 3x_3\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_2} = 12 - 6x_2 + 8\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 14 - 8x_3 + 12\lambda + 3x_1\lambda = 0$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_4} = 2 + 5x_1 - 4x_4 = 0$$

$$10x_1 + 8x_2 + 12x_3 + 3x_1x_3 - 3x_1^2 = 0$$

(13)

სისტემის ერთ-ერთი ამონახსნი, რომელიც ექსპერიმენტის ფარგლებში ოპტიმალურთან ახლოსაა, შემდეგია:

– წითელი ყურძნის წიპწისათვის

$$X_1 = 1,4608; \quad X_2 = 0,2670; \quad X_3 = -0,1394; \quad X_4 = 1,6589; \quad \lambda = -1,1864.$$

– თეთრი ყურძნის წიპწისათვის

$$X_1 = 1,5048; \quad X_2 = 0,4165; \quad X_3 = -0,4016; \quad X_4 = 2,1810; \quad \lambda = 1,1876.$$

როგორც ვხედავთ, ფაქტორების ოპტიმალური სიდიდეები წითელი და თეთრი წიპწისათვის ახლოსაა ერთმანეთთან, რაც შესაძლებლობას

გვაძლევს მივიღოთ მათი გასაშუალებული მნიშვნელობები.

ფაქტორებისა და პარამეტრების მნიშვნელობები ნატურალურ მასშტაბში ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად შემდეგია:

- ექსტრაქციის ტემპერატურა $t=75-80^{\circ}\text{C}$;
- ექსტრაქციის ხანგრძლივობა $m=120-125$ წთ;
- მასური თანაფარდობა "ექსტრაგენტი/წიპწა" $n=9,5-10$ ლ/კგ;
- რხევების (ვიბრაციის) სიხშირე (ამპლიტუდა 1 მმ) $n=4-5$ წ⁻¹.
- ნედლეულიდან (წითელი ყურძნის წიპწა) ზეთის ნატურალური გამოსავლიანობა:

$$B_0=182,3 \text{ კგ/ტ};$$

- ნედლეულიდან (თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან) ზეთის ნატურალური გამოსავლიანობა:

$$B_0=157,8 \text{ კგ/ტ};$$

- 1 ტონა წითელი ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები:

$$E=182,3 \text{ დოლ/ტ};$$

- 1 ტონა თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები:

$$E=181,3 \text{ დოლ/ტ};$$

- წითელი ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების ენერგო თვითღირებულება:

$$D=0,991 \text{ დოლ/კგ};$$

- თეთრი ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების ენერგო თვითღირებულება:

$$D=1,161 \text{ დოლ/კგ}.$$

ყურძნის წიპწის ექსტრაქციით მიღებული ოპტიმიზაციის შედეგები შემოწმებულია საწარმოო პირობებში. ცდების შედეგები მოყვანილია ცხრ.11-ში.

ოპტიმალურ პირობებში ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის მიღების საწარმოო გამოცდების შედეგები

პარამეტრები ცდების №	წითელი წიპწა B ₀ , კგ/ტ	თეთრი წიპწა B ₀ , კგ/ტ	წითელი წიპწა A, დოლა- რი/კგ	თეთრი წიპწა A, დოლა- რი/კგ
1	180.7	155,5	0.99	1,25
2	182.3	156.9	1,04	1.24
3	182,0	159,1	1,03	1.19
4	183.3	154.2	1.00	1.06
5	180,0	155.7	0.98	1.19
საშუალო არიტმეტი- კული	181,7	156,8	1,01	1,19
ცდომილება ოპტიმიზა- ციის შედე- გებთან, %	0,35	0,60	1,95	2,52

როგორც ვხედავთ, საწარმოო პირობებში ოპტიმალურ რეჟიმზე მივიღეთ ოპტიმიზაციის პარამეტრების თანხვედრი შედეგები. ცდომილება მათ შორის 2–3%-ს არ აღემატება.

ოპტიმიზაციის შედეგები გვარწმუნებენ, რომ ყურძნის წიპწის სათანადო დამუშავების შემდეგ მიღებული ბურბუშელას ექსტრაქციით შესაძლებელია პრაქტიკულად უმნიშვნელო დანახარჯებით მივიღოთ საშუალოდ 156–158 კგ თეთრი ყურძნის წიპწის და 181–182 კგ წითელი ყურძნის წიპწის ძვირფასი ზეთი. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების პროცესის ოპტიმიზაციის შედეგები პრაქტიკულად რეალიზებადია და ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგებს აქვთ საწარმოო პირობებში რეალიზაციის საფუძველი [58–63, 88].

ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ორგანული გამხსნელით – ტრიქლორეთილენით ზეთის ექსტრაქციის შემდეგ შროტში რჩება გარკვეული რაოდენობის გამხსნელი, ხოლო გამხსნელის გადადენის პირობები და ხერხები განსაზღვრავენ შროტის ხარისხობრივ მახასიათებლებს, ერთის მხრივ და ენერგოდანახარჯებს მეორეს მხრივ.

გამხსნელის გამოხდის ხერხებსა და რეჟიმებზეა დამოკიდებული შროტის ნარჩენი ზეთიანობა, მისი ხარისხი და დარჩენილი გამხსნელის რაოდენობა. ამ პროცესის დაჩქარება შესაძლებელია, თუ შევამცირებთ გამხსნელის შემცველობას საწყის ნედლეულში ან გადადენის პროცესის საწყისი სტადიის ინტენსიფიკაციას მოვახდენთ. გამოხდის დრო მცირდება, თუ დავაჩქარებთ მარცვლოვანი ფენის ღია კაპილარებში მყოფი გამხსნელის მოცილებას ნაწილაკების ზედაპირებიდან .

გამხსნელის ნარჩენი რაოდენობა შროტში მცირდება თბომატარებლის ტემპერატურისა და შრობის ხანგრძლივობის გაზრდით. მაგრამ ამას მივყავართ შროტში ცილების დენატურაციასთან და, როგორც წესი, შროტის შემდგომი გამოყენება შეუძლებელი ხდება. ამიტომაც საჭიროა დავადგინოთ შროტის შრობის ოპტიმალური პირობები და მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთის მხრივ გამხსნელის სრულ გამოხდას და, მეორეს მხრივ შროტის ხარისხის მინიმალურ გაუარესებას.

თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემებიდან გამომდინარე, გამხსნელის შროტიდან გამოხდის არსებული პროცესი დავყავით ორ სტადიად: ზედაპირულად დაკავშირებული გამხსნელის წინასწარი მოცილება და მასალასთან მტკიცედ დაკავშირებული გამხსნელის მოცილება.

ჩვენი გამოკვლევების განმასხვებელი თავისებურება მდგომარეობს ზედაპირულად დაკავშირებული გამხსნელის მოცილება თავად ექსტრაქტორში შროტის მასის ვიბრაციული რხევებით, რომელიც ხორციელდება საექსტრაქციო დანადგარზე ოთხივე მხრიდან დამაგრებული ვიბრატორების მიმდევრობითი ჩართვით (იხილე ნახ. 1).

ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციის პროცესის დამთავრების შემდეგ ყურძნის წიპწის შროტში რჩება 0,8 – 1,0 ლ/კგ ორგანული გამხსნელი. შრობის წინ მისი წინასწარი მოცილებისათვის გამოვიკვლიეთ შროტის მასის ვიბრაციის გამოყენების შესაძლებლობა ექსტრაქტორში. ექსტრაქტორში ვარირებადი ფაქტორები იყვნენ ვიბრაციის სიხშირე n , ν^{-1} და

რხევების ამპლიტუდა m , მმ. ისინი იცვლებოდნენ შემდეგ ინტერვალებში:
 $5 \leq n \leq 30 \text{ წ}^{-1}$ და $0,5 \leq m \leq 2,5 \text{ მმ}$. ოპტიმიზაციის პარამეტრად მივიღეთ შროტში ნარჩენი გამხსნელის რაოდენობა. ექსპერიმენტს ვატარებდით 5 წუთიანი ვიბრაციის პირობებში.

დაგეგმვის ცენტრალური როტატაბელური კომპოზიციური მატრიცის რეალიზაციამ საშუალება მოგვცა მიგველო გამოსაკვლევნი პროცესის შესაფასებელი შემდეგი სახის ადეკვატური რეგრესიის განტოლება ნატურალურ მასშტაბში:

$$\Delta Q = 620 - 6,5 n - 75 m + 4nm - 0,5n^2 - 25m^2,$$

სადაც რეგრესიის კოეფიციენტების არსებობა შევამოწმეთ სტიუდენტის კრიტერიუმით, ხოლო რეგრესიის განტოლების ადეკვატურობა - ფიშერის კრიტერიუმით 0,95 ალბათობისათვის.

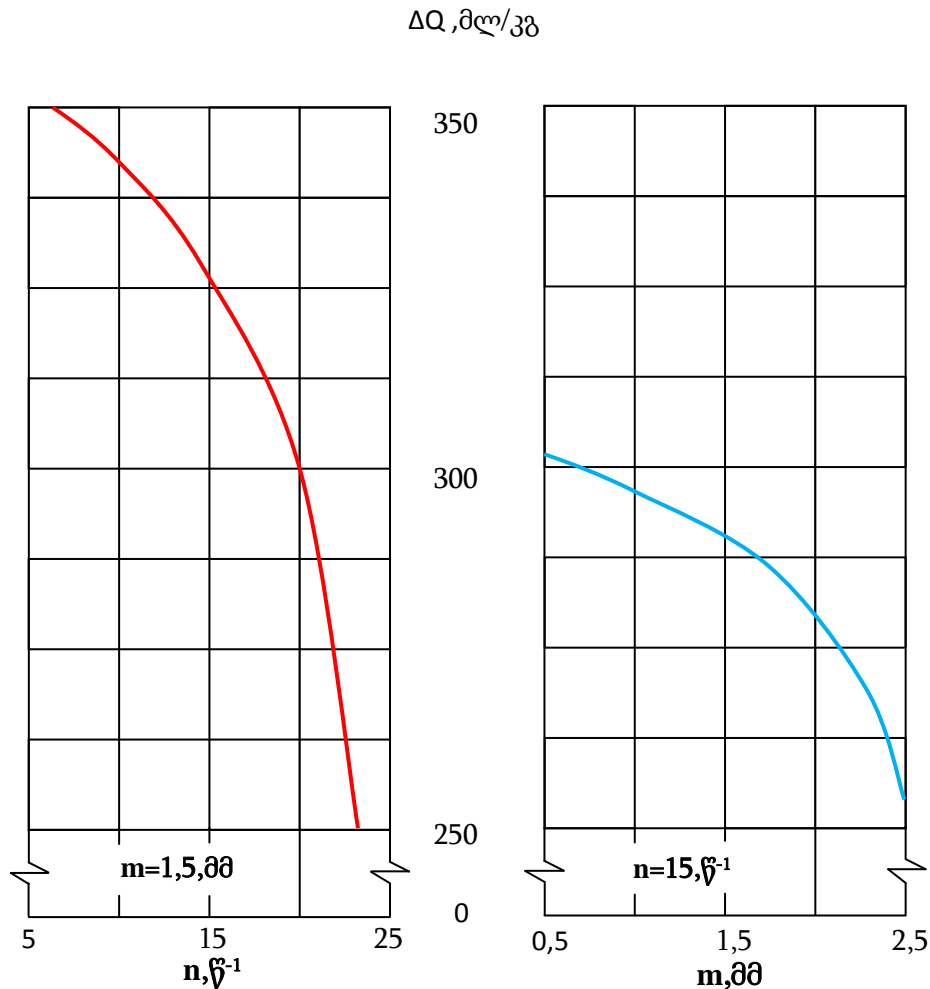
განტოლების გამოძახილის ზედაპირის ერთზომადი კვეთების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ორივე ფაქტორი მნიშვნელოვნად მოქმედებს ოპტიმიზაციის პარამეტრზე (ნახ. 17). პულსაციის სიხშირისა და ამპლიტუდის გაზრდით, სხვა თანაბარ პირობებში, ყურძნის წიპწის შროტში ნარჩენი გამხსნელის რაოდენობა პარაბოლურად ეცემა და ვარირების შერჩეულ ინტერვალებში ძნელია შევირჩიოთ ფაქტორების ოპტიმალური მნიშვნელობები.

განტოლების დიფერენცირებით n და m ფაქტორებით, ექსპერიმენტის პირობების გათვალისწინებით, შესაძლებელია ვიპოვოთ აღნიშნული ფაქტორების პირობითი ექსტრემალური მნიშვნელობები: $n=22,2 \text{ წ}^{-1}$ და $m=2,45 \text{ მმ}$. ნახ. 17- ზე ფაქტორებისა და პარამეტრის პირობით ოპტიმალური სიდიდეები მონიშნულია.

გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, რომ 5 წუთიანი ვიბრაციის შემდეგ ოპტიმალურ პირობებში ექსტრაქტორში შროტში გამხსნელის ნარჩენი რაოდენობა 100 - 120 მლ/კგ – ს არ აღემატება.

განმეორებითმა ექსპერიმენტმა ოპტიმალური პულსაციის პირობებში მოგვცა შეთავსებადი შედეგები. განსხვავება მათ შორის არ აღემატებოდა

12%-ს რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად უნდა ჩაითვალოს აღნიშნული ხასიათის საწარმოო ექსპერიმენტისათვის.



ნახ.17. ΔQ გამომახილის ზედაპირის ერთზომადი კვეთები

აღსანიშნავია ერთი ფაქტიც, რომ როგორც ნახ. 17-დან ჩანს, ყურძნის წიპწის შროტში გამხსნელის ნარჩენი რაოდენობა პულსაციის მახასიათებლების სიხშირისა და ამპლიტუდის გაზრდით მცირდება, მაგრამ ამ ფაქტორების შემდგომი გაზრდა უარყოფითად მოქმედებს საექსტრაქციო დანადგარის მუშაობის უნარზე.

გამხსნელის საბოლოო გამოხდა წარმოებს ისევ ექსტრაქტორში ცხელი ჰაერის ან ორთქლის მიწოდებით გამახურებელ პერანგში ორთქლის პარალელური შეყვანით ექსტრაქტორში. ცხელი ჰაერი ან ორთქლი

წარიტაცებს გამხსნელის ორთქლს, რომელიც თბომცვლელის გავლით კონდენსირდება და მზადდება შემდგომი გამოყენებისათვის.

3.2. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ცხიმოვან-მჟავური ანალიზის შედეგები

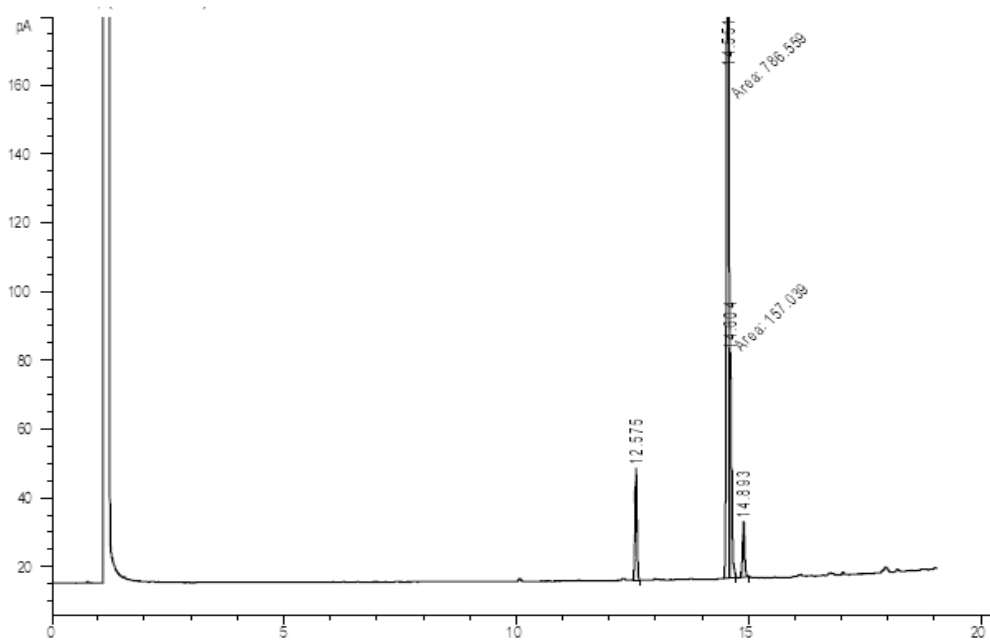
ყურძნის წიპწის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები განვსაზღვრეთ არსებული სტანდარტებისა (ГОСТ) და ცხიმზეთების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის (რუსეთის ფედერაცია) მიერ შემუშავებული მეთოდური მითითებების შესაბამისად [64–68] .

წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ცხიმოვანმჟავურ შედგენილობას ვსაზღვრავდით აირ-სითხის ქრომატოგრაფზე *Agilent Technology 6890* მგზნებარე მაიონიზირებელი დეტექტორის გამოყენებით. სვეტი – კვარცის კაპილარული DB –5, აირგადამტანი – აზოტი [69–71, 81–86].

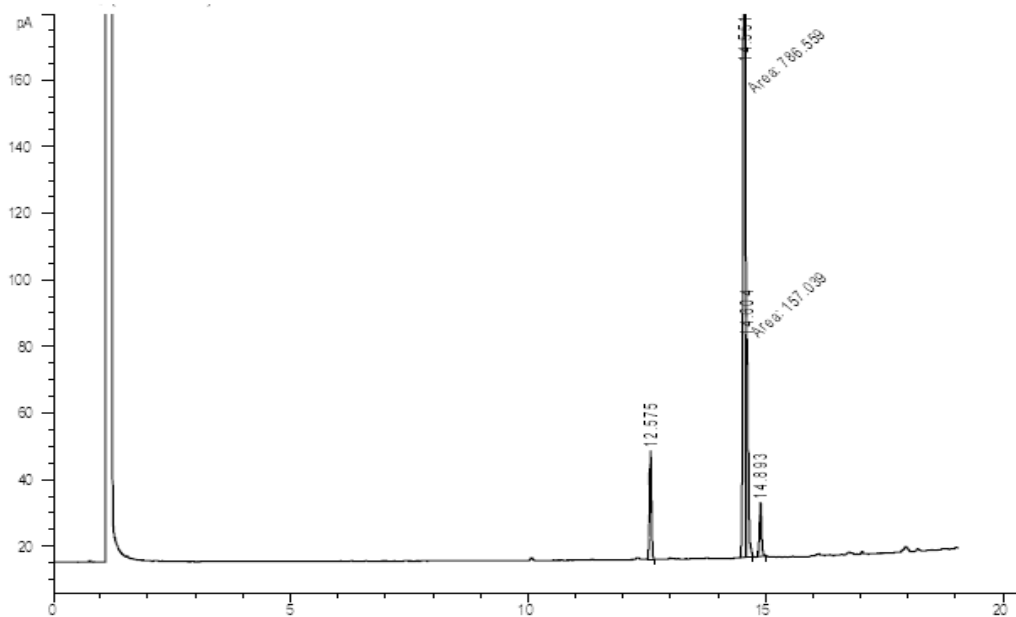
ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 13 –ში.

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა ხასიათდება უჯერი ცხიმოვანი მჟავების მაღალი შემცველობით(80 %-ზე მეტი), რომელთაგანაც უპირატესად შეიცავს პოლიუჯერ , ლინოლისა და ოლეინის, ცხიმოვან მჟავებს. წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა მოცემულია ცხრ.12 -ში , ხოლო ზეთის ქრომატოგრამების ნიმუშები – ნახ. 18 –ზე და ნახ. 19 –ზე.

როგორც ვხედავთ, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური, ისე ცხიმოვანმჟავური შედგენილობით სხვადასხვა ჯიშის ქართული ყურძნის (როგორც თეთრი, ისე წითელი) წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და შესაბამისობაში არიან ლიტერატურულ წყაროებში მოყვანილ ანალოგიურ მონაცემებთან [72–80, 87].



ნახ. 18. წითელი ყურძნის წიპწის ზეთის ლიპიდური კომპლექსის ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა (ქრომატოგრამის მაგალითი)



ნახ. 19. თეთრი ყურძნის წიპწის ზეთის ლიპიდური კომპლექსის ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა (ქრომატოგრამის მაგალითი)

როგორც ვხედავთ, ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა ხასიათდება უჯერი ცხიმოვანი მჟავების მაღალი

შემცველობით (80 %-ზე მეტი), რომელთაგანაც უპირატესად შეიცავს პოლიუჯერ, ლინოლისა და ოლეინის, ცხიმოვან მჟავებს. საერთოდ, მაღალი პოლიუჯერობის გამო ყურძნის ზეთი განეკუთვნება ნაწილობრივ შრობად ზეთებს.

ზოგადად, ყურძნის წიპწის ზეთის კვებით ღირებულებას განსაზღვრავს მისი ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა, განსაკუთრებით, პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავების შემცველობა. ეს მჟავები ცნობილი არიან F ვიტამინის სახელწოდებით და ორგანიზმში არ სინთეზირდებიან. მათი დღიური ნორმა 5 მგ-ს შეადგენს. შესაბამისად, ლინოლის ცხიმოვანი მჟავის მაღალი შემცველობა ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვან ზეთში გვადლევს მათი გამოყენების შესაძლებლობას როგორც კოსმეტიკურ საშუალებებში, ისე ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში [70,71].

ცხრილი12

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობა (ჯამურის %)

ცხიმოვანი მჟავები	ყურძნის წიპწის ზეთი	
	თეთრი (ცოლიკაური)	წითელი (საფერავი)
ნაჯერი, მათ შორის	14,1	12,5
C16-0 (პალმიტინის)	7,0	6,8
C18-0 (სტეარინის)	4,1	3,8
უჯერი, მათ შორის	85,9	87,5
C18-1 (ოლეინის)	20,1	18,8
C18-2 (ლინოლის)	63,5	67,1
C18-3 (ლინოლენის)	0,7	0,9

ცხრილი 13

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მახასიათებლები	თეთრი ყურძნის წიპწა (ცოლიკაური)	წითელი ყურძნის წიპწა (საფერავი)
გამჭირვალობა	ოდნავ მღვრიე	ოდნავ მღვრიე
ფერი	მომწვანო-ყვითელი	მომწვანო-ყვითელი
სუნი და გემო	ყურძნისათვის დამახასიათებელი რბილი გემო	ყურძნისათვის დამახასიათებელი რბილი გემო
მჟავური რიცხვი, მგ.NaOH/გ	0,74	0,81

სიმკვრივე 15°C-ზე, კგ/მ ³	922	929
არაცხიმოვანი მინარევები,%	არა	არა
წყალი და აქროლადი ნაერთები,%	0,17	0,20
იოდის რიცხვი, I ₂ /100გ	130,2	128,0
გაუსაპნავი ნივთიერებები,%	0,82	0,99

ცხიმოვანმჟავური შედგენილობით ყურძნის ზეთი შეესაბამება ტრადიციულად საკვებ პროდუქტებში გამოყენებულ მაღალხარისხოვან მცენარეულ ზეთებს, როგორებიცაა მზესუმზირის, ზეთისხილის, სიმინდის ზეთები.

3.3. ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემა და საწარმოო პროცესების კონტროლის პარამეტრები

სქემატურად ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ორგანული გამხსნელით ექსტრაქციის და ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ნახ. 20-ზე მოცემული სახით. ანალოგიური ტექნოლოგიური სქემები, ზოგიერთი სპეციფიკური კორექტივების გათვალისწინებით, შემუშავებული იყო ვ. ხვედელიძის მიერ სხვადასხვა მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციისათვის [89 - 95]

ნახ.21-ზე და ნახ.22-ზე წარმოდგენილია მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ-სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი, სადაც ჩატარდა პროგრამით გათვალისწინებული საწარმო-ექსპერიმენტული კვლევები (ქუთაისი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სამეცნიერო ცენტრი).

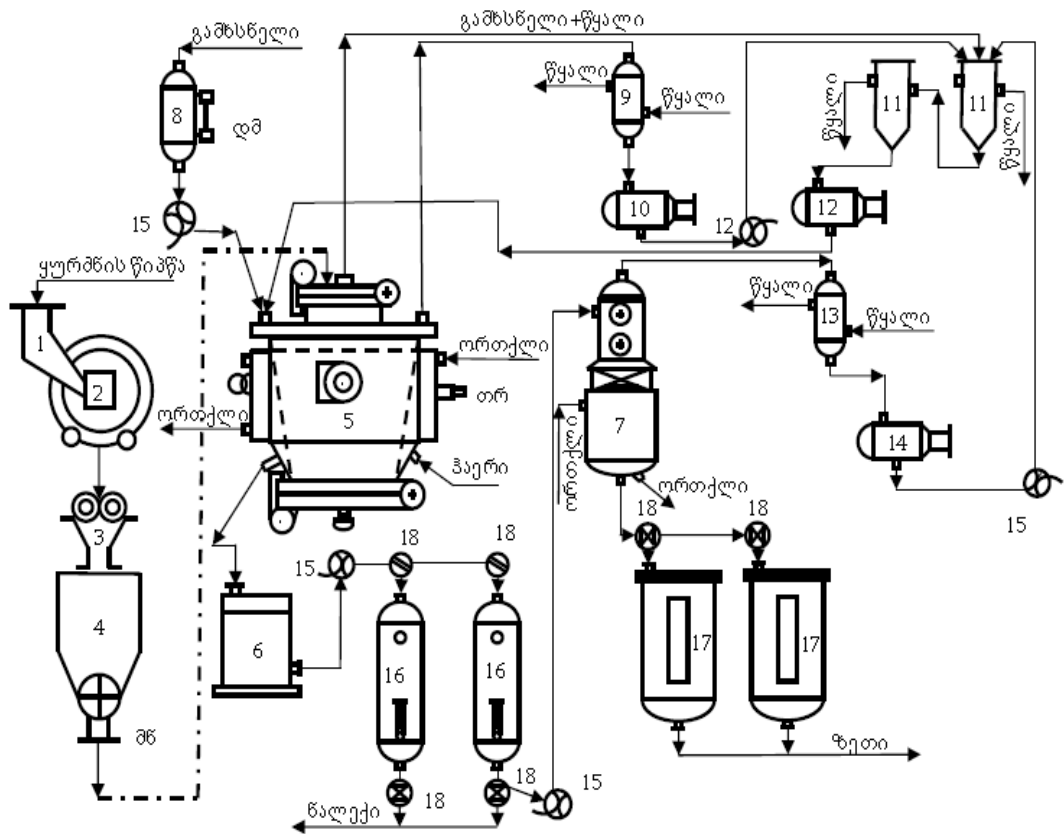
ყურძნის წიპწა ბუნკერ-მიმწოდებლის 1 საშუალებით იყრება მოსახალავ დანადგარში 2, საიდანაც ცხელ მდგომარეობაში ვალცურ დამსრეს-დამქუცმაცებელ დანადგარის 3 გავლით ღებულობს ბურბუშელას ფორმას და იყრება ბუნკერ-დოზატორში 4. აქედან მიეწოდება

საექსტრაქციო დანადგარს 5.

ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ასხამენ ორგანულ გამხსნელს-ტრიქლორეთილენს შეფარდებით 6,7 - 6,8 ლ/კგ და ყოვნდება 120 - 125 წუთის განმავლობაში 75 - 80°C ტემპერატურაზე პერიოდული პულსაციის პირობებში (ყოველ 10 წუთში 1 წუთის განმავლობაში) 1წ⁻¹ სიხშირითა და 1 მმ ამპლიტუდით. ექსტრაქციის ტემპერატურა რეგულირდება თერმორეგულატორით.

ექსტრაქციის დამთავრების შემდეგ ექსტრაქტორიდან 5 გამოიტვირთება ექსტრაქტი ფილტრის 6 გავლით რომელიც ექვემდებარება გამხსნელის გამოხდას. ეს ოპერაცია მიმდინარეობს პერიოდული ქმედების ვაკუუმ-ამორთქლებელ აპარატში 7 ისეთი ვაკუუმის პირობებში, როცა დუდილის ტემპერატურა 80 °C-ს არ აღემატება (90 – 92 კპა). გამოხდის დამთავრების შემდეგ ყურძნის წიპწის ზეთი განიცდის ფილტრაციას და ფასოვდება შემკრებ ავზებში 17, ხოლო გამხსნელის ორთქლი წყლის ორთქლთან ერთად კონდიციონირდება და ჩაედინება ფლორენტინის ჭურჭელში 11, სადაც ხდება მისი დაყოფა წყლად და გამხსნელად მკვეთრად განსხვავებული სიმკვრივეების გავლენით.

ექსტრაქციის დამთავრების შემდეგ ექსტრაქტორში დარჩენილი შროტი შეიცავს მნიშვნელოვანი რაოდენობით ორგანულ გამხსნელს, რომელიც საჭიროებს შროტიდან გადადენას. ეს ოპერაცია ხორციელდება ორ ეტაპად: ჯერ შროტიდან ვაცილებთ ზედაპირულ ღია კაპილარულ ფორებში არსებულ გამხსნელს პულსაციით 22,2 წ-1 სიხშირითა და 2,45 მმ ამპლიტუდით 5 წუთის განმავლობაში, ხოლო შემდეგ შროტში დარჩენილ მტკიცედ დაკავშირებულ გამხსნელს ვაშორებთ ისევ ექსტრაქტორში ცხელი ჰაერის ნაკადის მიწოდებით, რომელიც წარიტაცებს გამხსნელის ორთქლს და თბომცვლელის გავლით კონდენცირდება.



ნახ. 20. ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების პროცესულ-აპარატურული სქემა:

1-ბუნკერი-მიმწოდებელი; 2-დოზატორი-მოსახალი დანადგარი; 3-ვალცური დამსრეს-დამქუცმაცებელი; 4-ბუნკერ-დოზატორი; 5-ექსტრაქტორი; 6-ფილტრი; 7-ვაკუუმ-ამორთქლებელი; 8-გამხსნელის ავზი; 9,13-თბო-ცვლელები; 10,12,14-შემკრები ავზები; 11-ფლორენტინის ჭურჭელი; 15-ტუმბო; 16-შემკრებ-დამაყოვნებელი; 17-შემკრები ავზები მზა პროდუქტისათვის; 18-სარქველი.

გამხსნელისა და წყლის დაყოფა შროტის შემთხვევაშიც ხდება ფლორენტინის ჭურჭელში. მშრალი შროტი მიეწოდება შემდგომი უტილიზაციისათვის.

ექსტრაქტორში ჯერ ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ჩაყრა და შემდგომ მასზე ტრიქლორეთილენის დასხმა განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ყურძნის წიპწის სიმკვრივე (იგულისხმება მასა) 900კგ/მ³-ს არ აღემატება მაშინ, როცა ტრიქლორეთილენის სიმკვრივე შეადგენს 1470 კგ/მ³-ს.

შესაბამისად, ამ დროს ხდება ბურბუშელას სრული განბანვა გამხსნელით; ბურბუშელას ნაწილაკები ამოტივტივდებიან ზედაპირზე, სადაც ექსტრაქციის პროცესში სივრცე გამხსნელის ორთქლითაა გაჯერებული.

როგორც ვხედავთ, ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ექსტრაქტოვანი ზეთის საწარმოო მიღება არ არის დაკავშირებული რაიმე სირთულესთან, ადვილი განსახორციელებელია, ხოლო მიღებული ზეთის რაოდენობა მნიშვნელოვნად აჭარბებს შნეკური წნეხით მიღებული ზეთის რაოდენობას. მთლიანად, ოპტიმალურ პირობებში ჩატარებული პროცესები საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ ნედლეულში არსებული ზეთის 96%-მდე, რაც ნატურალური სახით 150 - 180 კგ/ტ ზეთია ყურძნის ჯიშის მიხედვით მიღებული.

შესრულებული გამოკვლევების შედეგად მიღებულია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის პროცესებზე მოქმედი ფაქტორებისა და ოპტიმალურობის კრიტერიუმების ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომლებიც წარმოების პროცესში კონტროლს ექვემდებარებიან. ფაქტორებისა და პარამეტრების საკონტროლო მნიშვნელობები და კონტროლის საშუალებები მოყვანილია ცხრ. 14-ში.

როგორც ვხედავთ, ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის კონტროლი საწარმოო პირობებში ადვილი განსახორციელებელია. რაც შეეხება ქრომატოგრაფირებისა სპექტროფოტომეტრირების მეთოდებს, ისინი შესაძლებელია განხორციელდეს შესაბამის ლაბორატორიებში ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის გარკვეული პარტიებისათვის, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ერთგვაროვანი ნედლეულის პარტიის მოცულობა.

ცხრილი 14.

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების საკონტროლო მახასიათებლები

ოპერაციისა და შემსრუ- ლებელი მექანიზმის და- სახელება	პარამეტრები	
	დასახელება	მნიშვნელობა
1. ნედლეული: საწარმოო-ექსპერიმენტუ- ლი ექსტრაქტორი [56]	-ზეთიანობა, % მშრალ მა- საზე	16, არანაკლები
	-ტენიანობა, %	12, არაუმეტესი

2. ექსტრაქცია: საწარმოო-ექსპერიმენტული ექსტრაქტორი [56]	-ტემპერატურა, °C	45 - 50
	-ხანგრძლივობა, წთ	120-125
	გამხსნელი/ბურბუშელა, ლ/კგ	6,7 - 6,8
	-ვიზრაცია: სიხშირე, წ ⁻¹ ამპლიტუდა, მმ	1 1
3. გამხსნელის გამოხდა: ორსაფეხურიანი „ლანგ“- ის ტიპის ვაკუუმ-ამაორ- თქლებელი	-ტემპერატურა, °C	
	1 საფეხური	75
	2 საფეხური	50
-ვაკუუმი, კპა	55 - 60	
4. ყურძნის წიპწის შრო- ტის გამოხდა: საწარმოო- ექსპერიმენტული ექ- სტრაქტორი [56]	-ტემპერატურა, °C	75-80
	-ნარჩენი გამხსნელი, %	0,1 არაუმეტესი



ნახ. 21. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების
ექსპერიმენტულ-სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი (პირველი
სართული)



ნახ. 22. მცენარეული ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტების ექსპერიმენტულ-სამრეწველო საამქროს საერთო ხედი (მეორე სართული)

ძირითადი დასკვნები

1. ნაჩვენებია, რომ ყურძნის წიპწა წარმოადგენს ძვირფას მეორად ნედლეულს და მისი კომპლექსური გადამუშავება, მისგან ყველა ფასეული კომპონენტის სრულად მიღება, ნარჩენების რაციონალური გამოყენება და ასორტიმენტის გაფართოება დარგის რენტაბელობის გაზრდის ერთ-ერთი გზაა;
2. დადგენილია ყურძნის წიპწის საექსტრაქციოდ მომზადების რეჟიმები ყურძნის წიპწის შრობის, ჰიდროთერმული დამუშავების, წიპწის დაქუცმაცების ვალცებში გატარებისა და ბურბუშელას მაგვარი საექსტრაქციო ფოთლოვანი მასის მიღების გზით;
3. დადგენილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის გამოსავლიანობაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები, მათი დონეები და ვარიანტების ინტერვალები. დასაბუთებულია ზეთის ექსტრაქციის პროცესის

ოპტიმიზაციის პარამეტრები. რეალიზებულია საწარმოო ექსპერიმენტის ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის ოთხფაქტორიანი მატრიცა და მიღებულია ოპტიმიზაციის პარამეტრების გასაანგარიშებელი ადეკვატური რეგრესიის განტოლებები. შესრულებულია გამოძახილების ზედაპირების ერთზომადი კვეთებისა და ორმაგი ეფექტების გრაფიკული ანალიზი და დასახულია ექსტრაქციის ოპტიმალურ რეჟიმებში წარმართვის სტრატეგია.

4. გადაწყვეტილია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაციის კომპრომისული ამოცანა და მიღებულია ფაქტორების ოპტიმალური მნიშვნელობები ზეთის მაქსიმალური გამოსავლიანობის მისაღწევად ფიქსირებული ენერგოდანახარჯების პირობებში: ექსტრაქციის ტემპერატურა 75–80°C; ექსტრაქციის ხანგრძლივობა 120–125 წთ; მასური თანაფარდობა "ექსტრაგენტი/წიპწა" 9,5-10 ლ/კვ; რხევების (ვიბრაციის) სიხშირე (ამპლიტუდა 1 მმ) 4-5 წ⁻¹.

5. შემუშავებულია ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის ექსტრაქციის ტექნოლოგიური სქემა აპარატურული გაფორმებით, რომელიც ითვალისწინებს 10 – 12% ტენიანობის ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ექსტრაქციას ორგანული გამხსნელით პულსირებული რხევების პირობებში, ყურძნის წიპწის შროტის გამოყოფასა და გამოხდას, მშრალი შროტის მიღებას, ექსტრაქტის გამოხდას, ზეთის ფილტრაციას და დაფასობას. დადგენილია წარმოების პროცესში ფაქტორებისა და პარამეტრების საკონტროლო მნიშვნელობები და კონტროლის საშუალებები;

6. დადგენილია ექსტრაჰირებული ყურძნის წიპწის შროტიდან ნარჩენი ექსტრაგენტის გამოხდის ოპტიმალური პირობები და მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთის მხრივ გამხსნელის სრულ გამოხდას და, მეორეს მხრივ შროტის ხარისხის მინიმალურ გაუარესებას.

7. შესწავლილია ყურძნის წიპწის ზეთის ფიზიკურ–ქიმიური მახასიათებლები და ცხიმოვან მჟავური შეგენილობა. ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული პარამეტრებით თეთრი და წითელი ჯიშების ყურძნის წიპწის ზეთები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, შეესაბამებიან ტრადიციულად საკვებ პროდუქტებში გამოყენებულ მაღალხარისხოვან მცენარეულ ზეთებს. ყოველივე კი გვაძლევს ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის კოსმეტიკურ საშუალებებსა და ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში გამოყენების შესაძლებლობას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Дудкин М.С. Физико-механическая и технологическая характеристика виноградных семян и жмыхов виноградных семян-Одесский технологический институт пищевой промышленности, Одесса,. 1989г.
2. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масло-жировой промышленности, под. редак. В.П. Ржехина, т.5, Ленинград, 1969 г.
3. Марчук Г.С. „Получение и использование семян винограда”, - Кишинев, МолдНИИНТИ, 1987г.
4. Дудкин М. Вторичные ресурсы переработки винограда и их использование- АгроНИИТЭПП, серия 15, 1992г.
5. Щербаков В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья-М: Агропромиздат, 1991г.
6. Корнен Н.Н. Разработка технологии получения активированных растительных липидсодержащих биологически активных добавок и их применение в хлебопечении// автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, Краснодар, 2001г.
7. Шольц Е.П. Технология переработки винограда-М: Агропромиздат,. 1990г.
8. Nirose Yuko. Состав масел семян пяти сортов винограда, культивируемых в Японии-Юокагану, т. 35, №9, с. 768, 1986г.
9. Нестерова О.В. Изучение масличности и жирнокислотного состава семян и выжимок из винограда//научные труды НИИ фармации Министерства здравоохранения РФ, №34, 1995г.
10. Якубов Ю. Сырые, а не отходи-Ташкент, Изд. Мехнат,. 1990г.
11. Разуваев Н.И. Виноградное масло из семян//Виноградарство и виноделие, №1, с. 54, 1973г.
12. Таранджийска Р. Триглицеридный состав масла из косточек винограда различных сортов//Хранителна промишленост, т.38, №8, с.20, 1989г.

13. Хаджийски Ц. Относително состава виноградных семечек и полученного из них масла//Масло-сапуныя промышленность, №1, с.1, 1979г.
14. Galan M. Estudio de Subproductos//Grassas y aceites, v.37, N4, p.179, 1986у.
15. Bombardelli E. Vitis vinifera L.//Fitoterapia, v. 66, p. 291, 1995у.
16. Худайшукуров Т.А. Температура дымообразования и содержание летучих веществ в косточковых маслах//МЖП, №10, 1981г.
17. Двойченкова Е.Ю. Биотехнологическая утилизация отходов хранения и переработки плодоовощной продукции//М.: ЦБНТИминмедбиопром. 1987г.
18. Цвик М.З. Комплексная переработка плодоягодного и овощного сырья в Узбекистане//Уз. НИИНТИ Ташкент, 1986г.
19. Разуваев Н.И. Комплексная переработка вторичных продуктов виноделия., М.: Пищевая промышленность, 1975г.
20. Мартыненко Э.И. Производство виноградных семян для выработки виноградного масла//Виноградарство и виноделие СССР, №3, с.59, 1990г.
21. Силич А.А. „Технология и фпаратурно-технологическая схема переработки отходов консервного и винодельческого производства”//Тезисы научно-технической конференции „Основные направления технического прогресса в хранении и переработки плодов и овощей”.-Кишинев, 14 декабря 1973г.
22. Шаблаев Ш.А. Изменение химического состава виноградных семян при хранении выжимки//Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Вклад молодых ученых в развитие виноградо-винодельческой отрасли, Ялта, 1990 г.
23. Марчук Г.С. Машина для отделения семян из виноградных выжимок//Пищевая промышленность: Научно-технический реферативный сборник, АгроНИИТЭИПП. Рацпредложения и изобретения, рекомендуемые министерством для внедрения в пищевой промышленности, вып. 1987г.

24. Марчук Г.С. Машина Марчука для выделения семян из виноградных выжимок, а.с. 1284495, СССР, Б.И. №3, 1987г.
25. Руденко П.П. Опыт переработки виноградной выжимки//Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, №5, с.30, 1985г.
26. Абдуллаев Х.А. О переработке виноградной выжимки в потоке с применением скребкового экстрактора//Известия ВУЗов СССР. Пищевая промышленность, №5, с.18, 1965г.
27. Игнатюк М.С. концепция оптимального функционирования производственных потенциалов виноградоперерабатывающего комплекса АПК страны//Автореферат диссертации на соискание степени д.э.н., Ялтта, 1989г. 41с.
28. Тарковский Э.М. Экономическая эффективность использования отходов винодельческой промышленности//Изд. Пищевая промышленность, М. 1967г.
29. Керашев М.А. Повышение эффективности промышленной переработки вторичного сырья на предприятиях Росглавино//Известия ВУЗов СССР. Пищевая промышленность, №1, с.19, 1976г.
30. Aromaterapie plus / П. Брандтнер, Д. Слунечко, М. Кадлец и др.- Germany: Cosmetik Kari Hadek, 1997.-С. 14-16.
31. Циприяна В. . Гігієна харчування з основами Нутріціології.- Здоров`я, 1999.-566с.
32. Лебедев Е.И. Комплексное использование сырья в пищевой промышленности-М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982г.
33. Грысс З. Использование отходов плодоовощной и консервной промышленности-М.:Пищевая промышленность, 1974г.
34. Отчет о НИР Разработать Технологический регламент на производство масел из плодовых и виноградных косточек, семян томатов и сои способами форпрессование-экстракция, двухкратного прессования, прямой экстракции на установке „Джанацца”, Ленинград, 1984г.

35. Дудкин М.С. Характеристика биополимеров жмыха виноградных вин//Известия ВУЗов. Пищевая промышленность, №5-6, с.27,1995г.
36. Декиашвили Э.И. Разработка технологии производства виноградного масла, энотанина, белькового концентрата и фитина из виноградных семян//автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, Тбилисси, 1982г.
37. Сиашвили Э. Пути повышения стабильности вин и виноматериалов- М.,1982г. с.103.
38. Пичев В. Технологическая схема комплексной переработки виноградных семян, Хран. пром., т.37, №6, 1988г., с.30.
39. Блягоз Х.Р., Кошевой Е.П. Экстракция двуокисью углерода в пищевой технологии- Майкоп: РИПО «Адыгея»,2000. 495с.
40. Ранков Д. Получение линолевой кислоты из масла косточек винограда: "Хранителна промышленност", 1990, 39, № 1, с.23-24.
41. Karagiannis S., Economou A., Lanaridis P. Phenolic and volatile composition of wines mede from vitis vinifera cv. Muscat lefco grapes from the island of samos. J. Agr. and Food chem.,2000, vol.48, no. 11, p. 5369-5375.
42. Мешкова Н.В. Очистка растительных масел и пути стабилизации масложировой продукции при хранении. М.: АгроНИИТЭИ, 1995, Вып. 3., Сер. 20.- 15 с.
43. Physical refining of edible oils / Crengros J. // J.Amer/ Oil chem. Soc.- 1995.-72., № 10.-с.1 193-1194.
44. The refining of sunflower oil // J. Oil & Fats International 1994, № 6. -P. 19-23.
45. Guerrero F.A., Grace W.K. Use of silica refining to improve oil quality / Pap. 85th AOCS Annu. Meet. And Expo, Atlanta Ga, May 8 12, 1994 // INFORM: Int. News Fats, Oils and Relat. Mater. - 1994 - 5, № 4. - P.505.

46. Бабушкин А.Ф. Обоснование и разработка технологии рафинации подсолнечных масел с применением силиката натрия и физико-химических воздействий. Дисс. канд. техн. наук. Краснодар, 1999.-126с.
47. Membrane degamming of crude soybean and rapeseed oils / Submarinian R., Nakajima M. // J. Amer. Oil Chem Sos. 1997. -74, N 8.- С. 971–975.
48. A simpler refining process for vegetable oils // Chem. Eng.(USA).-1997.-104, N5.-С. 33-35.
49. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука. - 1979.- 245 с.
50. Прудников С.М. Научно-практическое обоснование способов идентификации и оценки качества масличных семян и продуктов их переработки на основе метода ядерной магнитной релаксации Автореф. дис. докт. техн. наук. Краснодар, 2003 - 48с.
51. Эфендиев А.А. Разработка малоотходной технологии выведения восков из рафинированного подсолнечного масла: Автореф. дис. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 1996. - с.31.
52. Каротиноиды плодов и ягод / С.Е. Кудрицкая. Киев: Высшая школа, 1990.-211 с.
53. Botlan D.J., Ougguerram L. Spin-spin relaxation time determination of intermediate states in heterogeneous products from free induction decay NMR signals // Anal. Chim. Acta 1997. V.349.№ 1-3. P.339-347.
54. Веселов В.П. Разработка технологии подготовки к дистилляции и дистилляционной рафинации растительных масел. Дисс.канд. техн. наук. - Краснодар,1998.-131 с.
55. Тинькова Г.С. Разработка технологии рафинации подсолнечного масла для предприятий малой и средней мощности. Автореферат дисс.канд. техн. наук. Краснодар,2002. -24 с.
56. ზ. ჯაფარიძე, გ. გორგოძე, ა. ბანცაძე. ფხვიერი მასალების ექსტრაქტორი // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის შობათა

კრებული. „სურსათის უვნებლობის პრობლემები“. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009 – გვ. 250-253.

57. ვ. ხვედელიძე. ქიმიურ-ტექნოლოგიური ექსპერიმენტის მათემატიკური უზრუნველყოფა/ქუთაისი: აწსუ, 2011 - გ. 106.

58. ვ.ხვედელიძე, ა.ბანცაძე, გ.გორგოძე,ნ.თომაძე. ნანოდისპერგირების როლი მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციის პროცესზე// პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი «ნოვაცია», 2011, №8. - გვ. 115-118.

59. ვ.ხვედელიძე, გ.გორგოძე, მ.გაჩეჩილაძე, ა.ბანცაძე. ჩაის ლიპიდების საექსტრაქციო ხაზი// ჟ. სუბტროპიკული კულტურები, 2010, №1-4. - გვ.348-351.

60. ბ. ბუცხრიკიძე, მ. ბახტაძე, გ. გორგოძე, მ. გაჩეჩილაძე, ა. ბანცაძე. ჩაის შროტიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციის ოპტიმიზაცია// ჟ. სუბტროპიკული კულტურები, 2010, №1-4. - გვ.279-282.

61. В.Г. Хведелидзе, Б.А. Буцхрикидзе, Г.З. Горгодзе, Г.В. Хведелидзе. Результаты исследований процесса экстракции тунгового масла// Масложировая промышленность, 2009, №1.-с.29-31.

62. გ.გორგოძე, მ.გეგეშიძე, მ.ბახტაძე, ვ.ხვედელიძე. ექსტრაქციის მეთოდების ზეგავლენა ჩაის ლიპიდური კომპლექსის რაოდენობრივ და ხარისხობრივ შედგენილობაზე// საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2008, №4. - გვ.376-378.

63. ბ.ბუცხრიკიძე, მ.ბახტაძე, მ.გეგეშიძე, გ.გორგოძე, ვ.ხვედელიძე. მცენარეული ექსტრაქტების შემცველი კბილის პასტის ანთებსაწინააღმდეგო მოქმედების შესწავლა// საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2008, №4. - გვ.373-375.

64. Межгосударственный стандарт «Определение массовой доли влаги в пищевом сырье и пищевой продукции» - ГОСТ 285661-90

65. Биохимические методы анализа растений /Под редакцией А.И. Ермакова - Л.: Агропромиздат, 1987. - 525 С.

66. Кейтс М. Техника липидологии. - М.: Мир, 1975. - 322 С.
67. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров /Под редакцией А.Г. Сергеева. - Л: ВНИИЖ, 1975.-Т.1.-Кн.2.
68. Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. - М.: КолосС.2003.-360С.
69. полинг А. Общая химия.- М.: Мир, - 1974. -209 с.
70. Пищевая химия //Под. ред. проф. А. П. Нечаева. – Санкт-Петербург: Гиорд. 2003. – 631с.
71. Химические свойства жизни. - М.: Химия-Колос. – 2007. – 559 с.
72. Огай Ю.А., Соловьева Л.М., Ткаченко М.Г. и др. Масло из виноградных семян. Виноградарство и виноделие. Сб. научных трудов ин-та Магарач. 2009, с. 92 – 96.
73. Черноусова И. В., Сизова Н. В., Огай Ю.А.. Сравнение состава и качества масел, полученных экстракцией и прессованием семян винограда. Химия растительного сырья, 2011. №3, с. 129 – 132.
74. Мирзаева М. А. Масло из виноградных косточек. Масложировая промышленность, 2007. №1, с. 28.
75. Дейнека В. И., Туртыгин А. В., Дейнека Л. А., сорокопудов В.Н. Исследование триглицеридного и жирнокислотного состава масел семян винограда. Ж. Научные ведомости Белгородского гос. Университета. Серия: Естественные науки. 2008.Т.3, №6.
76. ООО Одесский завод косточковых и растительных масел «АВА»
[www. ukr – prom. com/cart/id 1513/art 271/](http://www.ukr-prom.com/cart/id 1513/art 271/).
77. Синявская Л.В. Разработка высокоэффективной технологии получения рафинированных виноградных масел функционального назначения, устойчивых к окислению. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Кубанский государственный технологический университет. Краснодар. 2003 г.

78. Шишков Г. З., Пехов А. В. Получение масла из виноградных семян // Масло-жировая промышленность. – 1980. - №10. – С. 11-13.
79. Огай Ю. А., Соловьева Л.М., Ткаченко М. Г., Черноусова И. В., Катрич Л. И., Виноградов Б. А., Асатурян Ж. М., Зайцев Г. П., Ткаченко О. В. Масло из виноградных семян // Сборник научных трудов „Виноградарство и виноделие, 2009. –С. 92-96.
80. Глумова Н. В ., Ножко Е.С., Легашева Л.А. К вопросу о качестве масла виноградных семян винограда сорта саперави.
81. Разуваев Н. И. Виноградное масло из семян // Виноградарство и виноделие. 1973. №1. С. 54.
82. Ежов В.И. Новые виды продукции из плодов винограда. М.,1990.149. с.
83. Щербаков В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. – М.: Агропромиздат, 1991. – 211 с.
84. Брыкалов А. В., Белик Е. В., Антонова Н. А. Разработкатаехнологии получения масла из косточек винограда // Сборник научных трудов «Современные достижения в химии и биотехнологии». Ставрополь, 2005. С. 64-65.
85. Касьянов Г. И. Технологические способы CO₂ –обработки растительного сырья. - М.: РУСОЗ, 1994. -132с.
86. Берчфилд Т., Сторрс Э. Газовая хроматография в биохимии. - М.: Мир, 1964. – 154 с.
87. Брыкалов А. В., Белик Е. В., Антонова Н. А., Новожилов А. Л. Исследование содержания жирных кислот в масле виноградных семян методом газожидкостной хроматографии // Вестник СевКавГТУ. – 2006. - №3
88. გორგოძე გ. ყურძნის ზეთის ელსტრატციის პროცესის ოპტიმიზაცია // ქეთაისი, აწსუ, 2013, № 11. –გ.54–60.
89. Хведелидзе В., Мегрелидзе Т., Кипиани Н. Технология биологически активных концентратов чайного шрота// Тбилиси: Мецნიереба. 2005. -30с.

90. ვ. ხვედელიძე, ნ. მუშკულდიანი, დ.ხვინგია. ჩაის შროტიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ქსტრაქცია// ჟურნალი «მეცნიერება და ტექნოლოგიები» №7-8, 2004. გვ.5.
91. ვ. ხვედელიძე, თ. გორდელაძე. ჩაის წყალხსნადი კონცენტრატების ტექნოლოგიური ხაზი და რეგლამენტი// ჟურნალი «მეცნიერება და ტექნოლოგიები» №4-6, 2004. გვ.5.
92. ვ. ხვედელიძე, დ. გრიგოლაშვილი. ჩაის ლიპიდების საექსტაქციო ხაზი//»მეცნიერება და ტექნოლოგიები». №1-3, 2006. გვ.4.
93. Хведелидзе В., Кипиани Н., Кипиани Л. Парадоксальные аспекты биохимии и фармакологии чая// Georgian Engineering News, 3-2005. -4с.
93. Хведелидзе В., Гогичаишвили Н. Какауридзе А. Способ получения чайного масляного витаминного концентрата// А.с. № 1694143. A23F3/14. A61K35/78. Приоритет 15.11.1989; 30.11.1991. Б.И. №44.
94. Хведелидзе В., Джебашвили Г. Рухадзе И. Хвингия А. Способ получения чайного масляного витаминного концентрата// А.с. № 1731142. A23F3/00. Приоритет 28.11.1989; 07.05.1992. Б.И. №17.
95. Хведелидзе В. Парадоксальные технологические аспекты грубого чайного листа// Тбилиси: Мецნიერება, 2004. -44с.