

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიზო გორგოძე

**ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის სამრეწველო
წარმოების პროცესულ-აპარატურული დამუშავება**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის კვების
ინდუსტრიის დეპარტამენტსა და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: **ზურაბ ჯაფარიძე**, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი

რეცენზენტები: **თამაზ მეგრელიძე**, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი;
ვიტალი ღვაჩლიანი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, ასოც. პროფესორი **დავით ბუცხრიკიძე**

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, ენოსალებარი, 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 საშუალებების 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 კვთებისა 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 შედგენილობა.

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 გვაძლევს 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. ვორონჟი, 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 5 სამეცნიერო სტატიის სახით საქართველოსა და საზღვარგარეთის რეიტინგულ პერიოდულ გამოცემებში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა

სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია 120 კომპიუტერზე აკრებილ გვერდზე, შეიცავს 14 ცხრილს და 22 გრაფიკულ მასალას. ბიბლიოგრაფია მოიცავს 95 ლიტერატურულ წყაროს.

ლიტერატურის ანალიზური მიმოხილვა

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.

პრაქტიკაში ყურძნის წიპწა გამოიყენება არასრულად და არარაციონალურად. ეს განსაკუთრებით ჩვენი ქვეყნის მეღვინეობას ეხება. ჭაჭის 80 %-მდე, სადაც 25-27 % წიპწაა, უკეთეს შემთხვევაში გამოიყენება მეცხოველეობის საკვებში. დანარჩენი მასა უბრალოდ იყრება. შესაბამისად, აქტუალურია წიპწიდან მეღვინეობის მეორადი პროდუქტების მაღალეფექტური ტექნოლოგიური პროცესებისა და შესატყვისი ტექნიკის დამუშავება.

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.

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

ყურძნის წიპწის გადამამუშავების 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 წარმოადგენს, ძირითადად, ყურძნის ზეთის, ცილების კონცენტრირებული ფორმების, კონცენტრირებული ტანინების ფუძეზე ბიოლოგიურად აქტიური კომპოზიციების და სხვათა მიღების ტექნოლოგიურ და ტექნიკურ წინადადებებს.

მეორე მიმართულებას განეკუთვნება ყურძნის ზეთის, ყურძნის ცილების კონცენტრირებული ფორმების, ფიტინის, მთრიმლავი ნივთიერებების კომპლექსურად მიღების ტექნოლოგიური და ტექნიკური წინადადებები.

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.

ყურძნის წიპწიდან ზეთის მიღების არსებული მეთოდებიდან (დაწნევა დაბალ ტემპერატურაზე, დაწნევა მაღალ ტემპერატურაზე და ქიმიური ექსტრაქცია) ჩვენ განვიხილავთ ქიმიურ ექსტრაქციას.

ნაშრომში განხილულია ყურძნის წიპწა და მისი გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა, წიპწის ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები. შესწავლილია ლიტერატურული მონაცემები ყურძნის წიპწის ქიმიური შედგენილობის, მიღების და გადამუშავების ხერხების შესახებ. შესრულებულია ყურძნის ზეთის მიღების თანამედროვე მდგომარეობის, ექსტრაქციების პროცესის თეორიული წინაპირობებისა და მის ექსტრაქციის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების ანალიზური მიმოხილვა.

კვლევის ობიექტები და ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია

გამშრალ ყურძნის წიპწას ვაქუცმაცებდით 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 ბურბუშელას 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 დიდი 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 – 80°C -მდე.

ექსტრაქციისათვის გამოიყენებოდა ვალცებიდან მიღებული ბურბუშელა, რომელიც ექსპერიმენტში ყოველი ცდისათვის გამოიწნებებოდა იმ რაოდენობით, რა რაოდენობითაც ცდისათვის იყო საჭირო. როგორც წესი, თითოეული ცდისათვის ვიღებდით 120 გ ვალცებზე ახლად გამოწნეხილ წიპწის ბურბუშელას.

ექსტრაჰირებისათვის მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ ვ. ხვედელიძის მიერ დამუშავებული და ა. ბანცაძის მიერ მოდიფიცირებული საექსტრაქციო აპარატის გამოყენება, რომელიც, როგორც წინასწარმა ექსპერიმენტმა გვიჩვენა, სავსებით გამართლებულია წინასწარ ჰიდროთერმულად და მექანიკურად დამუშავებული ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ორგანული გამხსნელით ზეთის ექსტრაქციისათვის.

ოპტიმიზაციის პარამეტრებისა და მათზე მოქმედი

ფაქტორების შერჩევა და დასაბუთება

წინასწარ დამუშავებული ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან 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 (ექსტრაქცია, გამხსნელის რეკუპერაცია)- E , დოლარი/ტ (აქ 1 კვტ*სთ ენერჯის ღირებულებად მივიღეთ 0,1 დოლარი). მესამე, წარმოებულ ეკონომიკურ კრიტერიუმად ვღებულობთ ენერგოთვითღირებულებას, როგორც ერთეული მიზნობრივი პროდუქტის (ზეთის) წარმოებაზე დახარჯული რეალური ენერჯის ღირებულება D , დოლარი/კგ.

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 წიპწის ბურბუშელას მასური თანაფარდობა n , ლ/კგ; პულსაციისას რხევების სიხშირე T , წ⁻¹. ამ დროს დავეყრდნით ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგებს და რხევის ამპლიტუდა მივიღეთ მუდმივი 1 მმ-ს ტოლი. რხევებს ვახორციელებთ პერიოდულად ყოველ 10 წუთში 1 წუთის განმავლობაში.

შემდგომში უნდა მოვძებნოთ 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.

ექსპერიმენტის რეალიზაცია

ფაქტორები, რომლებიც შევიდნენ დაგეგმვის მატრიცაში, მათი დონეები და ვარირების ინტერვალები მოყვანილია ცხრ.1-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 $87\text{ }^{\circ}\text{C}$, რაც სავსებით მისაღებია საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის ერთის მხრივ და პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის მეორეს მხრივ (ექსტრაქცია მიმდინარეობს დუდილის ტემპერატურის ახლოს).

ცხრილი 1

ყურძნის წიპწის ბურბუშელადან ზეთის პირდაპირი ექსტრაქციის საწარმოო ექსპერიმენტის პირობები

ფაქტორები და დონეები	ექსტრაქციის ტემპერატურა t , $^{\circ}\text{C}$	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

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

წითელი ყურძნის წიპწისათვის:

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

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

$$D=Y_2/Y_1. \tag{3}$$

თეთრი ყურძნის წიპწისათვის:

$$Y_1 = 145 + 9 X_1 + 12X_2 + 14X_3 + 2X_4 + 5X_1X_4 - 3X_1^2 - 3X_2^2 - 4X_3^2 - 2X_4^2; \tag{4}$$

$$Y_2 = 180 + 10X_1 + 8X_2 + 12X_3 + 3X_1X_3 - 3X_1^2; \tag{5}$$

$$D=Y_2/Y_1. \tag{6}$$

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.2 და ცხრ.3–ში, შესაბამისად, წითელი და თეთრი ყურძნის წიპწისათვის. ყველა შემთხვევაში კმაყოფილდება პირობა: $F_{საანგარ} < F_{კრიტ}$.

ცხრილი 2

რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (წითელი ყურძნის წიპწისათვის)

პრამეტრები Y(i)	f ₁	f ₂	²	² არაად	α	t _{0,95:31}	F _{საანგ}	F _{კრ}
o (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 3

რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები (თეთრი ყურძნის წიპწისათვის)

პრამეტრები Y(i)	f ₁	f ₂	²	² არა ად	α	t _{0,95:31}	F _{საანგ}	F _{კრ}
o (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:

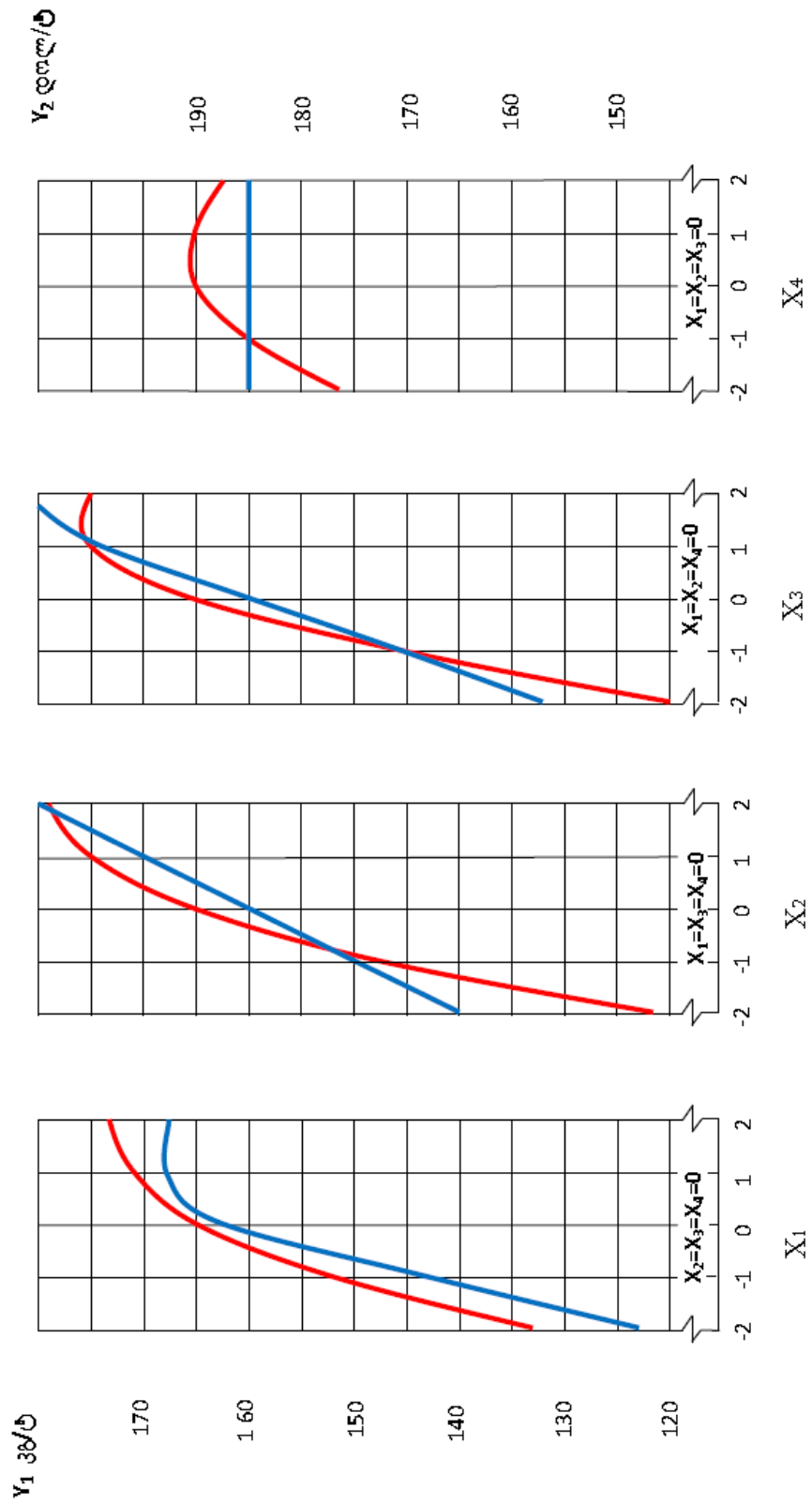
$$X = (t - 60)/10; \quad X = (m - 60)/10; \quad X = n - 7; \quad X = T - 3. \quad (7)$$

გამოძახილების ზედაპირების ერთზომადი კვეთები, რომლებიც (1) – (5) განტოლებების მიხედვითაა აგებული, მოცემულია ნახ.1– ნახ. 3-ზე. ყოველი ფაქტორისათვის გრაფიკები აგებულია იმ პირობით, რომ დანარჩენი ფაქტორების მნიშვნელობები დაფიქსირებული იყოს ძირითად (ნულოვან) დონეზე.

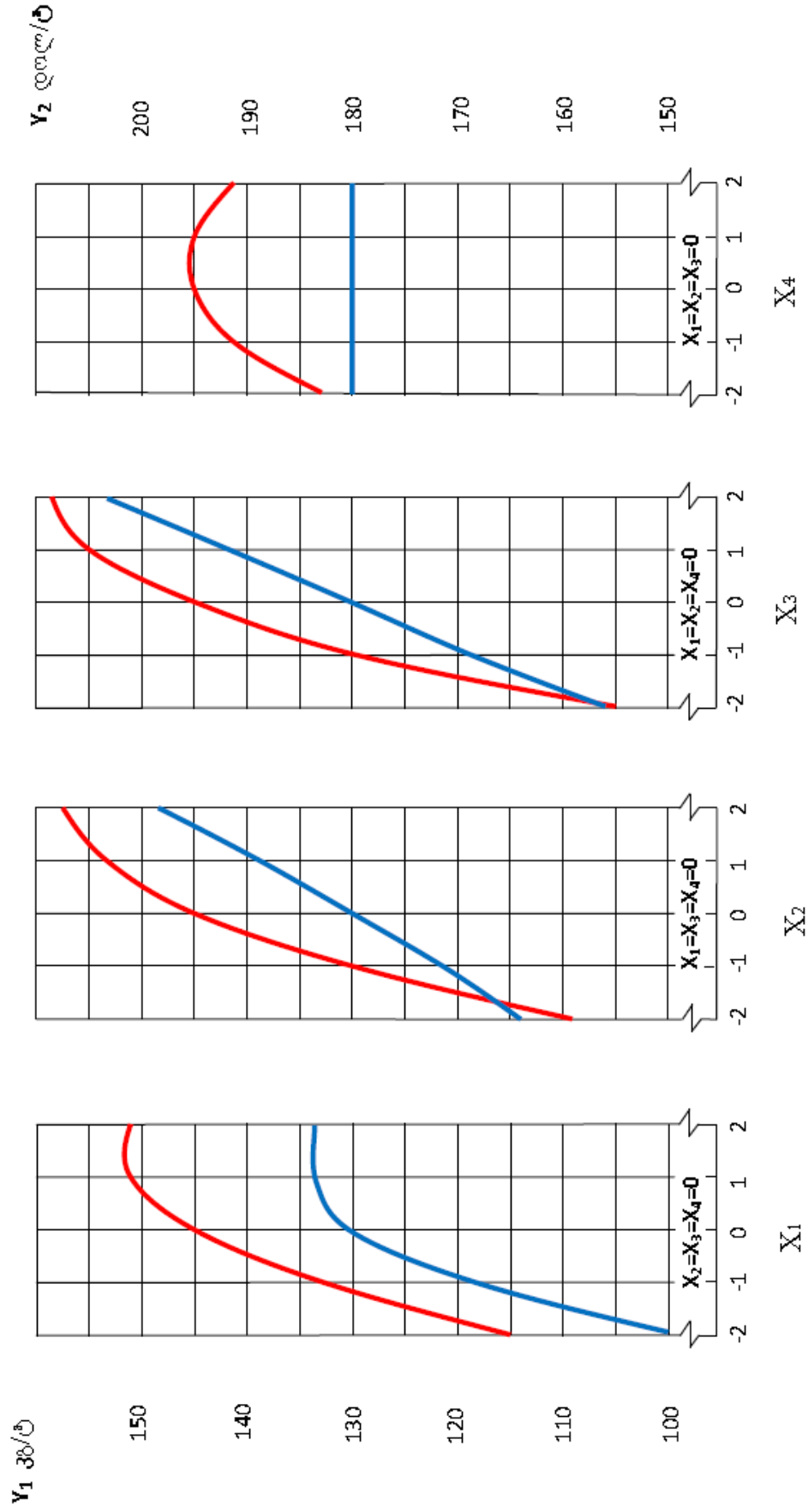
მიღებული რეგრესიის განტოლებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყველა ფაქტორი მნიშვნელოვნად მოქმედებს ოპტიმიზაციის შერჩეულ პარამეტრებზე. X_1 ფაქტორის ცვლილებით ოპტიმიზაციის პარამეტრები პარაბოლურად იცვლებიან ისე, რომ E და B_0 პარამეტრებს აქვთ გამოხატული მაქსიმუმები ექსპერიმენტის არეში ან მასთან ახლოს (ნახ.1–ნახ.2), ხოლო D პარამეტრს ექსპერიმენტის არეში აქვს მაქსიმუმი წითელი წიპწისათვის და მინიმუმი – თეთრი წიპწისათვის (ექსპერიმენტის ცენტრის ახლოს, მარჯვნივ ნახ.3), 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.1–ნახ.2). რაც შეეხება D პარამეტრს, ის პარაბოლურად იცვლება მინიმუმით ექსპერიმენტის ცენტრთან ახლოს, მარჯვნივ (ნახ.3).

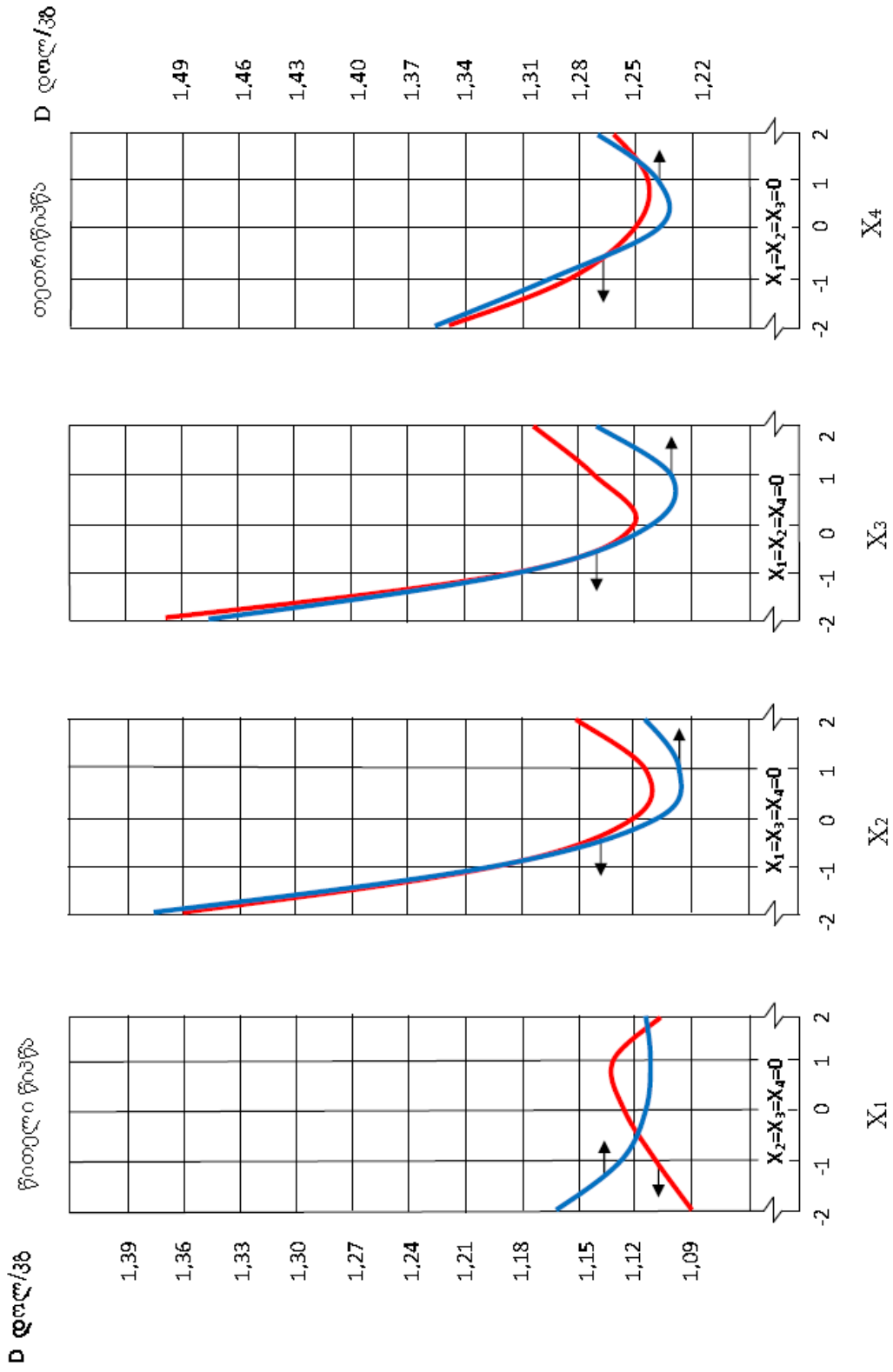
განსაკუთრებულ გავლენას მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავლიანობასა და ენერგოდანახარჯებზე ახდენს X_3 ფაქტორი (ფარდობა "ექსტრაგენტი/წიპწა"). ამ ფაქტორის გაზრდით B_0 პარამეტრი პარაბოლურად იცვლება ისე, რომ მაქსიმუმი (+1) – (+2) ინტერვალში უნდა ვეძებოთ; რაც შეეხება E პარამეტრს, ის ორივე სახის წიპწისათვის წრფივად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



ნახ. 1. რეგრესიის განტოლებების ერთობლივი კვთვები წითელი ყურძნის წიპწისათვის



ნახ. 2. რეგრესიის განტოლებების ერთობლივი კვლევა თეთრი ყურძნის წიპწისათვის



ნახ. 3. $D=Y_2/Y_1$ ფუნქციის ერთზომადი კვეთები თეთრი და წითელი ყურბმის წიპწისათვის

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.1–ნახ2). რაც შეეხება D პარამეტრს, ის ორივე სახის წიპწისათვის X_4 ფაქტორის ცვლილებით პარაბოლურად იცვლება მკვეთრად გამოხატული მინიმუმით ექსპერიმენტის ცენტრის ახლოს, მარჯვნივ (ნახ.3).

ოპტიმიზაციის B_0 პარამეტრისათვის ყველა ორმაგ ეფექტს გარდა $Y_1(X_1X_4)$ ეფექტისა, ორივე სახის ყურძნის წიპწისათვის აქვს ამოზნექილი პარაბოლოიდის ფორმა ექსპერიმენტის არეში, რომელთა პიკების კოორდინატები მოცემულია ცხრ.4–ში. $Y_1(X_1X_4)$ ეფექტების ზედაპირებს როგორც წითელი, 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.

ცხრილი4

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.1–ნახ.3) 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.

ამრიგად, მიღებული ადეკვატური რეგრესიის (1)–(5) განტოლებების ერთზომადი კვეთების (ნახ.1–ნახ.3) და ორმაგი ეფექტების 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.

წიპწიდან ზეთის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაცია

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:

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

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

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

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

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 ნულს, მივიღებთ 5 განტოლებიან და ხუთუცნობიან ორ სისტემას როგორც წითელი, ისე თეთრი ყურძნის წიპწისათვის:

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 ბურბუშელადად 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.
წითელი ყურძნის წიპწიდან ზეთის ნატურალური გამოსავლიანობა: $B_0=182,3$ კგ/ტ; თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელადად ზეთის ნატურალური გამოსავლიანობა: $B_0=157,8$ კგ/ტ; 1 ტონა წითელი ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები: $E=182,3$ დოლ/ტ; 1 ტონა თეთრი ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციაზე გაწეული სრული ენერგოდანახარჯები: $E=181,3$ დოლ/ტ
წითელი ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების ენერგო თვითღირებულება: $D=0,991$ დოლ/კგ; თეთრი ყურძნის წიპწის ზეთის წარმოების ენერგო თვითღირებულება: $D=1,161$ დოლ/კგ.

ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ექსტრაქციის ოპტიმიზაციის მიღებული შედეგები შევამოწმეთ საწარმოო პირობებში. ცდების შედეგები მოყვანილია ცხრ.5–ში.

ცხრილი 5

ოპტიმალურ პირობებში ყურძნის წიპწის ბურბუშელადად ზეთის მიღების საწარმოო გამოცდების შედეგები

პარამეტრები ცდების №	წითელი წიპწა B_0 , კგ/ტ	თეთრი წიპწა B_0 , კგ/ტ	წითელი წიპწა D , დოლარი/კგ	თეთრი წიპწა D , დოლარი/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 თანმხვედრი 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.

ექსტრაჰირებული ყურძნის წიპწის შროტიდან ნარჩენი გამხსნელის საბოლოო გამოხდა წარმოებს ისევ ექსტრაქტორში ცხელი ჰაერის ან ორთქლის მიწოდებით გამახურებელ პერანგში ორთქლის პარალელური შეყვანით. ცხელი ჰაერი ან ორთქლი წარიტაცებს გამხსნელის ორთქლს, რომელიც თბომცვლელის გავლით კონდენსირდება და მზადდება შემდგომი გამოყენებისათვის.

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.

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 6 –ში.

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური 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 (ცხრ.7).

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.

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 გვამღევს მათი გამოყენების შესაძლებლობას როგორც კოსმეტიკურ საშუალებებში, ისე ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში.

ცხრილი 6

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მახასიათებლები	თეთრი ყურძნის წიპწა	წითელი ყურძნის წიპწა
გამჭირვალობა	ოდნავ მღვრიე	ოდნავ მღვრიე
ფერი	მომწვანო-ყვითელი	მომწვანო-ყვითელი
სუნი და გემო	ყურძნისათვის დამახასიათებელი რბილი გემო	ყურძნისათვის დამახასიათებელი რბილი გემო
მჟავური რიცხვი, მგNaOH/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

ცხრილი7

ყურძნის წიპწის ლიპიდების ცხიმოვანმჟავური შედგენილობა (ჯამურის %)

ცხიმოვანი მჟავები	ყურძნის წიპწის ზეთი	
	თეთრი	წითელი
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

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

ყურძნის წიპწიდან 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. 4-ზე მოცემული სახით.

ყურძნის წიპწა 1 ბუნკერ-მიმწოდებლის საშუალებით იყრება 2 მოსახალავ დანადგარში, საიდანაც ცხელ მდგომარეობაში 3 ვალცურ დამსრეს-დამქუცმაცებელ დანადგარის გავლით ღებულობს ბურბუშელას ფორმას და იყრება 4 ბუნკერ-დოზატორში. აქედან მიეწოდება 5 საექსტრაქციო დანადგარს.

ყურძნის წიპწის ბურბუშელას ასხამენ ორგანულ გამხსნელს-

ტრიქლორეთილენს შეფარდებით 6,7 - 6,8 ლ/კგ და ყოვნილება 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 დუღილის 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 კონდენსირდება 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 გამოყოფას. 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 კონდენსირდება.

ბურბუმელას ნაწილაკები ამოტივტივდებიან ზედაპირზე, სადაც ექსტრაქციის პროცესში სივრცე გამხსნელის ორთქლითაა გაჯერებული.

როგორც ვხედავთ, ყურძნის წიპწის ბურბუმელადან 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 ბურბუმელადან 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. 8-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, იმის მიხედვით, თუ როგორია ერთგვაროვანი ნედლეულის პარტიის მოცულობა.

ცხრილი 8.

ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის წარმოების საკონტროლო მახასიათებლები

ოპერაციისა და შემსრუ- ლებელი მექანიზმის და- სახელება	პარამეტრები	
	დასახელება	მნიშვნელობა
1. ნედლეული: საწარმო-ექსპერიმენტუ- ლი ექსტრაქტორი [56]	-ზეთიანობა, % მშრალ მასაზე	16, არანაკლები
	-ტენიანობა, %	12, არაუმეტესი
2. ექსტრაქცია:	-ტემპერატურა, °C	45 - 50

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

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 ბურბუმელას მაგვარი საექსტრაქციო ფოთლოვანი მასის მიღების გზით;

3. დადგენილია ყურძნის წიპწის ბურბუმელადაც 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/კგ; რხევების (ვიბრაციის) სიხშირე (ამპლიტუდა 1 მმ) 4-5 წ⁻¹.

4. 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;

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

6. 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 გვადლევს ყურძნის წიპწის ექსტრაქტოვანი ზეთის კოსმეტიკურ საშუალებებსა და ფუნქციონალურ საკვებ პროდუქტებში გამოყენების შესაძლებლობას.

დისერტაციის ძირითადი დებულებები ასახულია შემდეგ სამეცნიერო ნაშრომებში:

1. გორგოძე გ. ყურძნის ზეთის ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმიზაცია // ქუთაისი, აწსუ, 2013, № 11. –გ. 54-60.
2. ვ.ხვედელიძე, ა.ბანცაძე, გ.გორგოძე, ნ.თომაძე. ნაწოდისპერგირების როლი მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ექსტრაქციის პროცესზე//პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ნოვაცია“, 2011, №8. - გვ. 115-118.
3. ვ.ხვედელიძე, გ.გორგოძე, მ.გაჩეჩილაძე, ა.ბანცაძე. ჩაის ლიპიდების საექსტრაქციო ხაზი// ქ. სუბტროპიკული კულტურები, 2010, №1-4. - გვ. 348-351.
4. ზ. ჯაფარიძე, გ. გორგოძე, ა. ბანცაძე. ფხვიერი მასალების ექსტრაქტორი//საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „სურსათის უვნებლობის პრობლემები" შრომათა კრებული. თბილისი. 2009.–გვ.250–253.
5. В.Г. Хведелидзе, Б.А. Буцхрикидзе, Г.З. Горгодзе, Г.В. Хведелидзе. Результаты исследований процесса экстракции тунгового масла// Масложирная промышленность, 2009, №1.-с.29–31.

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.

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 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 energy 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 energy, 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.

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.

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.