

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მამუკა ხოშტარია

ალკოჰოლური სასმელების ტექნოლოგიის  
ოპტიმიზაცია მუხის კასრების ეფექტური  
ალტერნატივების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმშენებლობა, მანქანათმშენებლობა,  
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები - 0408

თბილისი, 2016 წელი

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ., პროფესორი ზურაბ ჯაფარიძე

რეცენზენტები: სააქციო საზოგადოება “სარაჯიშვილის” მთავარი

ტექნოლოგი ტ.მ.დ., პროფესორი დავით აბზიანიძე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, პროფესორი, ტ.მ.დ. მარიამ

ხოსიტაშვილი.

დაცვა შედგება 2016 წლის 5 ივლისს 14 საათზე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და

მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის

სხდომაზე, კორპუსი-I, აუდიტორია №619-ბ.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი ნია ნათბილაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

**თემის აქტუალობა:** კონიაკის წარმოებაში მუხის კასრი პრაქტიკულად შეუცვლელი ჭურჭელია, რომელშიც აწარმოებენ საკონიაკე სპირტის დაძველებას. რამოდენიმე ციკლის შემდეგ კასრი იფიტება იმ ექსტრაქციული ნივთიერებებისაგან, რომლებიც სპირტს ანიჭებენ საბოლოო პროდუქტისათვის დამახასიათებელ თვისებებს. გამოფიტვის მიუხედავად კასრი ინარჩუნებს ერთ ძალზე მნიშვნელოვან თვისებას - დაძველების პროცესში მიმდინარე ჟანგვითი პროცესებისათვის საჭირო ჟანგბადის ბუნებრივ მიღებას. ამრიგად, თუ გამოფიტულ კასრში რომელიმე მეთოდით შევიყვანთ ექსტრაქტულ ნივთიერებებს, დაძველების პროცესი წარიმართება ჩვეულებრივ რეჟიმში და გახანგრძლივდება მისი ტექნოლოგიური სამსახურის ვადა. ეს ძალზე მნიშვნელოვანია წარმოების ეკონომიკური ეფექტურობის ასამაღლებლად, თუ გავითვალისწინებთ მუხის კასრების დეფიციტურობას და მათ მაღალ ღირებულებას.

ბოლო ათწლეულების კრიზისმა მკვეთრად გამოავლინა ახალი კასრების მწვავე დეფიციტი. საწარმოები იძულებული არიან გამოიყენონ ძველი კასრები, რომელთა ასაკი 20-25 წელი ან უფრო მეტია, რაც ვერ უზრუნველყოფს მაღალხარისხოვანი პროდუქციის წარმოებას. ამიტომ, მსოფლიოში ხარისხიანი ალკოჰოლური სასმელების წარმოებისათვის მიმდინარეობს მუხის კასრების ალტერნატივების ძიება მუხის მერქნის გამოყენების საფუძველზე.

მიუხედავად აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტისადმი ჩატარებული მრავალი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოებისა, მუხის ხის კომპონენტების ალტერნატივების ოპტიმიზაცია გამოფიტული კასრების ტექნოლოგიური რესურსის ამაღლების მიზნით ჯერ კიდევ არ არის სრულად შესწავლილი და კვლევების გაგრძელება ამ მიმართულებით **აქტუალური საკითხია.**

**სამუშაოს მიზანი და ამოცანები:** ნაშრომის მიზანია გამოფიტული მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდის მაღალეფექტური მეთოდების ძიება და კვლევა.

ნაშრომის მიზნის მისაღწევად დასმული იყო შემდეგი ამოცანები:

- ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე გამოფიტული მუხის კასრების გამოყენების აქტუალობის შესწავლა და მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტის დასაბუთება;

- “მყარი სხეული – სითხე” სისტემის (მუხის კასრი – საკონიაკე სპირტი) ექსტრაქციის პროცესის ფიზიკური მოდელის შექმნა და თეორიული დასაბუთება;

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

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

- მუხის ხის საექსტრაქციო დეტალების ოპტიმალური გეომეტრიული კონფიგურაციის დამუშავება და ძირითადი პარამეტრების დადგენა;

- მუხის ხის საექსტრაქციო დეტალების ექსპერიმენტული გამოკვლევა ლაბორატორიულ პირობებში და რეკომენდაციების შემუშავება.

**კვლევის ობიექტი:** ორიგინალური კონსტრუქციის მუხის ხის საექსტრაქციო ნამზადები და მათი საკონიაკე სპირტთან ურთიერთქმედების შედეგად მიღებული მიზნობრივი ნივთიერებები.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლეა** მუხის ხის დეტალების ორიგინალური გეომეტრიული კონფიგურაციის დამუშავება, მათი კასრში განლაგების მეთოდების და გეომეტრიული პარამეტრების თეორიული და ექსპერიმენტული დასაბუთება. კომპიუტერული პროგრამირების საშუალებით მუხის ხის საექსტრაქციო ნამზადების ორიგინალური კონსტრუქციების შექმნა და ნამზადების ფორმიდან გამომდინარე ექსტრაქციული პროცესის ტექნოლოგიური რეჟიმების დასაბუთება.

**ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას** წარმოადგენს ის, რომ შემუშავებული რეკომენდაციები მეღვინეობის საწარმოებს საშუალებას მისცემს გამოფიტული მუხის კასრების გამოყენებით გაახანგრძლივონ

მათი ტექნოლოგიური რესურსი და მიიღონ მაღალი ეკონომიკური ეფექტი.

**ნაშრომის აპრობაცია:** ნაშრომის შედეგები მოხსენებული იყო საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

1. საკონიაკე სპირტის დასაძველებელი გამოფიტული მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდა. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის – “კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობების პრობლემები” თბილისი, 2015.

2. ალკოჰოლური სასმელების ტექნოლოგიის ოპტიმიზაცია მუხის კასრების ეფექტური ალტერნატივების გამოყენებით. საერთაშორისო კონფერენცია „ხის რესურსების და ენერჯების ეფექტური გამოყენება“ (RERAM), ქალაქ გრაცი, ავსტრია. 2015 წლის 12 თებერვალი.

[https://www.dropbox.com/home/RERAM\\_all\\_exchange/Meetings](https://www.dropbox.com/home/RERAM_all_exchange/Meetings)

**ნაშრომის პუბლიკაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია ოთხ სამეცნიერო სტატიაში.

**სადისერტაციო ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა:**

სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია კომპიუტერზე დაბეჭდილ 135 გვერდზე, შეიცავს 35 ნახაზს, 10 ცხრილს, შედგება: შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგების და მათი განხილვის, ძირითადი დასკვნების, 40 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის და დანართისაგან 17 გვერდზე.

## **ნაშრომის მოკლე შინაარსი**

**შესავალში** განხილულია როგორც საქართველოს, ასევე უცხოეთის ქვეყნების მეღვინეობებში მუხის ხის კასრების გამოყენების არსებული მდგომარეობა. ნაჩვენებია, რომ საწარმოებში, წლების განმავლობაში, დიდი რაოდენობით გროვდება გამოფიტული მუხის ხის კასრები და მათი ტექნოლოგიური რესურსის განახლებას, წარმოების ეკონომიკური მაჩვენებლების ასამაღლებლად, ენიჭება დიდი მნიშვნელობა. დასაბუთებულია ალტერნატიული საშუალებების ძიების და მათი მეცნიერული კვლევის აუცილებლობა.

განმარტებულია საკითხის აქტუალობა, ნაშრომის მიზანი,

მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება, დასახულია კვლევის ამოცანები.

**პირველ თავში (ლიტერატურის მიმოხილვა)** ნაჩვენებია საქართველოში და მსოფლიოში არსებული საკასრე მუხის ჯიშები, მათი გავრცელების არეალი და მათგან წარმოებული მერქნის დეფიციტი მზარდი მოთხოვნილების ფონზე.

გაანალიზებულია მუხის მერქნის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებები, რომლებიც განსაზღვრავენ სპირტის დაძველების პროცესში მიმდინარე რთულ ექსტრაქციულ პროცესებს და ალტერნატივების გამოყენების შესაძლებლობებს.

განხილულია კონიაკის სპირტის დაძველების როგორც კლასიკური, ასევე ალტერნატიული მეთოდები. კერძოდ, განხილულია მომინანქრებულ რეზერვუარებში სპირტის დაძველების მეთოდები მუხის მერქნის შემადგენელი კომპონენტების გამოყენებით. ნაჩვენებია ამ მეთოდების თანმდევი ტექნიკური ხასიათის სირთულეები, რაც დაკავშირებულია რეზერვუარებში ჟანგბადის ხელოვნურ, დოზირებულ მიწოდებაში. ნაჩვენებია, რომ მერქნის მთელი რიგი კომპონენტების (ნახერხი, ბურბუშელა და სხვა) გამოყენება, მიუხედავად მათი მაღალი ექსტრაქციული თვისებებისა მნიშვნელოვნად ართულებს შემდგომ საჭირო ულტრაფილტრაციულ პროცესებს. ასევე არ იძლევა სრულფასოვან შედეგს მუხის ექსტრაქტების გამოყენება, როგორც გამოფიტული კასრების ალტერნატივა, რადგან მათი წარმოების პროცესში მიღებული მასა კარგავს მუხის მერქნის ღირებულ, არომატის წარმომქმნელ კომპონენტებს, რის გამოც ასეთი ექსტრაქტებიდან მიღებულ სასმელებს აქვთ დაბალი ორგანო-ლეპტიკური თვისებები.

გაანალიზებულია ექსტრაქციული პროცესების თეორიული კვლევების ძირითადი მიმართლებები, კერძოდ მოლეკულური და კონვექციური დიფუზიის მათემატიკური ფორმულირებები. აღნიშნულია, რომ მოყვანილ მათემატიკურ მოდელებში შემავალი ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის განსაზღვრა დაკავშირებულია დიდ სირთულეებთან, რაც აძნელებს არსებული თეორიების პრაქტიკულ

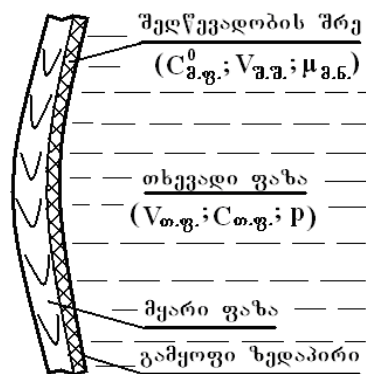
გამოყენებას. ამდენად, არსებული თეორიული ბაზა საჭიროებს შემდგომ განვითარებას.

ლიტერატურული მიმოხილვის საფუძველზე გაკეთებულია სათანადო დასკვნები, რომელთა თანახმად მუხის მერქნის საქსტრაქციო კომპონენტების ალტერნატიული ნიმუშების ოპტიმალური გეომეტრიული პარამეტრების დასაბუთება და მათი გამოყენება მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდის მიზნით აქტუალური საკითხია.

**მეორე თავში** (შედგები და მათი განსჯა) – ნაჩვენებია მუხის კასრში სპირტის დაძველების ექსტრაქციული პროცესის კინეტიკა.

მუხის კასრში სპირტის დაძველება წარმოადგენს ექსტრაქციულ პროცესს. ამ დროს სპირტი აღწევს მუხის შრეში და გამოაქვს სპირტში ხსნადი მიზნობრივი ნივთიერებები, რომლებიც პროდუქტს ანიჭებენ მისთვის დამახასიათებელ გემოს, არომატს, ფერს და სხვა.

მუხის კასრში ექსტრაქციის პროცესში აღინიშნება შემდეგი სტადიები (ნახ.1): ექსტრაგენტის შეღწევა კასრის კედელში (შეღწევადობის შრე), რომელიც მიმდინარეობს კაპილარული ძალების მოქმედებით; უჯრედებში არსებული მიზნობრივი ნივთიერებების დასველება და გახსნა; ნივთიერებათა გამორეცხვა გახსნილი ფორებიდან; ნივთიერებათა მასაგადატანა მოლეკულური დიფუზიით გამყოფი ზედაპირიდან ხსნარში.



ნახ.1. მუხის კასრში მიმდინარე ექსტრაქციის პროცესის ფიზიკური მოდელი

მუხის კასრში მიმდინარე ექსტრაქციული პროცესის კინეტიკა შესაძლებელია წარმოვადგინოთ ექსპონენციალური განტოლებით

$$C = \frac{C_{აფ}^0 V_{აფ} - C_{თფ}^0 V_{თფ}}{V_{აფ} + V_{თფ}} (1 - e^{-k\tau}) \quad \text{კგ/მ}^3, \quad (1)$$

სადაც  $C$  - თხევად ფაზაში (სპირტში) მიზნობრივი ნივთიერების მიმდინარე კონცენტრაციაა, კგ/მ<sup>3</sup>;  $C_{აფ}^0$  - მყარ ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერების საწყისი კონცენტრაციაა, კგ/მ<sup>3</sup>;  $V_{აფ}$  - შეღწევალობის შრის მოცულობაა, მ<sup>3</sup>;  $C_{თფ}^0$  - თხევად ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერების საწყისი კონცენტრაციაა, კგ/მ<sup>3</sup>;  $V_{თფ}$  - კასრში მოთავსებული თხევადი ფაზის (სპირტის) მოცულობაა, მ<sup>3</sup>;  $k$  - ექსტარქციის პროცესის კონსტანტაა;  $\tau$  - მიმდინარე დროა.

რამდენადაც საწყის მომენტში თხევად ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერებების კონცენტრაცია ნულის ტოლია, ე.ი.  $C_{თფ}^0 = 0$ , ამიტომ (1) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$C = \frac{C_{აფ}^0 V_{აფ}}{V_{აფ} + V_{თფ}} (1 - e^{-k\tau}) \quad \text{კგ/მ}^3. \quad (2)$$

კასრში მიმდინარე პროცესის ადეკვატური აღწერისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება  $k$  კონსტანტას სწორად შეფასებას, რომელიც რამოდენიმე მნიშვნელოვან ფაქტორზეა დამოკიდებული. ჩვენი შეფასებით და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე,  $k$ -ს მნიშვნელობა განისაზღვრა შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

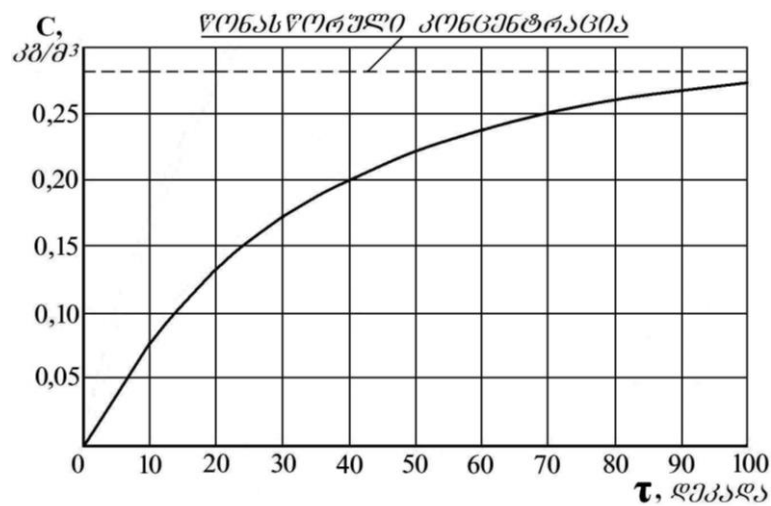
$$k = \frac{C_{აფ} \cdot \exp[-(C_{აფ} - C_{აფ.1}) / C_{აფ.1}] \cdot p \cdot k_v \cdot k_\nu \cdot k_\ell \cdot \psi}{\mu_{აფ.1}} \quad 1/\text{წმ}, \quad (3)$$

სადაც  $C_{აფ}$  - მყარ ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერებების საწყისი მასური კონცენტრაციაა, კგ/კგ;  $C_{აფ.1}$  - მყარ ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერებების საწყისი, მინიმალური, მასური კონცენტრაციაა, კგ/კგ;  $p$  - კასრში მიმდინარე უანგვითი პროცესის შედეგად გამოწვეული სპირტისა და წყლის აირების წნევაა, კპა;  $k_v = V_{აფ} / V_{თფ}$  - შეღწევალობის შრის მოცულობის ფარდობაა თხევადი ფაზის მოცულობასთან, მ<sup>3</sup>/მ<sup>3</sup>;  $k_\nu = \nu_{აფ} / \nu_{გრ}$  - მყარ ფაზაში ხსნადი ნივთიერებების მოძრაობის



სიჩქარეთა ფარდობაა ბოჭკოების განივად და გრძივად;  $k_\ell$  - მუხის მასალაში ნივთიერების გამტარი კაპილარების განივი და გრძივი ზომების შეფარდებაა, მ/მ;  $\psi$  - მუხის მასალის ფორიანობის კოეფიციენტი;  $\mu_{ა.გ.}$  - კაპილარებში გახსნილი მიზნობრივი ნივთიერების დინამიკური სიბლანტეა, კპა.წმ.

(3) განტოლებიდან მიღებულ  $k$ -ს მნიშვნელობისათვის (2) ფორმულიდან ვსაზღვრავთ მყარიდან თხევად ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერების, მაგალითად, მთრიმლავი ნივთიერებების გადასვლის კინეტიკას, რომელიც გამოისახება ექსპონენციალური გრაფიკის სახით (ნახ.2).



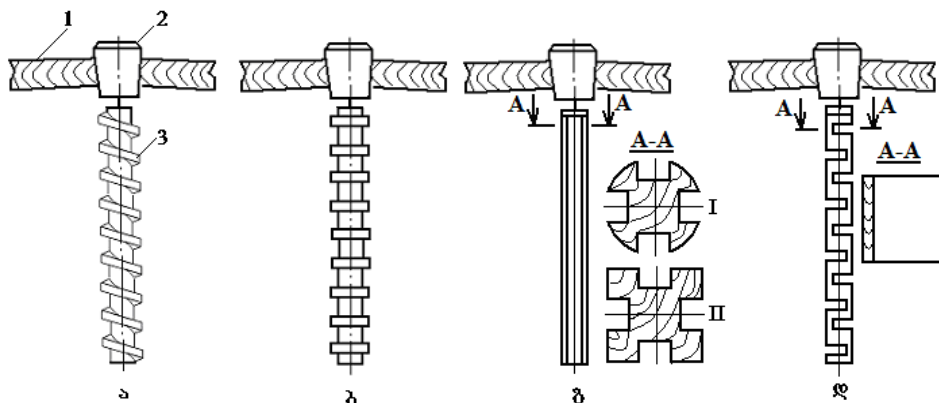
ნახ.2. მუხის კასრში ტანიდების ექსტრაქციის კინეტიკური გრაფიკი

გრაფიკის ასაგებად მიღებული იყო შემდეგი საწყისი მონაცემები: მთრიმლავი ნივთიერებების მინიმალური შემცველობა 12-15% ტენიანობის მუხის მასალაში, ლიტერატურული მონაცემებით  $C_{\text{ა.გ.}} \approx 2...10\%$  მთლიან მასასთან მიმართებაში;  $C_{\text{ა.გ.}} = C_{\text{ა.გ.}} = 0,02$  კგ/კგ;  $V_{\text{თ.ფ.}} = 0,4$  მ<sup>3</sup>;  $p \approx 0,15$  კპა; კასრის კედელში თხევადი ფაზის შეღწევადობის შრის საშუალო სისქე -  $\delta = 3,0$  მმ, შესაბამისად შეღწევადობის შრის მოცულობა 40 დალ ტევადობის კასრისთვის -  $V_{\text{ა.გ.}} = 0,00831$  მ<sup>3</sup>;  $k_v = 0,006$ ;  $k_\ell = 0,01$ ;  $\psi = 0,5$ ;  $\mu_{\text{ა.გ.}} = 0,05$  კპა.წმ; საკასრე მუხის მასალის მოცულობითი მასა -  $\rho \approx 700$  კგ/მ<sup>3</sup>.

ამ მონაცემებისათვის, მიზნობრივი ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია (2) განტოლების მიხედვით შეადგენს  $0,28 \text{ კგ/მ}^3$ . ამავე განტოლებით გამოითვლება მიმდინარე კონცენტრაცია. (3) განტოლებიდან კონსტანტას მნიშვნელობა შეადგენს -  $k = 36.10^{-9}$ .

### საკონიაკე სპირტის დასაძველებელი მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტში ჩვენს მიერ დამუშავდა საკონიაკე სპირტის დასაძველებელი მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდის რამოდენიმე ტექნიკური გადაწყვეტა, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ.3,4, 5-ზე. ეს ტექნიკური გადაწყვეტა ითვალისწინებს კასრის სამომსახურებლო ნახვრეტიდან სათანადო თვისებების მქონე მუხის მასალისაგან დამზადებული დეტალების შეტანას.



ნახ.3. მუხის ხის ნამზადების გეომეტრიული კონფიგურაციები:

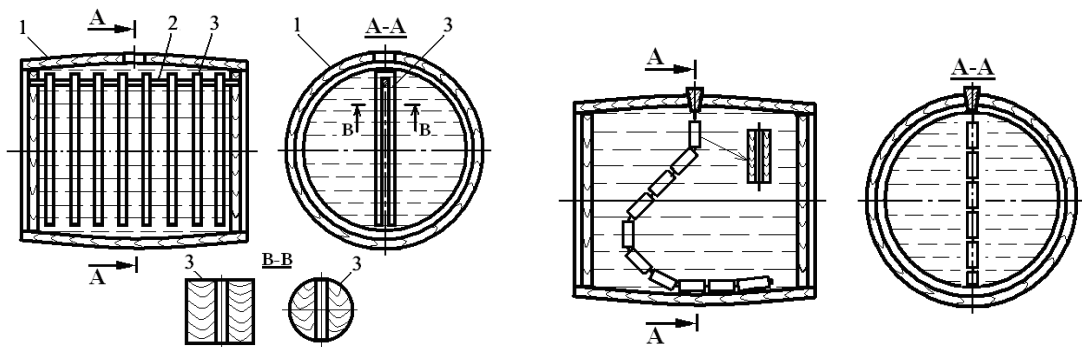
- ა- ხრახნული; ბ- წრიული რგოლებით; გ- გრძივი ღარებით;
- დ- ჭადრაკულად განლაგებული ღრმულებით და შეერილებით.
- 1- კასრი; 2-საცობი; 3- ნამზადი

დეტალების გეომეტრიის შერჩევისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მათი ზედაპირების ფართობების თანაფარდობის სწორად შერჩევას. კერძოდ საჭიროა, რომ ტორსული და გვერდული ზედაპირების ფართობა იყოს მაქსიმალურად დიდი. ლიტერატურული წყაროებიდან ცნობილია, რომ ექსტრაქტის გამოყოფა ტორსული ზედაპირიდან ბევრად უფრო ინტენსიურია ვიდრე გვერდითიდან.

კასრის ზომებიდან და მყარი და თხევადი ფაზების საჭირო თანაფარდობიდან გამომდინარე დეტალები კასრში შესაძლებელია შეყვანილი იყოს მთლანი ნამზადების სახით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.3-ზე, ან მოქნილ ბაგირზე ანაკრების სახით (ნახ.5), რომელიც იძლევა მათი რაოდენობის სასურველ სიდიდემდე გაზრდის შესაძლებლობას.

ნახ.4-ზე მოცემულ სქემაზე კასრის 1 ტორსულ კედლებში ნახვრეტისადმი სიმეტრიულად, ჰერმეტიკულად ჩამაგრებულია მცირე დიამეტრის (5...7 მმ) ხისტი ღერო 2, რომელზედაც სამომსახურეო ნახვრეტიდან დაეკიდება  $U$ -სებური ფორმის მუხის დეტალები საჭირო რაოდენობით. დეტალების ჩაკიდება, მათი განაწილება ღეროს სიგრძეზე და ამოღება შესაძლებელია მარტივი სამარჯვის გამოყენებით.

ნახ.3-ზე წარმოდგენილი ვარიანტებიდან ტექნოლოგიური და ეკონომიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე ყურადღებას იმსახურებს "ა" და "დ" სქემები. "დ" სქემის მიხედვით ნამზადზე თანმიმდევრულად, ჭადრაკისებურად განლაგებულია ღრმულები და შვერილები.



ნახ.4.კასრში ხისტ ღეროზე ჩაკიდებული მუხის დეტალები

ნახ.5.კასრში საექსტრაქციო ნამზადების შესაძლო განლაგების სქემა

ნახ.6-ით განსაზღვრულია მოცემული ნამზადის გეომეტრიული ზომების გავლენა მისი მოცულობის (შესაბამისად მასის) გამოყენების კოეფიციენტზე და აგრეთვე ტორსული და გვერდითი ზედაპირების თანაფარდობაზე.

მოცულობის გამოყენების კოეფიციენტი ტოლი იქნება

$$K_V = 1 - \frac{h_1}{l_1 + h_1}$$

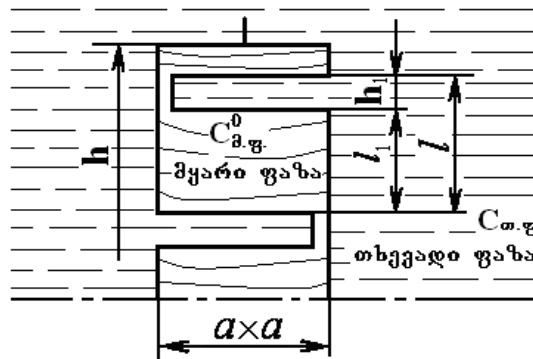
სადაც  $h_1$  - ნამზადის ღრმულის სიგანეა;  $l_1$  -შვერილის სიმაღლეა.

ნამზადის ტორსული და გვერდითი ზედაპირების ფართობების ფარდობა ტოლია

$$K_F = \frac{\sum F_{ტორ.}}{\sum F_{გვ.}} = \frac{2a}{4l_1 + h_1}$$

სადაც  $a$  - კვადრატული კვეთის ნამზადის გვერდის სიგრძეა.

$h_1$  სიდიდის შემცირებით  $K_V$  და  $K_F$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები იზრდება, რითაც იზრდება ექსტრაქციის პროცესის ინტენსივობა. თავის მხრივ,  $h_1$  სიდიდის მინიმალური მნიშვნელობა შეზღუდულია ნამზადის ღრმულების გავლით მოლეკულური დიფუზიური პროცესის მიმდინარეობით.



ნახ.6. მუხის ხის ნამზადების პარამეტრების საანგარიშო სქემა

### საექსტრაქციო სპირალური ზედაპირების ოპტიმიზაცია გეომეტრიული მოდელირების გამოყენებით

წრიული კვეთის მუხის ხის საექსტრაქციო ნამზადების ერთ-ერთ გეომეტრიულ კონფიგურაციას წარმოადგენს ინფუზიური სპირალი. როგორც უცხოელი მწარმოებლები ამტკიცებენ საკმარისია სპირალმა ექვსი კვირის განმავლობაში იმოქმედოს ღვინოზე ან სპირტზე, რომლებიც ნეიტრალურ ჭურჭელში ინახება, რომ ეს პროცესი ახალ კასრებში სასმელის სამწლიანი დაყოვნების სრულ ანალოგიურ ეფექტს იძლევა (რვაჯერ უფრო სწრაფად ვიდრე ტრადიციული მეთოდები). ექვსი კვირის განმავლობაში მუხის ხის სპირალების ყველა არომატი გადადის ღვინოში ან სპირტში და ეს სპირალები შემდგომი გადადის

დვინოში ან სპირტში და ეს სპირალები შემდგომი გამოყენებისათვის უვარგისი ხდება.

ინტუიცური ხედვით შესაძლებლად მიგვაჩნია წარმოვიდგინოთ ინფუზიური სპირალების (Infusion spiral) პრინციპული კონფიგურაციის ოპტიმიზაცია გეომეტრიული მოდელირების გამოყენებით აუცილებელი შეზღუდვების გათვალისწინებით:

1. კონცეპტუალურად (სიტყვიერად/ვერბალურად):

საკონტაქტო “ეფექტური” ზედაპირის მაქსიმუმი, ნამზადის ფიქსირებული გეომეტრიული პარამეტრების საზღვრებში, დამუშავების და გამოყენების სფეროში არსებული ტექნოლოგიური შეზღუდვების გათვალისწინებით.

2. პრინციპული (განზოგადებული) მათემატიკური მოდელი ოპტიმიზაციის ამოცანის კანონიკური ფორმით:

$$S = C_v S_v + C_H S_H \rightarrow \max, \text{ როცა:} \quad (4)$$

$$S_v \leq F_v(L, D, N);$$

$$S_H \leq F_H(L, D, N); \quad (5)$$

$$N = F_p(L, \varphi);$$

სადაც: (4) მიზნის ფუნქციაა (კრიტერიუმი, ფუნქციონალი); (5) - შეზღუდვების სისტემა (უტოლობები, ტოლობა);  $S$  - ჯამური “ეფექტი”, დაყვანილი ზედაპირი;  $S_v$  და  $S_H$  - შესაბამისად საკონტაქტო ზედაპირები ბოჭკოების გასწვრივ და მართობულად;  $C_v$  და  $C_H$  - შესაბამისად მიმართულების ზედაპირების ფასეულობა;  $F_v$  და  $F_H$  - ზედაპირების ფუნქციონალური დამოკიდებულება ნამზადის გეომეტრიულ გაბარიტებთან და სპირალური ბრუნვის რიცხვთან;  $N$  - სპირალის ბიჯის შეფარდება ნამზადის საანგარიშო სიგრძესთან;  $\varphi$  - სპირალური ხაზის ასვლის კუთხე;  $L, D$  - ნამზადის გეომეტრიული პარამეტრები.

1. კლასიკური მათემატიკური მოდელი დაიყვანება ჰელიკოიდის ზედაპირის გაანგარიშებაზე

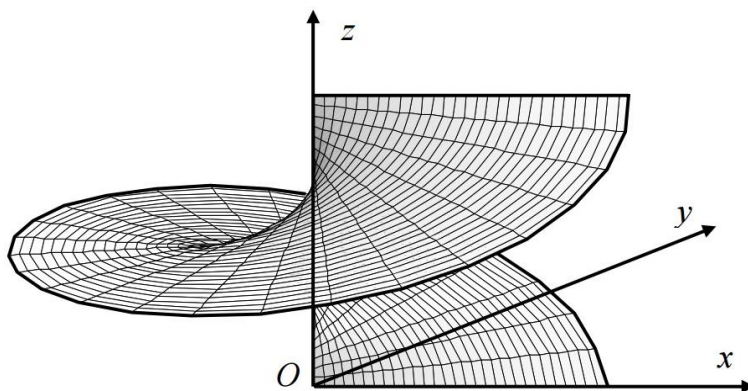
$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi, \quad z = b \varphi, \quad 0 < r \leq a, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi.$$

რადგან,  $x'_r = \cos \varphi$ ,  $x'_\varphi = -r \sin \varphi$ ,  $y'_r = \sin \varphi$ ,  $y'_\varphi = r \cos \varphi$ ,  $z'_r = 0$ ,  $z'_\varphi = b$ ,

(5) ფორმულით ვღებულობთ

$$E = \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$$

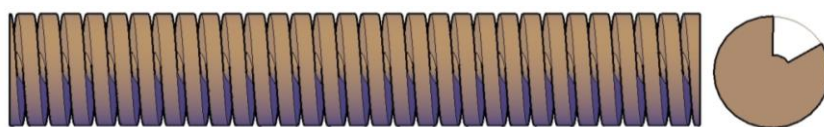
ზემოთ მოყვანილი მეტრული კოეფიციენტები E, G, F განსაზღვრავენ არა მარტო მრუდის სიგრძეებს, არამედ საერთოდ ყველა გაზომვის შედეგებს ზედაპირის შიგნით (კუთხეები, ფართობები, სიმრუდე და ა.შ.) ამიტომ რაც შეეხება მეტრულს, ის განეკუთვნება მხოლოდ შიდა გეომეტრიას.



ნახ.7. ჰელიკოიდი

$r$  - არის ჰელიკოიდის რადიუსი;  $b$  - არის ხრახნის ბიჯი ( ასევე  $b$  - არის ფუნქცია და არგუმენტი და ისინი შეიძლება ერთმანეთის ტოლად ჩაითვალოს მცირე კუთხეების შემთხვევაში);  $F$  - არის ბადის ელემენტარული ნაწილი. აქედან გვაქვს ჰელიკოიდის ზედაპირის ფართობი

$$|\Omega| = \iint_{\Delta} \sqrt{1 \cdot (r^2 + b^2) - 0} dr d\varphi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \sqrt{r^2 + b^2} dr = \pi(a\sqrt{a^2 + b^2} + b^2 \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b})$$



ნახ.8. ინფუზიური სპირალის მოდელი (AutoCAD 2014)

2. გეომეტრიული მოდელირება ხორციელდება Autodesk-ის პროგრამული პაკეტის AutoCAD-ის (თანამედროვე ვერსიების) გამოყენებით. (ტექსტში 3D მოდელის ფორმატ-წარმოქმნის

ინსტრუმენტარის მეშვეობით: Helix, Sweep, Extrude, ე.წ. ბულის ლოგიკური ოპერაციები და სხვა).

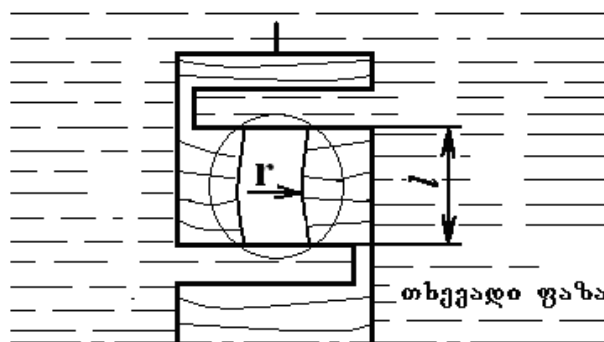
### მერქანში სითხის მოძრაობა მოლეკულური ძალების გავლენით

ცნობილია, რომ სითხის ზედაპირულ ფენაში მოლეკულური ძალების ტოლქმედი მიმართულია ამ სითხის შიგნით და მისი მოქმედება ანალოგიურია სითხისა და აირის გაყოფის ზღვარზე დაჭიმული დრეკადი აპკის წარმოქმნის. ამ აპკის დაჭიმულობის ძალის შეფარდება სიგრძის ერთეულთან წარმოადგენს ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტს ( $\sigma_{\text{ღ}}$ ), განზომილებით ჯგ/მ<sup>2</sup> ან ნ/მ.

სითხის ზედაპირული ფენის მოლეკულებს შიგა მოლეკულებთან შედარებით აქვთ ჭარბი პოტენციური ენერგია. სითხის ზედაპირის პოტენციური ენერგია პროპორციულია მისი ზედაპირის ფართობის

$$E = \sigma_{\text{ღ}} \cdot S$$

კონიაკის სპირტში ვერტიკალურად მოთავსებული მუხის მერქნის საექსტრაქციო ნამზადის კაპილარში (ნახ.9) სითხის ასვლა განპირობებულია წნევათა სხვაობით ( $\Delta P$ ), რომელიც იქმნება კაპილარული წნევით  $p_{\text{კ}}$ , სითხის სიმძიმის ძალის წნევით  $p_{\text{ს}}$  და კაპილარიდან გამოდევნილი ჰაერის წნევით  $p_{\text{ჰ}}$ .



ნახ.9. ნამზადის კაპილარებში სპირტის მოძრაობის საანგარიშო სქემა

$$\Delta p = p_{\text{კ}} - p_{\text{ს}} - p_{\text{ჰ}} \quad (6)$$

კაპილარში სითხის მოძრაობის ინტენსივობა, რომელიც გამოისახება

მისი მოცულობითი სიჩქარით  $dV/d\tau$ , მ<sup>3</sup>/წმ, განისაზღვრება პუაზელის განტოლებით

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\pi r^4}{8\mu l} \Delta p, \quad (7)$$

სადაც  $r$  - კაპილარის რადიუსია, მ;  $l$  - კაპილარის სიგრძე, მ;

$\mu$  - სითხის დინამიკური სიბლანტეა, პა.წმ.

კაპილარული წნევა ცილინდრულ კაპილარში განისაზღვრება ფორმულით

$$p_d = \frac{2\sigma_g \cos \theta}{r} \quad (8)$$

სადაც  $\theta$  - კაპილარში მენისკის მახვილი კუთხეა.

კაპილარში სითხის ასვლა წყდება როდესაც კაპილარული წნევა აბსოლუტური სიდიდით გაუტოლდება სიმძიმის ძალის წნევას. სითხის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\delta_{\max} = \frac{2\sigma_g \cos \theta}{r\rho g}, \quad (9)$$

სადაც  $\rho$  - სითხის სიმკვრივეა;  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება.

მოცემულ შემთხვევაში, როდესაც ნამზადები მთლიანად არის მოთავსებული სპირტში, სიმძიმის ძალის წნევა პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას სითხის მოძრაობის სიჩქარეზე. მაგრამ კაპილარულ წნევას წინააღმდეგობას უწევს კაპილარებში არსებული ჰაერის  $p_3$  წნევა. ამ შემთხვევაში წნევათა სხვაობა, რომელიც იწვევს სითხის მოძრაობას კაპილარებში შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ტოლობით.

$$\Delta p = p_d + p_0 - p_3, \quad (10)$$

სადაც  $p_0$  - ნამზადის გარემომცველი არეს წნევაა, პა.

ლიტერატურული მონაცემებით სპირტისათვის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი  $\sigma_g = 0,022$  ნ/მ; კაპილარში მენისკის მახვილი კუთხე  $\theta = 30 \dots 60^\circ$ ; კაპილარებში არსებული ჰაერის წნევა  $p_3 = (1,05 \dots 1,1) p_0$ ; მუხის მერქნის კაპილარის საშუალო რადიუსი  $r = 0,0002$  მ.



კაპილარული წნევა (8) ფორმულიდან შეადგენს  $p_c=195$  პა. ჰაერის ჰაერის წინააღმდეგობის წნევა ტოლია

$$p_a=(1,05\dots 1,1)p_0=1,1\cdot 100=110 \text{ პა,}$$

სადაც გარემომცველი არეს წნევა  $p_0$  განისაზღვრება ნამზადის საფეხურების ზედა და ქვედა ზედაპირებს შორის ჰიდროსტატიკური წნევების სხვაობით, ანუ საფეხურის  $l$  სიგრძით (ნახ.9). აღნიშნული სიდიდე შეადგენს 10 მმ-ს, რაც შეესაბამება 100 პა ჰიდროსტატიკური წნევების სხვაობას.

(10) ფორმულიდან წნევათა სხვაობა, რომელიც იწვევს სითხის მოძრაობას კაპილარებში ტოლია  $\Delta p=180$  პა. კაპილარში სითხის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე (9) ფორმულით შეადგენს  $\delta_{\max}=19,6$  მმ.

ამრიგად ჩვენს მიერ შერჩეული ნამზადის საფეხურების სიგრძე (10 მმ) სრულად უზრუნველყოფს სითხის სწრაფად შეღწევას მერქანში ტორსული ზედაპირების მხრიდან.

მთლიანი ნამზადების შემთხვევაში სითხის ასვლის გაგრძელება შესაძლებელია ჰაერის სპირტში გახსნით და მისი მოლეკულების დიფუზიით კაპილარულ არხებში და გარემომცველ არეში. ეს ძალიან ნელი პროცესია, რომელიც გაგრძელდება რამოდენიმე წელი.

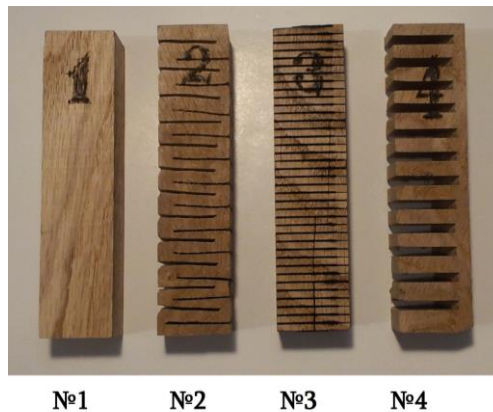
### **მუხის საექსტრაქციო ნამზადების ექსპერიმენტული კვლევა სპირტის დაძველების პროცესში**

ჩვენს მიერ დამუშავებული იყო რამოდენიმე გეომეტრიული მოდიფიკაციის მუხის საექსტრაქციო ნამზადი. ექსპერიმენტული კვლევები ითვალისწინებდა ნამზადების გეომეტრიული პარამეტრების ოპტიმიზაციას, რაც გულისხმობს ექსტრაქციული პროცესების ინტენსივობის ამაღლებას.

კონიაკის სპირტის დაძველება რთული ბიო-ქიმიური და ხანგრძლივი პროცესია, რომელიც რამოდენიმე წელი გრძელდება. ამდენად ექსპერიმენტული კვლევა დაიგეგმა ისე, რომ საექსტრაქციო ნამზადები შეგვეფასებინა არა საბოლოო შედეგით, არამედ სპირტში ექსტრაქციული ნივთიერებების გადასვლის დინამიკით. ერთ-ერთ ასეთ

ნივთიერებას წარმოადგენს მთრიმლავი ნივთიერებები, რომლებიც სხვა ნივთიერებებთან შედარებით უფრო სწრაფად გადადიან სპირტში. კვლევებისადმი ასეთი მიდგომა სრულიად ადეკვატურია სხვადასხვა კონფიგურაციის ნამზადების შედარებითი შეფასებისათვის.

საცდელი ნიმუშები დამზადებული იყო ერთიდაიგივე ჯიშის მუხის მერქნისაგან ზომებით 27X27X110 მმ, მათგან ერთი იყო მასიური, ხოლო სამი - სხვადასხვა ზომის განივი ჭრილებით, რომლებიც ერთმანეთს შორის წარმოქმნიან საფეხურებს (ნახ.10).



ნახ.10. ექსპერიმენტული მუხის ხის ნიმუშები

ნამზადები ერთმანეთისაგან განსხვავდება მასით და საკონტაქტო ზედაპირის ფართობებით. ნამზადების მასა შეადგენდა 50...65 გ ხოლო საკონტაქტო ზედაპირის ტორსული ფართობები იცვლებოდა 14,6...540 სმ<sup>2</sup> ზღვრებში. ნამზადების საწყისი ტენიანობა იყო 10 %, ხოლო მთრიმლავი ნივთიერებების მასური წილი – 6,0% ნიმუშის მასის მიმართ.

რამდენადაც ექსტრაქციის პროცესში გაცილებით მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ნიმუშის ტორსული ზედაპირის ფართობი, ამდენად ნიმუშების დასახასიათებლად შემოვიღეთ ნიმუშის ერთეულ მასაზე მოსული ტორსული ზედაპირის ფართობი, ანუ  $F_{ტორ.} / G_{ნიმ.}$ , სმ<sup>2</sup>/გ. შერჩეული ნიმუშების მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში 1.

ცდები ტარდებოდა ქ.თბილისის კონიაკის ქარხანა სს “სარაჯიშვილში” და შპს “ნორმას” საგამოცდო ლაბორატორიაში.

სპირტში მთრიმლავი ნივთიერებების შემცველობის განსაზღვრა ხდებოდა ბელორუსიის ნაციონალური მეცნიერებათა აკადემიის

“სურსათის სამეცნიერო-პრაქტიკულ ცენტრში” დამტკიცებული მეთოდის მიხედვით. ამავე მეთოდით სარგებლობს შპს “ნორმას” საგამოცდო ლაბორატორია.

ცხრილი 1

საექსტრაქციო ნიმუშების ძირითადი პარამეტრები

ჭრილების ზომა $\delta$ , მმ	0	0,6	1,0	3,2
$F_{\text{ტორ.}} / G_{\text{ნიმ.}} \text{ სმ}^2 / \text{გ}$	0,22	10,4	4,5	3,1
$F_{\text{ტორ.}} / F_{\text{პფ.}} \text{ სმ}^2 / \text{სმ}^2$	0,123	5,67	2,46	1,7



ნახ.11. საცდელი ნიმუშები ქ. თბილისის კონიაკის ქარხნის ლაბორატორიაში

სპირტში მთრიმლავი ნივთიერებების შემცველობის განსაზღვრა ხდებოდა ბელორუსიის ნაციონალური მეცნიერებათა აკადემიის “სურსათის სამეცნიერო-პრაქტიკულ ცენტრში” დამტკიცებული მეთოდის მიხედვით. ამავე მეთოდით სარგებლობს შპს “ნორმას” საგამოცდო ლაბორატორია.

### ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები სხვადასხვა პარამეტრების მუხის საექსტრაქციო ნიმუშებისათვის წარმოდგენილია ცხრილში 2. ზემოთ ნაჩვენები იყო, რომ მუხის მერქნიდან მთრიმლავი ნივთიერებების ექსტრაქციის პროცესს აქვს ექსპონენციალური ხასიათი

და იგი ექვემდებარება შემდეგ განტოლებას

$$C_{\text{თ.ფ.}} = \frac{G_{\text{მ.ფ.}} \cdot c_{\text{მ.ფ.}}}{V_{\text{თ.ფ.}} + V_{\text{მ.ფ.}}} (1 - e^{-k\tau}), \quad (11)$$

სადაც  $C_{\text{თ.ფ.}}$  - თხევადი ფაზის მიმდინარე კონცენტრაციაა, გ/დმ<sup>3</sup>;  $G_{\text{მ.ფ.}}$  - მყარი ფაზის (ნიმუშის) მასაა, გ;  $c_{\text{მ.ფ.}}$  - მყარ ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერების შემცველობაა, % ნიმუშის მასის მიმართ;  $V_{\text{თ.ფ.}}$  - თხევადი ფაზის (სპირტის) მოცულობაა, დმ<sup>3</sup>;  $V_{\text{მ.ფ.}}$  - მყარი ფაზის (ნიმუშის) მოცულობაა, დმ<sup>3</sup>;  $k$  - ექსტრაქციის პროცესის კონსტანტაა, 1/კვირა;  $\tau$  - პროცესის ხანგრძლივობაა, კვირა.

ცხრილი 2

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

ნიმუშის №	მასა, გ	მოცულობა, დმ <sup>3</sup>	$F_{\text{ტორ.}} / G_{\text{ნიმ.}}$ , სმ <sup>2</sup> /გ	ჭრილის ზომა, მმ	კვირათა რაოდენობა			
					1	2	3	4
					მთრიმლავი ნივთიერებები, გ/დმ <sup>3</sup>			
1	65,1	0,080	0,22	0	0,200	0,396	0,560	0,740
2	62,4	0,077	2,50	1,0	1,130	1,900	2,420	2,760
3	51,7	0,064	10,4	0,6	1,800	2,490	2,756	2,850
4	50,3	0,062	3,10	3,2	1,360	2,070	2,430	2,630

ცხრილი 2-ის მონაცემების მიხედვით, ექსპონენციალური განტოლებიდან განისაზღვრა ნიმუშების კონსტანტების მნიშვნელობები (ცხრილი 3) ფორმულით

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \left( \frac{G_{\text{მ.ფ.}} \cdot c_{\text{მ.ფ.}}}{G_{\text{მ.ფ.}} - C_{\text{თ.ფ.}} (V_{\text{თ.ფ.}} + V_{\text{მ.ფ.}})} \right) \quad (12)$$

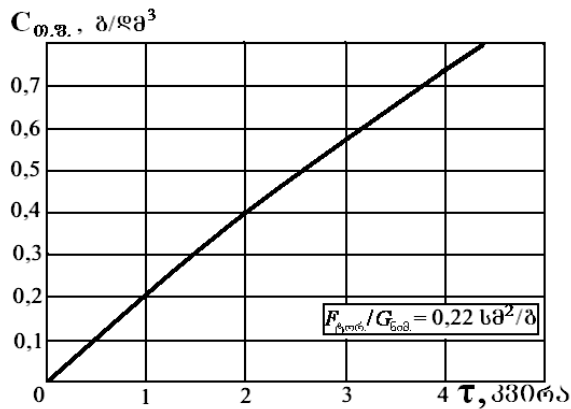
ცხრილი 3

ნიმუშების კონსტანტების მნიშვნელობები

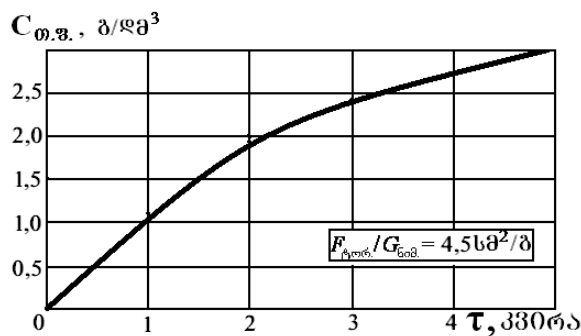
ნიმუშის №	1	2	3	4
კონსტანტა $k$	0,057	0,395	0,960	0,650

ცხრილის 2,3 მონაცემებით და (11) ფორმულით სხვადასხვა ნიმუშისათვის აიგო ექსპონენციალური გრაფიკები (ნახ.12...ნახ.15) შემდეგი მონაცემებისათვის:

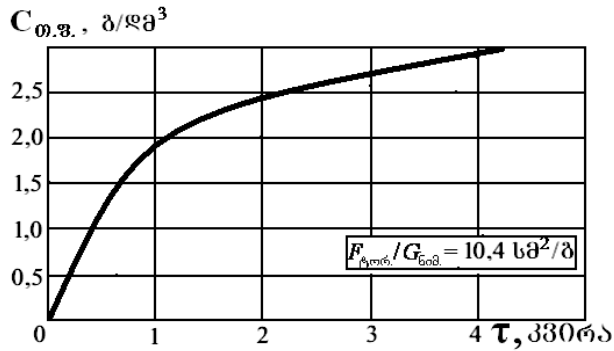
- მყარი ფაზების (ნიმუშების) მასები ( $G_{მ.ფ.}$ ): 65,1; 62,4; 51,7; 50,3 გ;
- მყარ ფაზაში მიზნობრივი ნივთიერების მასური წილი  $-c_{მ.ფ.} = 6,0\%$ ;
- თხევადი ფაზის მოცულობა  $V_{თ.ფ.} = 1,0$  დმ<sup>3</sup>;
- მყარი ფაზის (ნიმუშების) მოცულობები ჭრილებით დაკავებული მოცულობების გამოკლებით ( $V_{მ.ფ.}$ ): 0,08; 0,077; 0,064; 0,062 დმ<sup>3</sup>;
- ექსტრაქციის ხანგრძლივობა  $\tau = 1...4$  კვირა.



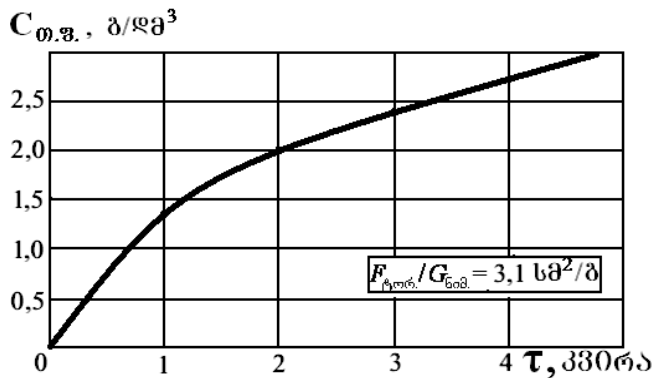
ნახ.12. მთლიანი ნიმუშის ექსტრაქციის ექსპონენციალური გრაფიკი



ნახ.13. 1.0 მმ ჭრილებიანი ნიმუშის ექსტრაქციის ექსპონენციალური გრაფიკი



ნახ.14. ლაზერით დამუშავებული 0,6 მმ ჭრილებიანი ნიმუშის ექსტრაქციის ექსპონენციალური გრაფიკი



ნახ.15. 3,2 მმ ჭრილებიანი ნიმუშის ექსტრაქციის ექსპონენციალური გრაფიკი

მთლიანი ნიმუშის შემთხვევაში (ნახ.12) მყარ და თხევად ფაზებს შორის წონასწორული კონცენტრაცია შეადგენს

$$C_{წინ.} = \frac{G_{აფ.} \cdot c_{აფ.}}{V_{თ.ფ.} + V_{აფ.}} = \frac{65,1 \cdot 0,06}{1 + 0,08} = 3,6 \text{ გ/დმ}^3$$

ცხრილის 2 მონაცემებით, მოცემული ნიმუშიდან ოთხი კვირის განმავლობაში გამოიყო მხოლოდ 0,74 გ მთრიმლავი ნივთიერება, მაშინ როდესაც საწყის ნიმუშში აღნიშნული ნივთიერება შეადგენს 3,9 გ. ეს კარგად ჩანს გრაფიკიდანაც, სადაც მრუდი მოცემული დროის განმავლობაში არ გადადის ასიმპტოტურ უბანზე. ეს აიხსნება იმით, რომ მთლიან ნიმუშში მცირეა სპირტის შეღწევადობა და შესაბამისად დაბალია ექსტრაქციის მაჩვენებელი. გარდა ამისა ამ ნიმუშისათვის ძალზე დაბალია ტორსული ზედაპირის ფართობის შეფარდება ნიმუშის მასასთან, რომელიც შეადგენს 0,22-ს.

1,0 მმ ჭრილებიანი ნიმუშის შემთხვევაში (ნახ.13) მყარ და თხევად ფაზებს შორის წონასწორული კონცენტრაცია შეადგენს

$$C_{\text{წინ.}} = \frac{G_{\text{აფ.}} \cdot c_{\text{აფ.}}}{V_{\text{თ.ფ.}} + V_{\text{აფ.}}} = \frac{62,4,0,06}{1+0,077} = 3,5 \text{ გ/დმ}^3$$

ცხრილის 2 მონაცემებით, მოცემული ნიმუშიდან ოთხი კვირის განმავლობაში გამოიყო მხოლოდ 2,76 გ მთრიმლავი ნივთიერება, მაშინ როდესაც საწყის ნიმუშში აღნიშნული ნივთიერება შეადგენს 3,74 გ. ე.ი. ნიმუშში დარჩა 0,98 გ. გრაფიკიდან (ნახ.13) ჩანს, რომ მრუდს პირველი ნიმუშისაგან განსხვავებით აქვს გამოსატული გადახრა ასიმპტოტური უბნისაკენ. მიუხედავად იმისა, რომ მოცემულ ნიმუშში საგრძნობლად არის გაზრდილი ტორსული ზედაპირის ფართობის შეფარდება ნიმუშის მასასთან (4,5), 4 კვირიანი ექსტრაქცია არ არის საკმარისი მთრიმლავი ნივთიერებების სრულად გამოსაყოფად.

დაახლოებით ანალოგიური სურათი იკვეთება მეოთხე ნიმუშის შემთხვევაში 3,2 მმ-იანი ჭრილებით (ნახ.15). ამ ნიმუშისათვის კონცენტრაციული წონასწორობა შეადგენს

$$C_{\text{წინ.}} = \frac{G_{\text{აფ.}} \cdot c_{\text{აფ.}}}{V_{\text{თ.ფ.}} + V_{\text{აფ.}}} = \frac{50,3,0,06}{1+0,062} = 2,85 \text{ გ/დმ}^3$$

ცხრილის 2 მონაცემებით, მოცემული ნიმუშიდან ოთხი კვირის განმავლობაში გამოიყო მხოლოდ 2,63 გ მთრიმლავი ნივთიერება, მაშინ როდესაც საწყის ნიმუშში აღნიშნული ნივთიერება შეადგენს 3,0 გ. ე.ი. ნიმუშში დარჩა 0,37 გ. გრაფიკიდან (ნახ.15) ჩანს, რომ მრუდს აქვს გამოსატული გადახრა ასიმპტოტური უბნისაკენ. მიუხედავად იმისა, რომ მოცემულ ნიმუშში პირველ ნიმუშთან შედარებით გაზრდილია ტორსული ზედაპირის ფართობის შეფარდება ნიმუშის მასასთან (3,1), 4 კვირიანი ექსტრაქცია არ არის საკმარისი მთრიმლავი ნივთიერებების სრულად გამოსაყოფად. ამ შემთხვევაში აღსანიშნავია ის, რომ ჭრილების სიგანის 1,0-დან 3,2 მმ-დე გაზრდით, ერთი და იგივე ზომების ნიმუშისათვის, მისი მასა დაახლოებით 23%-ით მცირდება, შესაბამისად მცირდება მიზნობრივი ნივთიერების რაოდენობაც, რაც მეორე ნიმუშთან შედარებით აისახება ექსტრაქციით გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობაზე.

ცხრილიდან 2 და ნახ.14-დან ჩანს, რომ ყველაზე კარგი შედეგი მივიღეთ მესამე ნიმუშის შემთხვევაში, რომელის ჭრილები

შესარულებულია ლაზერული ჭრით 0,6 მმ სიგანით. კონცენტრაციული წონასწორობა ამ შემთხვევაში შეადგენს

$$C_{\text{წონ.}} = \frac{G_{\text{მფ.}} \cdot c_{\text{მნ.}}}{V_{\text{თ.ფ.}} + V_{\text{მფ.}}} = \frac{51,70,06}{1+0,064} = 2,92 \text{ გ/დმ}^3$$

ცხრილის 2 მონაცემებით, მოცემული ნიმუშიდან ოთხი კვირის განმავლობაში გამოიყო ყველაზე მეტი 2,85 გ მთრიმლავე ნივთიერება, მაშინ როდესაც საწყის ნიმუშში აღნიშნული ნივთიერება შეადგენს 3,1 გ. ე.ი. ნიმუშში დარჩა ყველაზე მცირე 0,25 გ. გრაფიკიდან (ნახ.14) ჩანს, რომ მრუდს აქვს მკვეთრად გამოხატული გადახრა ასიმპტოტური უბნისაკენ. მცირე ზომის ჭრილების გამო მოცემულ ნიმუშში (0,6 მმ) სხვა ნიმუშებთან შედარებით მკვეთრად არის გაზრდილი ტორსული ზედაპირის ფართობის შეფარდება ნიმუშის მასასთან (10,4), მაგრამ თანაბარი სიგრძის ნიმუშების შემთხვევაში ჭრილების ზომის შემცირება 0,6 მმ-მდე თანაბარი ბიჯის დროს იწვევს მათი რაოდენობის საგრძნობლად გაზრდას და ნიმუშის მასის შემცირებას დაახლოებით 20%-ით. მიუხედავად ამისა, მოცემული ნიმუშის 4 კვირიანი ექსტრაქცია იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგს, თუმცა როგორც გრაფიკიდან ჩანს 1-2 კვირით პროცესის გახანგრძლივებით შედეგი უმნიშვნელოდ კიდევ გაუმჯობესდება. მთრიმლავე ნივთიერებების სრული ექსტრაქცია ბუნებრივია ვერ მოხდება, რადგან მყარ და თხევად ფაზებს შორის დამყარდება კონცენტრაციული წონასწორობა და პროცესი შეწყდება.

მერქნის ფიზიკიდან ცნობილია, რომ სითხის მოძრაობის სიჩქარე ბოჭკოების გასწვრივ 50-150-ჯერ უფრო დიდია, ვიდრე განივი მიმართულებით. აქედან გამომდინარე ექსტრაქციული ნივთიერებების გამოყოფა გაცილებით ინტენსიურია ტორსული ზედაპირებიდან. აღსანიშნავია, რომ მუხის კასრების ტკეხებს არ გააჩნიათ სითხესთან საკონტაქტო ტორსული ზედაპირები, აქ ექსტრაქცია ხდება მხოლოდ გვერდითი ზედაპირებიდან. ეს გარემოებაც ადასტურებს კასრებში მუხის ნამზადების შეტანის ეფექტურობას.

მუხის ნამზადებში ტორსული ზედაპირების გაზრდა შესაძლებელია მხოლოდ განივი ჭრილების შესრულებით. მაგრამ განივი ჭრილების გაზრდა ერთდროულად იწვევს ნამზადის მასის და



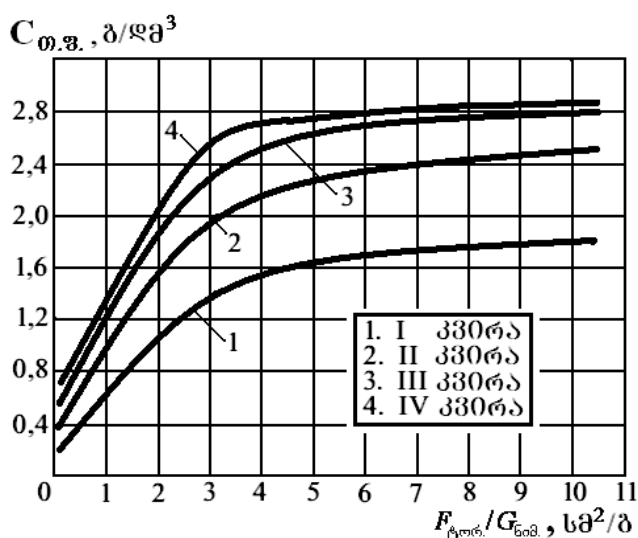
მასში არსებული სასარგებლო ნივთიერებების დანაკარგს, ამიტომ ძალზე მნიშვნელოვანია ამ ორი ფაქტორის ოპტიმიზაცია.

ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ  $F_{ტორ.}/G_{ნომ.}$  სიდიდე  $4 \text{ სმ}^2/\text{გ}$  დონეზე პრაქტიკულად აღწევს მაქსიმუმს (ნახ.16, მრუდი 4).

ცხრილი 4

საერთო ექსტრაქტის გამოსავალი ნიმუშების მიხედვით

$F_{ტორ.}/G_{ნომ.}, \text{ სმ}^2/\text{გ}$	0,22	3,10	4,50	10,4
საერთო ექსტრაქტი $C_{ექტ.}, \text{ გ/დმ}^3$	0,80	2,30	3,20	3,96

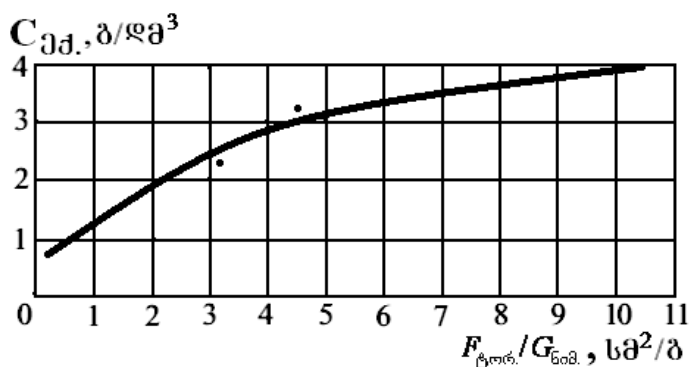


ნახ.16.  $F_{ტორ.}/G_{ნომ.}$   $\text{სმ}^2/\text{გ}$  სიდიდის გავლენა ექსტრაქციული პროცესის ინტენსივობაზე

ნიმუშების ოთხკვირიანი ექსტრაქციის ბოლოს, მთრიმლავ ნაერთებთან ერთად განისაზღვრა სპირტში საერთო ექსტრაქტის დონე. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 4.

ნახ. 17-ზე წარმოდგენილია ცხრილი 4-ის გრაფიკული გამოსახულება.

მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ საერთო ჯამური ექსტრაქტის გამოსავალი უმნიშვნელოდ აღემატება მთრიმლავი ნივთიერებების გამოსავალს. ეს აიხსნება იმით, რომ მუხის შემცველი სხვა ნივთიერებების გამოყოფისათვის ოთხკვირიანი ექსტრაქცია მცირე დროა, თუმცა დინამიკა მთრიმლავი ნივთიერებების ანალოგიურია.



ნახ.17. საერთო ექსტრაქტის გამოსავლის დამოკიდებულება ნიმუშების  $F_{\text{ტორ.}}/G_{\text{ნიმ.}}$  მაჩვენებელზე ოთხკვირიანი ექსტრაქციის დროს

ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა მუხის კასრებში საკონიაკე სპირტის დაძველების დროს მიმდინარე ექსტრაქციულ პროცესში მერქანში სპირტის შეღწევადობის სიდიდე, რაც მნიშვნელოვან როლს თამაშობს როგორც კასრების, ასევე მუხის ნამზადების ტექნოლოგიური რესურსის მაქსიმალურ გამოყენებაში.

ექსპერიმენტების დაწყებამდე და დამთავრების შემდეგ (4 კვირა) ხდებოდა ნიმუშების აწონვა. წონათა სხვაობა გვაძლევს ნიმუშების მიერ შთანთქმული თხევადი ფაზის მასას, რომელიც სითხის სიმკვრივის გათვალისწინებით გადაგვყავს მოცულობაში  $W_{\text{თ.ფ.}}$ . შემდეგები მოყვანილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5

ნიმუშების მასები ექსპერიმენტის დაწყებამდე და შემდეგ

საცდელი ნიმუშები	ნიმუშების მასა ექსპერიმენტის დაწყებამდე $G_0$ , გ	ნიმუშების მასა ექსპერიმენტის დამთავრების შემდეგ $G_1$ , გ	თხევადი ფაზის მასა $\Delta G = G_0 - G_1$ , გ
მუხის საცდელი ნიმუში № 1	65,155	69,166	4,00
მუხის საცდელი ნიმუში № 2	62,402	92,965	30,57
მუხის საცდელი ნიმუში № 3	51,692	98,846	47,15
მუხის საცდელი ნიმუში № 4	50,333	84,824	34,50

მერქნის სიღრმეში სპირტის შეღწევის სიღრმეს ( $x$ ) ვსაზღვრავთ ფორმულით

$$[a^2 - (a - 2x)^2]h = W_{\text{თ.ფ.}},$$

სადაც  $a$  - ნიმუშის კვადრატული კვეთის გვერდის სიგრძეა;

$h$  - ნიმუშის სიმაღლე.

მიღებული შედეგები (ცხრილი 6) შეიძლება მივიღოთ საშუალო მიშენელობებად, რამდენადაც სითხის შეწოვა ნიმუშებში ხდება როგორც ტორსული, ასევე გვერდითი ზედაპირებიდან.

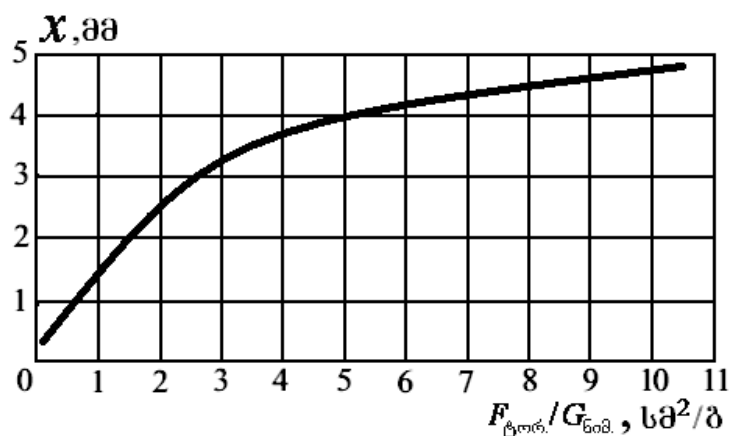
აღსანიშნავია პირველ ნიმუშში სპირტის შეღწევის დაბალი დონე, რაც განპირობებულია იმით, რომ ამ ნიმუშში გვერდითი ზედაპირის ფართობი გაცილებით დიდია ტორსული ზედაპირების ფართობზე, მაშინ როდესაც სხვა ნიმუშებში გვაქვს საწინააღმდეგო სურათი.

ცხრილი 6

მუხის ნიმუშებში სპირტის შეღწევის სიღრმე

ნიმუშის №	1	2	3	4
სპირტის შეღწევის სიღრმე $x$ , მმ	0,34	2,9	4,8	3,3

ნახ. 18-ზე წარმოდგენილია  $F_{\text{ტორ.}}/G_{\text{ნიმ.}}$  სმ<sup>2</sup>/გ სიღრმის გავლენის გრაფიკი მუხის ნიმუშებში სპირტის შეღწევის სიღრმეზე ოთხკვირიანი დაყოვნების შემდეგ



ნახ.18.  $F_{\text{ტორ.}}/G_{\text{ნიმ.}}$  სმ<sup>2</sup>/გ სიღრმის გავლენა მუხის ნიმუშებში სპირტის შეღწევის სიღრმეზე ოთხკვირიანი დაყოვნების შემდეგ

როგორც გრაფიკიდან ჩანს სპირტის შეღწევა მუხის მერქნის ნიმუშებში ინტენსიურია  $F_{\text{გორ.}}/G_{\text{ნიმ.}} = 5 \text{ სმ}^2/\text{გ}$  სიდიდემდე. ამ სიდიდის შემდგომი ზრდა არსებითად არ ცვლის სპირტის შეღწევადობის სიდიდეს.

სამუშაოს დასასრულს, კვლევის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაციისათვის, გაკეთდა მუხის მერქნის საექსტრაქციო ნამზადების სანედლეულო ბაზის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება. გაანგარიშებულია ხვედრითი დანახარჯები, რომლებმაც 1 ლ საკონიაკე სპირტის დასაძველებლად შეადგინა 0,03 აშშ დოლარი.

### 3. დასკვნები

1. ლიტერატურული წყაროებიდან გამოიკვეთა მსოფლიოში მუხის ხის კასრების მაღალი ღირებულება და მერქნული რესურსების დეფიციტი, რაც გვკარნახობს კასრების ტექნოლოგიური რესურსის ამაღლების ახალი ეფექტური მეთოდების ძიებას.
2. სხვადასხვა ეფექტური გეომეტრიული ფორმის მქონე მუხის ხის ახალი “ულუფის” შეტანით შესაძლებელია დამატებითი საექსტრაქციო ზედაპირების გაჩენა მუხის კასრების შიგა სივრცეში. თეორიული გათვლებით შესაძლებელია მუხის ხის კასრების “სიცოცხლის” მნიშვნელოვანი გახანგრძლივება, რაც უზრუნველყოფს მაღალ ეკონომიურ ეფექტს.
3. გამოფიტული მუხის ხის კასრების ცნობილი ალტერნატიული საშუალებების კვლევამ გამოავლინა მათი უარყოფითი თვისებები, რაც აისახება მზა პროდუქტის ორგანოლეპტიკურ თვისებებსა და ხარისხზე.
4. გამოფიტული მუხის ხის კასრების ცნობილი ალტერნატიული მეთოდები გამოირჩევა როგორც დამზადების, ასევე საექსპლუატაციო სირთულეებით, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას.
5. შესწავლილი იქნა მუხის ხის კასრში მიმდინარე ექსტრაქციული პროცესის კინეტიკა და მიღებულია ექსპონენციალური განტოლება. თეორიული კვლევებით მიღებული მიზნობრივი ნივთიერების (მთრიმლავი ნივთიერებები) კონცენტრაციული წონასწორობა მყარ და

თხევად ფაზებს შორის მყარდება დაახლოებით 80 დეკადის შემდეგ. სპირტის დაძველების ხანგრძლივობის შემდგომი გაზრდით მთრიმლავი ნივთიერებების ექსტრაქცია გრძელდება, მაგრამ გაცილებით ნაკლები ინტენსივობით.

6. საკონიაკე სპირტის დასაძველებელი მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდის მიზნით შემუშავებულია მუხის ხის ნამზადების გეომეტრიული კონფიგურაციის ვარიანტები და მათი კასრში განთავსების ოპტიმალური სქემები.

7. დადგენილია საექსტრაქციო მუხის ხის დეტალების გეომეტრიული პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობები, რაც გულისხმობს დეტალების მასისა და საკონტაქტო ზედაპირების ფართობების მაქსიმალური მნიშვნელობების მიღებას.

8. ჩატარებულია საექსტრაქციო სპირალური ზედაპირების ოპტიმიზაცია გეომეტრიული მოდელირების საფუძველზე. კომპიუტერული პროგრამა AutoCAD-ის გამოყენებით აგებული, გაანალიზებული და ოპტიმიზებულია სპირალური ბრუნვის ზედაპირი-ტურბოსომა, რომლის ნამზადს ფიქსირებული პარამეტრები გააჩნია და მიღებულია სითხეებთან საკონტაქტო ეფექტური ზედაპირი, ტექნოლოგიური შეზღუდვების გათვალისწინებით.

9. დამუშავებული და განალიზებულია მუხის მერქანში კაპილარული ძალებით სითხის მოძრაობის ფიზიკური მოდელი, რითაც თეორიულად განისაზღვრა კასრში ვერტიკალურად განთავსებულ მუხის ხის ნამზადებში სითხის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე და დადგინდა ნამზადების საფეხურების ოპტიმალური ზომები.

10. ექსპერიმენტული კვლევებით განისაზღვრა ნამზადებში სპირტის შეღწევის დამოკიდებულება ნიმუშების პარამეტრებზე. კერძოდ ოთხკვირიანი დაყოვნების შემდეგ მაქსიმალური ეფექტი აღინიშნა 0,6 მმ-იანი ჭრილების სიგანის ლაზერული ტექნოლოგიით დამუშავებული ნიმუშისთვის, რომლისთვისაც ტორსული ზედაპირის ფარდობა მასასთან შეადგენს  $10,4 \text{ სმ}^2/\text{გ}$ .

11. ექსპერიმენტული კვლევებისათვის დამზადდა და ლაბორატორიულ პირობებში გამოიცადა ნამზადების რამოდენიმე ვარიანტი, რომელთაგან

საუკეთესო შედეგი იქნა მიღებული ლაზერული ტექნოლოგიით დამუშავებული 0,6 მმ-იანი ჭრილების ნიმუშით.

12. ექსპერიმენტული კვლევებით განისაზღვრა ნამზადების სპირტით ექსტრაქციის პროცესის ექსპონენციალური კონსტანტები, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს თეორიული კვლევებისათვის.

13. მაქსიმალური ეფექტი მიღებული იქნა 0,6 მმ-იანი ჭრილების სიგანის ლაზერული ტექნოლოგიით დამუშავებული ნიმუშით, რომლითაც მიზნობრივი ნივთიერების გამოსავალმა ოთხკვირიან პერიოდში შეადგინა 92%.

14. ექსპერიმენტული კვლევებით განისაზღვრა მუხის ნიმუშების ტორსული ზედაპირების და მასის ფარდობის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომელმაც შეადგინა 5 სმ<sup>2</sup>/გ. ამ სიდიდეს შეესაბამება სპირტის მერქანში შეღწევის მაქსიმალური სიღრმე.

15. დადგინდა მუხის საექსტრაქციო ნიმუშების პრაქტიკული გამოყენებისათვის საჭირო ხვედრითი დანახარჯები, რომლებმაც 1 ლ საკონიაკე სპირტის დასაძველებლად შეადგინა 0,03 აშშ დოლარი.

### ***დისერტაციის ძირითადი დებულებები ასახულია შემდეგ***

#### ***სამეცნიერო შრომებში:***

1. ზ.ჯაფარიძე, მ.ხოშტარია. მუხის კასრში სპირტის დაძველების ექსტრაქციული პროცესის კინეტიკა. სტუ-ს შრომები 2014 №2(492), გვ.48-50.

2. ზ.ჯაფარიძე, მ.ხოშტარია. საკონიაკე სპირტის დასაძველებელი გამოფიტული მუხის კასრების ტექნოლოგიური რესურსის გაზრდა. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის – “კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობების პრობლემები” შრომათა კრებული. თბილისი, 2015. - გვ.138-143.

3. მ.ხოშტარია, ზ.კიკნაძე. ექსტრაქციული სპირალური ზედაპირების ოპტიმიზაცია გეომეტრიული მოდელირების გამოყენებით. სტუ, საქართველოს საინჟინრო აკადემია. უფრნალი “ბიზნესს-ინჟინერინგი”, № 1,2015. თბილისი, 157-161 გვ.

4. მხოშტარია. ალკოჰოლური სასმელების ტექნოლოგიის ოპტიმიზაცია მუხის კასრების ეფექტური ალტერნატივების გამოყენებით. საერთაშორისო კონფერენცია „ხის რესურსების და ენერჯების ეფექტური გამოყენება“ (RERAM), სტირიის სოფლის მეურნეობის პალატა (Landwirtschaftskammer Steiermark), ქალაქ გრაცი, ავსტრია. 2015 წლის 12 თებერვალი.

[https://www.dropbox.com/home/RERAM\\_all\\_exchange/Meetings](https://www.dropbox.com/home/RERAM_all_exchange/Meetings)

### Abstract

Optimization of the technology of alcoholic beverages using an effective alternative of oak barrel. Mamuka Khoshtaria. 135 P, illustration 35, Table 10, Annex 17.

Production of cognac in oak casks are irreplaceable vessel, which produce alcohol cognac aging. After a few cycles (15-20 years) is made of a barrel depletion of the extractive substances, which are attached to the alcohol product traits. Despite weathering barrel keeps one very important feature - the aging process of the oxidative processes required for the adoption of natural oxygen. Thus, if any of the empty barrel method entered extractive substances, the aging process will be conducted in the usual mode and extended its technological service life. This is very important for the production of economic efficiency, given the deficiency of oak barrels and their high cost.

The scientific literature does not contain accurate information about what is the optimal use of oak barrels for wine and cognac and the number of cycles (brand) production. However, studies are still being carried out and the results obtained, as well as vintage wines and cognac manufacturer of various countries based on practical experience determined barrels beverage pouring relative amounts of the barrel using the term: Wine delayed oak barrels maximum term (timber exhaustion point) is 6-12 in Cognac alcohols response time of 16-18 years.

Thus, oak barrel after pouring cognac alcohol for the third time, it goes into the barrel of an old barrel in the sixth and seventh cycles barrel staves inner surfaces depleted up to 90%.

Brandy and other alcoholic beverages can not be without aging in oak barrels. Because the oak tree, without losing its special charm cognac, complex bouquet of aromas and potential.

The crisis dramatically over the past decade has revealed a new barrel of acute shortage. Enterprises have to make the old barrels, aged 20-25 years, or more. That is why, throughout the world, in order to maintain the production of high-quality spirits began to oak barrel alternatives in the use of oak wood expense.

Oak barrel technological resources to increase the necessity of the need for alternatives. The alternatives are: 1. oak wood flour; 2. various sizes shavings and sawdust; (The so-called "chips") 3. staves of various sizes; 4. The small wooden cubes; 5. oak wooden bars; 6. oak wood spirals; 7. Specially profiled wooden bars; 8. The timber extracts and other.

Despite the many scientific research, alternatives to optimize the components of oak wood barrels weathered technological resources in order to increase has not yet been fully explored and studies continue in the direction of the relevant matter.

**The work aims** weathered oak barrel increase technological resources in search of effective methods and research.

**Scientific novelty** of the geometric configuration of the original details of the oak wood processing, and methods for their deployment in the barrel with the optimum parameters of the experimental and theoretical justification.

**The practical** value of this is that our recommendations will allow the wine-making enterprises weathered oak barrels in a high economic effect.

Dissertation work studied and analyzed barrel oak wood components using methods as empty barrels, and enamel tanks. Computer technology has developed the original geometric configuration spudzvel extraction blanks. Effective contact surface defined maximum billet fixed geometric borders, processing and use of existing constraints. The samples were prepared using laser technology.

The theoretical part of the work of the oak barrel aging alcohol extractive process kinetics, accepted process for determining a constant and exponential equation, which is established by the time of the target substance extraction pattern.

Timber structure and physico-mechanical properties of the determined spirit of effective contact surfaces. Model based on the physical movement of the fluid timber processing identified oak capillaries flow pattern and the influence of the capillary forces established vertically disposed in the blanks, in a relatively short period of time, alcohol ascents maximum height.

Experimental part of the work was made of oak wood samples from the four options, the main features of the indicator, which represents the ratio of the butt end surface of the sample mass. The samples were placed in a 1 liter capacity jars, which was filled with 65% of young cognac spirit.

The aim of the experiment alcohol tannic substances extraction dynamics of the different parameters of the samples. Extraction length was determined 4 weeks. Every weekend made analysis and determined by tannic substances mass share extract  $\text{g/dm}^3$ . Each sample was determined using the exponential constants, built in the appropriate equations to determine their optimal parameters, in particular, the best results were obtained from samples of the cross-section width of 0.6 mm and a butt end surface of the sample mass ratio of  $10.4 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Such samples from four weeks allocated  $2.85 \text{ g/dm}^3$  tannic substance, from the content of 73%, in addition to the extract was  $3.96 \text{ g/dm}^3$ . In experimental studies have allowed us to compare the various options with the dynamics of the samples and choose the best among them.