

ზაზა შუბლაძე

ვიბროაეროფსევდოგათხევადებულ შრეში ჩაის ღნობის
პროცესის და საღნობი მანქანების ოპტიმალური
პარამეტრების დასაბუთება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
„ “ 2008 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით შუბლაძე ზაზას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ვიბროაეროფსევდოგათხევადებულ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანების ოპტიმალური პარამეტრების დასაბუთება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

21.03.08 წ.

ხელმძღვანელი: თამაზ მეგრელიძე

ტ.მ.დ. სრ. პროფ.

თანახელმძღვანელი: ბახვა დოლიძე

ტ.მ.კ. წამყვ. მეცნ.
თანამშრომელი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008 წ.

ავტორი: შუბლაძე ზაზა

დასახელება: ვიბროაეროფსევდოგათხევადებულ შრეში ჩაის
ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანების
ოპტიმალური პარამეტრების დასაბუთება

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: „ „ 08 წ.

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

დოქტორანტი

ზ. შუბლაძე

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 გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე
მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა,
რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის
ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომებისას) და
ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

შავი ბაიხის ჩაის წარმოების პროცესში ღნობა ერთ-ერთი ძირითადი ოპერაციაა. მიუხედავად ამისა ღნობის მეთოდი და საღნობი მანქანები მნიშვნელოვნად ჩამორჩება თანამედროვე მოთხოვნებს. დღესდღეობით ჩაის საწარმოებში ღნობის პროცესი მიმდინარეობს ფარდობით უძრავ შრეში, რის გამოც მასაში ტენი ნაწილდება არათანაბრად, ხოლო ჩაის საღნობ მანქანებს კი აქვთ დიდი გაბარიტული ზომები; არის ენერგო და ლითონტევადობა; აქვს დაბალი მქკ და სხვა.

ღნობის რაციონალური მეთოდის და საღნობი მანქანების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევა არის მეტად აქტუალური პრობლემა, რომელსაც აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად ჩავატარეთ ლიტერატურული მიმოხილვა კერძოდ, განვიხილეთ: ჩაის მნიშვნელობა ადამიანისათვის; ჩაის კლასიფიკაცია ტექნოლოგიის თვალსაზრისით; შავი ბაიხის ჩაის (მათ შორის წვრილი ჩაის) ტექნოლოგია და ტექნოლოგიური სქემები.

ჩაის ღნობის პროცესის და ტექნიკის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე ჩამოვაყალიბეთ ძირითადი დასკვნები და კვლევების ამოცანები.

დავამუშავეთ ჩაის მასის ღნობის პროცესის (ღნობის კინეტიკა, მუდმივი და კლებადი სიჩქარეების პერიოდები, ტენიან ჩაის მასაში სითბოს და ტენის გადატანა, ღნობის რეჟიმის შერჩევა, ღნობა მდულარე შრეში, აერშადრევნული საღნობები) თეორია.

ჩაის მასაზე ვიბრაციის და თბილი ჰაერის ნაკადის ერთდროული ზემოქმედებით მივიღე ღნობის რაციონალური ვიბროაეროფსედოლოგათხევადებული (ვაფგ) მეთოდი და ახალი ორიგინალური კონსტრუქციის აეროვიბრაციული საღნობი მანქანის მუშაობის პრინციპი. აღნიშნული მეთოდის და მანქანის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევისათვის შევისწავლე ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკური და თბოფიზიკური თვისებები და აეროდინამიკური მახასიათებლები. კერძოდ მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის დუყების ზომების, მიწებების კოეფიციენტის, ძვრის საწყისი წინაღობის და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები. განვსაზღვრე არსებული ხელსაწყოების და კვლევების მეთოდიკების მიხედვით. აეროდინამიკური მახასიათებლების შესწავლისათვის ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა სპეციალური ლაბორატორიული დანადგარი და კვლევის მეთოდიკა ვაფგ შრეში მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით. თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის დამოკიდებულება ჩაის მასის ტენიანობის და ტემპერატურის ცვლილებაზე გამოვსახე ემპირიული ფორმულით.

ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის და ვიბრაციული გადაადგილების კანონზომიერების ექსპერიმენტული კვლევები ჩავატარე სპეციალურ ლაბორატორიულ სტენდზე.

ცდის შედეგების მიხედვით საღნობი მანქანის მუშა ორგანოს რხევის პარამეტრების (ამპლიტუდა, რხების სიხშირე), ჩაის მასის ტემპერატურის და ტენიანობის ცვლილების დამოკიდებულება ღნობის პროცესის ხანგრძლივობაზე გამოვსახეთ გრაფიკების სახით.

ვაფგ შრეში ღნობისას უძრავ შრესთან შედარებით ჰაერის ტექნოლოგიურად დასაშვები მაქსიმალური ტემპერატურა გაიზარდა 318-

დან 330K-მდე. ვაფგ მდგომარეობაში ჩაის მასის ტემპერატურის სხვაობა შრის სიმაღლის მიხედვით შემცირდა 5-დან 2K-მდე. მუშა ზედაპირის კუთრი დაძაბულობა აორთქლებული ტენის მიხედვით 18-ჯერ გაიზარდა. ცდის შედეგების მიხედვით გამოვიყვანეთ ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის სიჩქარის განმსაზღვრელი ემპირიული ფორმულა. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება საღნობი საკანის გაბარიტულ ზომებზე და ჰაერის მოძრაობის სიჩქარეზე გამოვსახეთ გრაფიკების სახით. გამოვიყვანეთ ჩაის ღუყების და ჩაის მასის ფარდობითი უძრაობის, სრიალის თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური და კრიტიკული სიჩქარეების (სრიალის ქვედა და ზედა ზღვრები) განტოლებები. აღნიშნული განტოლებების ეგმ-ზე ამოხსნისათვის დავამუშავე ბლოკ-სქემა.

ჩაის მასის ღნობის ხანგრძლივობის განსაზღვრისათვის დავადგინეთ პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების დონეები, ცვლილების არეები და ვარირების ინტერვალები. ცდების მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდის გამოყენებით და ექსპერიმენტის რეალიზაციის შედეგად მივიღეთ რეგრესიის განტოლებები. ფიშერის კრიტერიუმის გამოყენებით დავადგინეთ გამოსაკვლევე პროცესისათვის მიღებული რეგრესიის განტოლებების ადეკვატურობა და მისი გამოყენება ჩაის ღნობის პროცესის ოპტიმიზაციისათვის.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით დავადგინე, რომ მაღალი სიხშირის დენის ელექტრული ველის ენერჯიის გამოყენებით შესაძლებელია ჩაის მასის მთელ მოცულობაში ღნობის პროცესის თანაბრობა.

ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობისას შრეებს შორის მიმდინარე პროცესების მოვებორე ზედაპირებთან ურთიერთქმედების კანონზომიერების დასადგენად დავამუშავე დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მოდელი. მიღებული დიფერენციალური განტოლებათა ამოხსნის შედეგების საფუძველზე ავაგე შესაბამის მრუდეები და დავასკენი, რომ ვაფგ შრეში ჩაის მასის გადაადგილებას აქვს ექსტრემალური ხასიათი და ინტენსიური გადაადგილება შეინიშნება თავისუფალი მოძრაობის ეტაპზე. ექსტრემალური გადაადგილების მნიშვნელობები იხრება ვიბრაციის პარამეტრების გადიდების მიმართულებით.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების რეალიზაციისათვის დავამუშავეთ ჩაის ვიბრაციული საღნობი მანქანის საცდელი ნიმუში, რომელიც გამოვცადეთ საწარმოო პირობებში და შევადარეთ წარმოებაში გამოყენებულ საღნობი მანქანის გამოცდის შედეგებს.

ჩაის მზა პროდუქციის საცდელი და საკონტროლო ნიმუშების მახასიათებლების (ფარდობითი ტენიანობა, ტანინის რაოდენობა, ღნობის ხარისხი, ჩაის მასის ტემპერატურა ღნობის ხანგრძლივობა, ტიტვისტერული ბალური შეფასება), ექსპერიმენტული მნიშვნელობები წარმოვადგინე ცხრილების სახით. ცდის შედეგებიდან ნათლად ჩანს, რომ ვაფგ შრეში მომდინარე ჩაის ღნობის ხარისხი 2,5-3,0%-ით აღემატებოდა უძრავ შრეში მომდინარე ჩაის ღნობის ხარისხს. ვაფგ შრეში ღნობის არათანაბრობა 4,8-6,5%-დან 1,0-1,1%-მდე შემცირდა უძრავ შრეში ღნობასთან შედარებით, ხოლო ღნობის ხანგრძლივობა კი შემცირდა 7200-დან 1440 წმ-მდე; საერთოდ საცდელი ნიმუშების ყველა

ხარისხობრივი მაჩვენებლები აღემატებოდა საკონტროლო ნიმუშის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს.

ღნობის ინტენსიფიკაციაზე ჰაერის ტენშემცველობის გავლენის დასადგენად გამოვიყენეთ OBB ტიპის ჰაერის მექანიკური შემშრობი.

გამომშრალი ჰაერით ღნობის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ჰაერის ტენშემცველობა საღნობში შესვლისას 14-დან 5,5 გ/კგ-მდე, ხოლო საღნობიდან გამოსვლისას კი 20-დან 11,5 გ/კგ-მდე შემცირდა. საშუალო მამოძრავებელი ძალა 7,8-დან 16,6 გ/კგ-მდე, ხოლო ღნობის პროცესის სიჩქარე 2,1-ჯერ გაიზარდა.

ღნობის პროცესის ენერგეტიკული ანალიზის მიხედვით გამოვიყვანე ძრავის მოთხოვნილი სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულები.

ღნობის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურის შედარებით დაბალი ($T=330K$) მნიშვნელობა და ჩაის გადამუშავების სეზონის მზის რადიაციის ინტენსიფიკაციის პერიოდთან დამთხვევა მიგვითითებს მზის სხივების და თერმიული წყლების გამოყენების მიზანშეწონილობაზე. რისთვისაც დავამუშავეთ ჰელიოსაღნობი და ბრომ-ლითიუმის აბსორბციული დანადგარების სტენდები. ცდის მონაცემებიდან ცხადად ჩანს, რომ დიდი რაოდენობით ძვირადღირებული სათბობის (მახუთი, დიზელი, აირი) მაგივრად მზის სხივების ან თერმიული წყლების გამოყენებით იზრდება ეკონომიკური ეფექტიანობა, უმჯობესდება მზა პროდუქციის ხარისხი, შრობის სანიტარულ-ჰიგიენური პირობები და მადლდება შრომის მწარმოებლობა. დავამუშავეთ ვაფგ შრეში ჩაის საღნობი მანქანის გაანგარიშებისა და კონსტრუქციის მეცნიერული საფუძვლები. ვაფგ მეთოდის და რაციონალური კონსტრუქციის ერთი ცალი ვიბრაციული საღნობი მანქანის (მწარმოებლობით 0,2 ტ. მზა პროდუქცია/სთ) დანერგვით მიღებული მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტიანობა წელიწადში შეადგენს 150 ათას ლარს.

Summary

In the process of the production of the black Baikhi tea melting is one of the main operations. In spite of this the method of melting and the melting machines considerably lag behind from the current demands. Nowadays in tea factories the melting process is carried out in relatively immovable layer and for this reason humidity is distributed unevenly, tea melting machines have large sizes, energy and metal capacity, low efficiency and etcetera.

Choosing the rational method of melting and optimal parameters of melting machines is very urgent problem which has a big practical significance.

To solve the indicated problem we carried out the survey of literature. For example, we considered the importance of tea for human being; tea classification in the view of technology; technology and technological schemes of black Baikhi tea (including small tea).

On the basis of the analysis of the current condition of tea melting process and technics we formed main conclusions and research goals.

We elaborated the theory of melting process of tea masses (melting kinetics, the periods of constant and decreasing velocities, transfer of warmth and humidity in humid tea masses, choosing the melting regime, melting in the boiling layer, air fountain foundries).

By the simultaneous influence of vibration and warm air stream on tea masses I got the rational vibroairpseudodiluted (VAPD) method of melting and working principle of new air vibratory foundry machine of original construction. To choose this method and optimal parameters of machine I studied the physical-mechanical and heat and physical qualities of tea masses and air dynamical characteristics. For example, I determined the sizes, adhesion coefficients, initial resistance of start and the meanings of interior friction coefficients of dried and non-dried tea buds with available instruments and research methods. To study air dynamical characteristics we elaborated special laboratory equipment and research method taking into consideration factors acting in VAPD layer. I expressed with empirical formula dependence of the meaning of the coefficient of the conductivity of warmth on the humidity of tea masses and temperature changes.

We carried out on the special experimental stand experimental research of the kinetics and the regularity of the vibratory transportation of the melting process of tea masses in the layer.

According to the results of the trial we expressed graphically the oscillation parameters of the working part of the foundry machine (amplitude, oscillation frequency), the dependence of changes in tea masses temperature and humidity on the duration of the melting process.

During the melting in the VAPD layer in comparison with the immovable layer the technologically permissible maximal temperature increased from 318 till 330K. In the VAPD condition the difference of temperature of tea masses in relations to the layer height decreased from 5 till 2K. The specific tension of the working surface in accordance with the evaporated humidity increased 18 times. We drew the empirical formula for determining the melting velocity of tea masses in the VAPD layer. We expressed graphically the dependence of the duration of the melting process on the overall dimensions of the foundry chamber and the velocity of air movement. We deduced the equations of the relative immobility of tea buds and tea masses, differential and critical velocities of slide, flight (lower and upper limits of slide). To solve these equations on the electrical computational machine I elaborated the block-scheme.

To determine the duration of melting of tea masses we established the levels of main factors affecting the process, areas of changes and intervals of variations. With the use of mathematical planning method of trials and the realization of experiments we got regression equations. With the use of Fisher's criterion we established the adequacy of the regression equations for the process under investigation and its use for the optimization of tea melting process.

According to the experimental data I established that with the use of the energy of electrical field of the high frequency current equality of the melting process is possible in all the masses of tea.

During the melting of the tea masses in VAPD layer to establish the regularity of interaction between processes among layers and vibratory surfaces I elaborated the elastic-sticky-plastic rheological model. On the basis of the results of the solution of the differential equations we constructed the relevant curves and concluded that tea masses movement in VAPD layer has the extreme character and intensive movements are noted at the stage of free movement. Meanings of extreme movements are bent in the direction of the increase of vibration parameters. For the realization of the results of theoretical and experimental researches we elaborated the trial sample of the vibratory foundry machine, which we tested in the enterprise condition and compared with the test results of the foundry machine used in the industry. The characteristics of the trial and control samples of the finished commodity of tea (relative humidity, the amount of tannin, the melting quality, the temperature of tea masses, relative humidity, the amount of tannin, the melting quality, the temperature of tea masses, the duration of melting, evaluation of tea taste in points) we expressed in tables.

From the results of the trials it is clearly evident that in the VAPD layer the melting quality of the dried tea by 2.5-3.0% is higher than the melting quality of the dried tea in the immovable layer. Unevenness of melting in the VAPD layer decreased from 4.8% -6.5% till 1.0-1.1% in comparison with the melting in the immovable layer, and the melting duration decreased from 7 200 till 1440 seconds. On the whole all the qualitative indicators of the trial samples were higher than qualitative indicators of the control samples.

To establish the influence of the air humidity on the melting intensification we used the mechanical drier of OBB type.

In the event of the use of the offered method of melting with the dried air, the air humidity on entering the foundry decreased from 14 till 5.5 g/kg and on exit it is decreased from 20 till 11.5g/kg. The mean motive power has increased from 7.8 till 16.6 g/kg . The velocity of the melting process increased 2.1 times.

According to the energy analysis I deduced computational formulas for the requested power of the motor.

The technologically admissible maximal values of temperature ($T=330\text{ K}$) and the coincidence of the tea processing season with the intensification of the Sun radiation indicates the advisability of the use of the sunrays and thermal waters. For this purpose we elaborated helio-foundry and the stands of the bromine - lithium absorption equipments. From the trial data it is clearly seen that instead of the expensive fuel of large quantities (black oil, diesel, gas) with the use of sunrays and thermal waters economical efficiency is increasing, the quality of the finished commodity, the sanitary – hygienic conditions of the labor are improving and labor efficiency is increasing. We elaborated the scientific basis of computation and the construction of the tea foundry machine in the VAPD layer. By the introduction of the VAPD method and one item of the vibratory foundry machine of rational construction (productivity 0.2 ton of the finished production hour) the anticipated economical efficiency amounts to 150 000 Lari in the year.

შინაარსი

შესავალი	14
თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა	16
1.1. ჩაის მნიშვნელობა ადამიანისათვის	16
1.2. ჩაის კლასიფიკაცია ტექნოლოგიის თვალსაზრისით ..	16
1.3. შავი ჩაის წარმოება	17
1.3.1. წვრილი ჩაის წარმოება	20
1.4. ჩაის ღნობის პროცესის და ტექნიკის თანამედროვე მდგომარეობა	20
პირველი თავის დასკვნა	40
თავი 2. შედეგები და მათი ბანსჯა	42
2.1. ჩაის მასის ღნობის პროცესის თეორიული კვლევა	42
2.1.1. ღნობის კინეტიკა	42
2.1.2. მუდმივი სიჩქარის პერიოდი	49
2.1.3. კლებადი სიჩქარის პერიოდი	51
2.1.4. ტენიან ჩაის მასაში სითბოს და ტენის გადატანის თეორია	52
2.1.5. ღნობის რეჟიმების შერჩევა	62
2.1.6. ღნობა მდულარე შრეში. აერშადრენული საღნობი	63
2.1.7. ვაფგ შრის არსებობის პირობები.....	67
მეორე თავის დასკვნა	69
2.2. ჩაის მასის ფიზიკურ-მექანიკური აეროდინამიკური და თბოფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა	70
2.2.1. ჩაის დუყების ზომების განსაზღვრა	70
2.2.1.1. ჩაის დუყების ზომების განსაზღვრის მეთოდოლოგია ...	70
2.2.1.2. ჩაის დუყების ზომების განსაზღვრის შედეგები	71
2.2.2. მომღნარი და მოუმღნარი ჩაის დუყების მიწებების კოეფიციენტის ექსპერიმენტული განსაზღვრა	74
2.2.2.1. მიწებების კოეფიციენტის განსაზღვრის ლაბორატორიული ხელსაწყო და კვლევის მეთოდოლოგია	74
2.2.2.2. მიწებების კოეფიციენტის კვლევის შედეგები	75
2.2.3. მომღნარი ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინააღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების განსაზღვრა	77
2.2.3.1. ძვრის საწყისი წინააღობის განსაზღვრის ლაბორატორიული ხელსაწყო და კვლევის მეთოდოლოგია	77
2.2.3.2. ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინააღობისა და ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები	78
2.2.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების შესწავლა	80
2.2.5. ვაფგ შრეში ჩაის მასაზე მოქმედი ფაქტორების ცვლილების გავლენა აფრიანობის სიჩქარეზე	88
2.2.6. ჩაის მასის ტენიანობის და ტემპერატურის ცვლილების გავლენა თბოგამტარობის კოეფიციენტზე	90

მესამე თავის დასკვნა	92
2.3. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის და ვიბრაციული გადაადგილების კანონზომიერების კვლევა	94
2.3.1. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის კვლევა	94
2.3.2. ღნობის პროცესში ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის დინამიკა	100
2.3.3. ვაფგ შრეში ჩაის მასის მოძრაობის პროცესის კვლევა	103
2.3.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების გავლენა პროცესის ხანგრძლივობაზე	107
2.3.5. ჩაის დუყების თანაბარი ღნობის დაჩქარებული მეთოდი	112
2.3.6. ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის ოპერაციის დრეკად- ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მოდელი	115
მეოთხე თავის დასკვნა	122
2.4. თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგების რეალიზაცია და ალტერნატიული თბური წყაროების ეფექტურობა	124
2.4.1. ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანის ზოგიერთი პარამეტრების დასაბუთება	124
2.4.2. ჩაის მასის ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაციაზე ჰაერის ტენშემცველობის მოქმედება	128
2.4.3. ჩაის საღნობი მანქანის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის გაანგარიშება ვაფგ მეთოდის პირობებში	131
2.4.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესისათვის მზის ენერჯის გამოყენება	134
2.4.5. თერმული წყლების გამოყენების ეფექტურობა ჩაის მასის საღნობი მანქანების თბომომარაგებისათვის	137
2.4.6. ვაფგ შრეში ჩაის საღნობი მანქანის გაანგარიშების და კონსტრუირების საფუძვლები	140
2.4.7. ჩაის ღნობის ვაფგ მეთოდის და ვიბრაციული საღნობი მანქანის გამოყენების მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტიანობის განსაზღვრა	144
დასკვნა	146
ბამოყენებული ლიტერატურა	149

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის გაგვლენა ჩაის მზა პროდუქციის ქიმიურ შედგენილობაზე	25
ცხრილი 2. მომდნარი ჩაის დუყების მიწებების კოეფიციენტების მნიშვნელობები სხვადასხვა მასალებთან	75
ცხრილი 3. ძერის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის სხვადასხვა ხარისხისათვის	78
ცხრილი 4. ჩაის მასის აფრიანობის სინქარის სიდიდის დამოკიდებულება ფარდობით ტენიანობაზე და შრის სიმაღლეზე	90
ცხრილი 5. ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, როდესაც მისი ფარდობითი ტენიანობა სიდიდე იცვლება 75-დან 60%-მდე, ხოლო ტემპერატურა 315-დან 325-მდე	91
ცხრილი 6. ჩაის მასის მოძრაობის ფაზური ზომები	106
ცხრილი 7. ჩაის მასის მოძრაობისას განვლილი მანძილი და საშუალო სინქარე ციკლის დროს	107
ცხრილი 8. ჩაის ღნობის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების დონეები ცვლილების არეები და ვარირების ინტერვალები	109
ცხრილი 9. საცდელი და საკონტროლო ნიმუშების ფარდობითი ტენი და ტანინის რაოდენობის, მექანიკური შემადგენლობის და ტიტეისტერული ბალური შეფასებების მნიშვნელობები	127
ცხრილი 10. საცდელი და საკონტროლო ნიმუშების ფარდობითი ტენის და ტემპერატურის, ღნობის ხანგრძლივობის და მზა პროდუქციის ტიტეისტერული ბალური შეფასებების მნიშვნელობები	127
ცხრილი 11. შედეგები ჩაის ღნობის თანაბრობის თვალსაზრისით	139

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. შავი ბაიხის ჩაი წარმოების ტექნოლოგიური სქემა	19
ნახ. 2. შავი წვრილი ჩაის ტექნოლოგიური სქემა	21
ნახ. 3. ი. ხოჭოლაგას და ი. აშიანის საღნობი დანადგარის სქემა	35
ნახ. 4. შ. მარდალეიშვილის სისტემის საღნობი დანადგარის ნაკვეთი მოწყობილობის პრინციპული სქემა	36
ნახ. 5. ჩაის ფოთლის ღნობის მრუდეები	38
ნახ. 6. ჰაერის და ჩაის მასის ტემპერატურული მრუდეები პარალელური დენის შემთხვევაში ღნობის პროცესის დროს	38
ნახ. 7. კონვექციური ღნობისათვის ტენის და ტემპერატურის განაწილების მრუდეები (τ დროისათვის)	44
ნახ. 8. კონტაქტური ღნობისათვის ტენის და ტემპერატურის განაწილების მრუდეები (τ დროისათვის)	45
ნახ. 9. რადიაციული ღნობისათვის (≤ 15 მმ) ტენის და ტემპერატურის მრუდეები (τ დროისათვის)	46
ნახ. 10. ლაბორატორიული საღნობის სქემა	47
ნახ. 11. ჩაის მასის ღნობის მრუდი	48
ნახ. 12. ღნობის სიჩქარის მრუდი	49
ნახ. 13. მოსაღნობი ჩაის მასის ტემპერატურული მრუდი	
ნახ. 14. დამოკიდებულება პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტსა (a') და ჩაის მასის ტენიანობას (U) შორის	59
ნახ. 15. დამოკიდებულება თერმოდინამიკულ კოეფიციენტსა (δ) და ჩაის მასის ტენიანობას (U) შორის	60
ნახ. 16. უწყვეტი ქმედების საღნობი მანქანის სქემა მდულარე შრით	64
ნახ. 17. ორმაგი პერიოდული ქმედების საშრობი მანქანის სქემა ჩაის მასის მდულარე შრით	65
ნახ. 18. ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის არის ზონებად დაყოფის სქემა	68
ნახ. 19. პირველი ხარისხის მოუმღნარი (1) და მომღნარი (2) ჩაის ღუეების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდეები	71
ნახ. 20. მეორე ხარისხის მოუმღნარი (1) და მომღნარი (2) ჩაის ღუეების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდეები	72
ნახ. 21. მესამე ხარისხის მოუმღნარი (1) და მომღნარი (2) ჩაის ღუეების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდეები .	73
ნახ. 22. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება ჩაის შრეში გამავალი ჰაერის სიჩქარეზე, შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს	81
ნახ. 23. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების და ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების დამოკიდებულება ჩაის მასის სიმკვრივეზე შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს	83
ნახ. 24. ჩაის მასის ღნობის ხარისხის დამოკიდებულება მოწოდებული ჰაერის რაოდენობაზე	84

ნახ. 25. ჩაის მასის ღნობისას ტენის ცვლილების დამოკიდებულება ღნობის ხანგრძლივობაზე	85
ნახ. 26. ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის განმსაზღვრელი ლაბორატორიული ხელსაწყო სქემა	89
ნახ. 27. ჩაის დუყების წატაცების პროცენტული რაოდენობის, ჰაერის ნაკადის სიჩქარეზე დამოკიდებულების მრუდი ...	90
ნახ. 28. ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება: ა) ტენიანობაზე; ბ) ტემპერატურაზე: 1 – მოსაღნობი ჩაის მასა; 2 – მომღნარი ჩაის მასა	92
ნახ. 29. ექსპერიმენტული სტენდის მუშაობის პრინციპული სქემა	95
ნახ. 30. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჩაის მასის ფარდობით ტენიანობაზე მუშა ორგანოს რხევის სხვადასხვა ამპლიტუდის (ა) და ჰაერის ტემპერატურისას (ბ)	97
ნახ. 31. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჰაერის მოძრაობის სიჩქარეზე	102
ნახ. 32. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება საღნობი საკნის გაბარიტულ ზომებზე	
ნახ. 33. ჩაის დუყის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ეგმ-ზე გაანგარიშების ბლოკ-სქემა	108
ნახ. 34. ჩაის დუყის ელემენტების ფარდობითი ტენიანობის ცვლილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე	112
ნახ. 35. ვაფგ შრის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელი	116
ნახ. 36. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და რხევის ამპლიტუდზე (1 – A = 1 მმ; 2 – A = 3 მმ; 3 – A = 5 მმ; 4 – A = 7 მმ), დრეკადი დეფორმაციის (ა) სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას	119
ნახ. 37. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და რხევის სიხშირეზე (1 – f = 50 ჰე; 2 – f = 100 ჰე; 3 – f = 150 ჰე) დრეკადი დეფორმაციის (ა), სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას	120
ნახ. 38. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და ვიბრაციის კუთხის მნიშვნელობაზე (1 – $\beta = 45^\circ$; 2 – $\beta = 90^\circ$) დრეკადი დეფორმაციის (ა), სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას	121
ნახ. 39. ჩაის საღნობი საცდელი მანქანის მუშაობის პრინციპული სქემა	129
ნახ. 40. ჰაერის მექანიკური გამომშრობის მუშაობის პრინციპიალური სქემა	129
ნახ. 41. ჩაის მასის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჰაერის ტენშემცველობაზე	130
ნახ. 42. ჰელიოსაღნობი დანადგარის მუშაობის პრინციპული სქემა	135
ნახ. 43. ჩაის მასის ღნობის თანაბრობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე	140

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

პრობლემის აქტუალობა. საქართველოს სახელმწიფოებრივი დამოუკიდებლობის პირობებში ცხადია, რომ ჩაის მრეწველობის მიზანი უნდა დაექვემდებაროს ეროვნული ეკონომიკის ინტერესებს და განახორციელოს მის წინაშე მდგომი ამოცანები. აწარმოოს მაღალი ხარისხის კონკურენტუნარიანი ჩაის ისეთი პროდუქცია, რომელიც დააკმაყოფილებს საბაზრო ეკონომიკის მოთხოვნებს და მოიპოვებს მსოფლიოს ბაზარზე გასვლის რეალურ უფლებას.

1990 წლის მონაცემებით საქართველოში წარმოებული სამრეწველო პროდუქციის შედეგად შექმნილ ეროვნულ შემოსავალში ჩაის და სუბტროპიკული კულტურების წილად 10%-ზე მეტი მოდიოდა და მოცემულ დარგში დასაქმებულ მომუშავეთა საშუალო წლიური რაოდენობა თითქმის 180 ათას აღწევდა. მოყვანილი ციფრობრივი მონაცემები თვალნათლივ ადასტურებს ჩაის დიდ ხვედრით წილს საქართველოს ეკონომიკაში. აღნიშნულ პერიოდში საქართველო 110-120 ათას ტონა მზა ჩაის პროდუქციას აწარმოებდა, საიდანაც თავისთვის მოიხმარდა მხოლოდ 2%-ს. დანარჩენი გადიოდა საზღვარგარეთ. ზემოდ აღნიშნულიდან ჩანს, რომ დღესდღეობით საქართველოს ჩაის მნიშვნელოვანი საექსპორტო პოტენციალი გააჩნია, რომლის სრულფასოვანი გამოყენება დიდ სარგებლობას მოუტანს ჩვენს ქვეყანას.

მიუხედავად აღნიშნულისა, სადღეისოდ ჩაის გადამამუშავებელი საწარმოები, ვერც მიღებული პროდუქციის ხარისხით და ვერც გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობით ვერ პასუხობს თანამედროვე მოთხოვნებს. აქედან გამომდინარე მიზანშეწონილად მიგვაჩნია გადამამუშავების სრული ტექნოლოგიური ციკლის (ღნობა, გრეხა, ფერმენტაცია, შრობა, დაჭრა, დახარისხება, კუპაჟი, დაფასოება და შეფუთვა) სრულყოფა, ტექნოლოგიური მოწყობილობების რაციონალური კონსტრუქციების დამუშავება და წარმოებაში დანერგვა მცირე საწარმოთა მოთხოვნების გათვალისწინებითაც.

როგორც ცნობილია, ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხი ძირითადად დამოკიდებულია, როგორც ნედლეულის ქიმიურ შემადგენლობაზე, ასევე გადამამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესზე და შესაბამის მოწყობილობებზე

შავი ბაიხის ჩაის წარმოების აუცილებელი პირობაა ღნობა, რომელიც ისეთ პირობებში უნდა ჩატარდეს, რომ არ მოხდეს ჩაის ფოთოლში არსებული სისტემების დასუსტება. ღნობის დროს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს პროცესის ერთგვაროვნებას. ჩაის დუყების ნაწილები: კვირტები, ღეროები და ფოთლები, თანაბრად უნდა იყოს მომღნარი. მომღნარი მასა უნდა შეიცავდეს რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობით არასაკმარისად მომღნარ და ზედმეტად გადამღნარ დუყებს. ღნობის დროს დუყებში მიმდინარეობს რთული ბიო-ქიმიური პროცესები, რომლის დროსაც იხარჯება დუყის მშრალი ნივთიერების განსაზღვრული რაოდენობა.

ამავე დროს უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ დღეისათვის წარმოებაში გამოყენებული ჩაის საღნობი მანქანები მოქველებული კონსტრუქციისა და ვერ პასუხობენ თანამედროვე მოთხოვნებს აქვთ: დიდი გაბარიტული ზომები; მცირე კუთრი მწარმოებლობა; არის ენერგო და ლითონტევადი, აქვს დაბალი მქკ და სხვა. საღნობი მანქანების მოძრავ კონვეიერზე მოთავსებული ჩაის მასის უძრავ შრეში ღნობის პროცესი არათანაბრად მიმდინარეობს, რაც მნიშვნელოვნად აუარესებს ჩაის მასის მზა პროდუქციის ხარისხს.

ჩაის წარმოების განვითარების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ჩაის ღნობის მეთოდების და საღნობი მანქანების რაციონალური კვლევა.

მოგრეხილი ჩაის მასის ვიბროაეროფსევდოგათხევადებულ (ვაფგ) შრეში შრობის მეთოდის წარმატებულმა გამოყენებამ გვაფიქრებინა ჩაის მასის ღნობის პროცესის ვაფგ შრეში განხორციელება.

ვაფგ შრეში ღნობას უძრავ შრეში ღნობასთან შედარებით გააჩნია მაღალი ინტენსიფიკაცია, საღნობი მანქანის მარტივი კონსტრუქცია, მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, ღნობის პროცესის ავტომატიზაციის რეგულირების შესაძლებლობა და სხვა უპირატესობები. ამრიგად დასმული საკითხი მეტად აქტუალურია.

აღნიშნულიდან გამომდინარე სამუშაოს მიზანია ვაფგ შრეში ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანების ოპტიმალური პარამეტრების დასაბუთება.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ჩაის მნიშვნელობა ადამიანისათვის

მრავალი მეცნიერ-მკვლევარის აზრით ჩაი არის საგემოვნო პროდუქტი, რომელსაც უწოდებენ ინტერნაციონალურ სასმელს. მას აქვს აგრეთვე დიდი ფარმაკოლოგიური მნიშვნელობა. ჩაიში არსებული სხვადასხვა სახის ვიტამინები და ნივთიერება ტანინი, იწვევს სისხლსძარღვების კედლების გამაგრებას. ჩაი მოქმედებს აგრეთვე კუჭზე, მომწელებელ ორგანოებზე, ნერვულ სისტემებზე და სხვა მრავალი [1; 2; 3].

ჩაის დაღებთი თვისებების გამო კლიმატური პირობების გათვალისწინებით მან ფართო გავრცელება ჰპოვა დასავლეთ საქართველოში.

ჩაის ფოთოლში შემავალი ნივთიერებათა ქიმიური გარდაქმნების ხასიათის და თითოეული პროცესისათვის დამახასიათებელი რეაქციის ხანგრძლივობის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს წინასწარ განვსაზღვროთ გადამუშავების რომელი მეთოდი და რეჟიმი შეიძლება გამოყენებული იქნას ამა თუ იმ ნედლეულისათვის.

1.2. ჩაის კლასიფიკაცია ტექნოლოგიის თვალსაზრისით

მსოფლიო ბაზარზე ცნობილი ყველა ჩაი ტექნოლოგიის თვალსაზრისით შეიძლება ძირითადად კლასიფიცირებულ იქნეს შემდეგ სახეებად:

ბაიხის ჩაი: ა) შავი; ბ) მწვანე; გ) ყვითელი; დ) ოლონგი (წითელი). დაწნეხილი ჩაი: ა) შავი აგურა; ბ) მწვანე აგურა; გ) შავი და მწვანე ფილები.

სწრაფადხსნადი ჩაი: ა) შავი; მწვანე.

გრანულირებული ჩაი: ა) შავი; მწვანე.

მაღალხარისხოვანი ჩაის მზა პროდუქციის მიღების ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს მცენარის ჯიშის. მცენარის ბუჩქებზე მოკრეფილი ორ და სამფოთლიანი ჩაის ახალგაზრდა ყლორტები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, როგორც მორფოლოგიურად, ასევე

ქიმიური შემადგენლობითაც. ჩაის დუყების გადამუშავების ტექნოლოგიის მიხედვით მიიღება შავი ან მწვანე ბაიხის ჩაი.

1.3. შავი ჩაის წარმოება

შავი ბაიხის ჩაი ერთ-ერთი ყველაზე უფრო გავრცელებული სახეა, იგი გამოირჩევა ფაქიზი დამახასიათებელი არომატით, ნაყენის სასიამოვნო მწკლარტე გემოთი და ღია წითელი სუფთა ფერით.

შავი ბაიხის ჩაის მისაღებად მან უნდა გაიაროს ღნობის, გრეხის, ფერმენტაციის, შრობის და დახარისხების ტექნოლოგიური ოპერაციები.

ფაბრიკის ცენტრალურ მიმღებ პუნქტში ხდება ჩაის მასის რაოდენობის, ხარისხისა და ტენიანობის განსაზღვრა. დიდი რაოდენობით ჩაის მიღების დროს გარკვეული ნაწილი რჩება დროებით გადაუმუშავებელი. მისი ხარისხიანად შენახვისათვის საჭიროა ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა და შესაბამისი მოწყობილობის შექმნა.

ღნობის დროს ხდება დუყებში არსებული წყლის ნაწილობრივი აორთქლება, რის შედეგადაც იგი იღებს საკმარის ელასტიკურობას, რაც აუცილებელია გრეხის პროცესის ჩატარებისათვის.

საქართველოში მიღებული ნორმების თანახმად მომდნარ ფოთოლში უნდა იყოს 60-62% ტენი. ღნობის პროცესისათვის იყენებენ უწყვეტი ქმედების მანქანებს, რომლებშიც ღნობა მიმდინარეობს 38-42°C ტემპერატურაზე 2-6 სთ-ის განმავლობაში [3].

ღნობის შემდეგ დუყები იგრიხება საგრეს მანქანებში და ღებულობს ხრახნისებრ ფორმას. გრეხის პროცესის ძირითადი დანიშნულებაა მოამზადოს ფოთოლი ფერმენტაციისათვის. გრეხის დროს მექანიკურად იშლება დუყის უჯრედები, გამოედინება წვენი, რომელიც თანდათანობით ფარავს ფოთლის ზედაპირს. გრეხის შემდეგ მოგრეხილი ჩაის მასა ხარისხდება წვრილ და მსხვილ ფრაქციებად. წვრილი ფრაქცია მიეწოდება საფერმენტაციო სათავსოში, ხოლო მსხვილი ფრაქცია კი მიეწოდება მეორე გრეხისათვის განკუთვნილ როლერში. იგივე პროცესები ტარდება მესამე გრეხისათვის. შავი ბაიხის ჩაის წარმოებაში მიღებულია სამჯერადი გრეხის ჩატარება [3; 4].

უჯრედების დაშლისა და წვენის გამოდინების მომენტიდან იწყება ფერმენტაცია. ფერმენტაციის პროცესის დროს ფოთოლში ხდება ყველა ის ძირითადი ცვლილებები, რის საფუძველზეც ყალიბდება მზა პროდუქციის დამახასიათებელი თვისებები: გემო, არომატი და ნაყენის ფერი. ფერმენტაცია ტარდება სპეციალურ სათავსოში, სადაც პროცესის ნორმალური წარმართვისათვის შექმნილია მიკროკლიმატი: ჰაერის ფარდობითი ტენიანობით 95-98% და ტემპერატურით 22-24°C.

მოგრეხილი ფოთლის წვრილი ფრაქცია იყრება საფერმენტაციო ღია ყუთებში სისქით არა უმეტეს 4 სმ, ხოლო მსხვილი ფრაქცია 6-8 სმ. ფერმენტაციის ხანგრძლივობა შეადგენს წვრილი ფრაქციისათვის საშუალოდ 3,5 სთ, ხოლო მსხვილი ფრაქციისათვის კი 4-5 სთ. ექსპერიმენტით დადგენილია, რომ ოპტიმალური პირობების შექმნისათვის საჭიროა ჰაერის შეცვლა 8-10-ჯერ საათში. ფერმენტაციის ბოლოს ჩაის მასა დებულობს მოწითალო – სპილენძის ფერს [5]. ფერმენტაციის დროს ჩაი ფოთოლში წარმოქმნილი თვისებების შენარჩუნებისათვის საჭირო ფერმენტების მოქმედების შეწყვეტა, რისთვისაც გამოიყენება ცხელი ჰაერი [6]. აღნიშნულ პროცესს ეწოდება ჩაის შრობა. შრობის დროს ტენის თანდათანობით აღორქლებასთან ერთად იგი კარგავს მოწითალო – სპილენძის ფერს და შავდება.

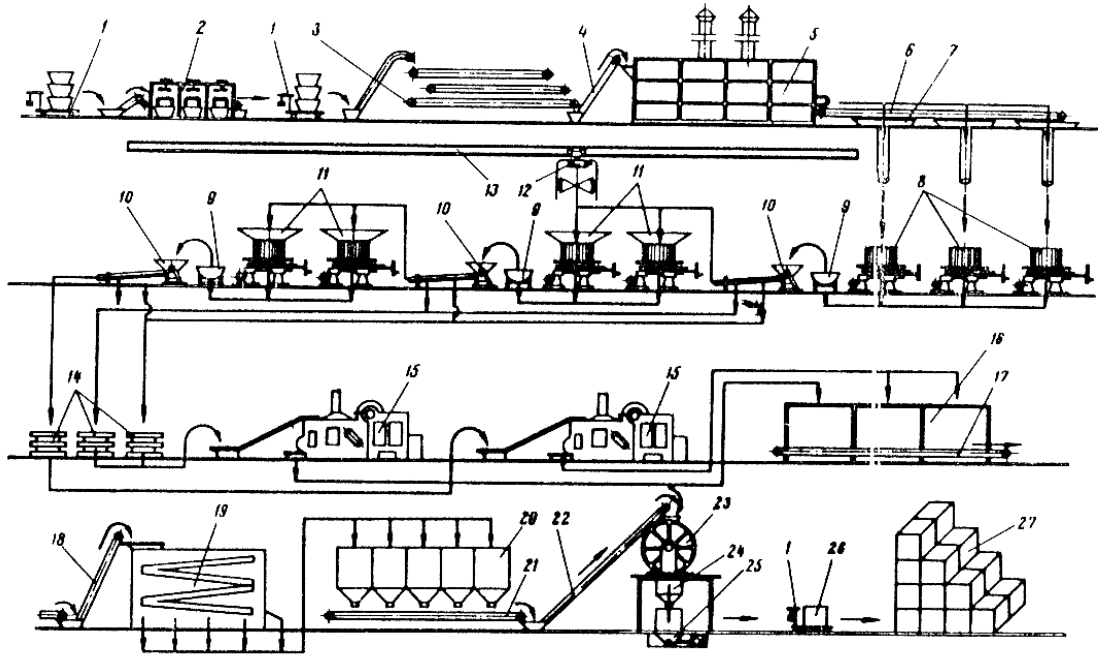
შრობის რეჟიმი დიდ გავლენას ახდენს ჩაის ხარისხზე. მაღალი ტემპერატურის გამოყენება იწვევს ქიმიურ ცვლილებებს, ფერმენტების დაშლას, ეთეროვანი ზეთების დანაკარგებს, დაბალი ტემპერატურის დროს კი მცირდება ექსტრაქტული ნივთიერებები და ტანინის რაოდენობა. შრობის შემდეგ მიღებული ჩაი (ნახევარფაბრიკატი) მიეწოდება დამხარისხებელ საამქროს. დასაწყისში ნახევარფაბრიკატის მსხვილი ფრაქცია იჭრება ჩაის საჭრელ მანქანაზე; შემდეგ კი იყოფა ზომების მიხედვით დამხარისხებელ მანქანაზე. დახარისხებული ჩაიდან ცალკე გამოიყოფა ერთმანეთის მსგავსი გარეგნული შეხედულების და ხარისხობრივი მაჩვენებლების პარტია. ტიტვისტერული გასინჯვის შემდეგ შესაძლებელია სხვადასხვა პარტიების ერთმანეთში შერევა. ერთგვაროვანი ნარევის მისაღებად გამოიყენება საკუპაჟე დოლი. შერევის შემდეგ ხდება ჩაი დაფასოება და შეფუთვა პერგამენტის ქაღალდის და ალუმინის კილიტით ჩაფენილ ყუთებში. ბოლო წლებში

ტარად გამოიყენება პოლიეთილენის ტომრები [7].

გარეგანი შეფასებით გამოშვებული ჩაის სახეებია: ფოთლოვანი პირველი (ფ-1), ფოთლოვანი მეორე (ფ-2), ფოთლოვანი მესამე (ფ-3), წვრილი პირველი (წ-1), წვრილი მეორე (წ-2), წვრილი მესამე (წ-3), ნაფხვენი და გამონაცერი.

ხარისხობრივი მაჩვენებლების მიხედვით გამოშვებული ჩაის სახეებია: თაიგული, ექსტრა, უმაღლესი ხარისხის 1-ლი კატეგორია, უმაღლესი ხარისხის მე-2-ე კატეგორია, I ხარისხი, II ხარისხის 1-ლი კატეგორია, II ხარისხის მე-2-ე კატეგორია, II ხარისხის მე-3-ე კატეგორია, III ხარისხი და ნაფხვენი [3].

შავი ბაისის ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. შავი ბაისის ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა
 1 – სასწორი; 2 – ჩაის ფოთლის დამხარისხებელი მანქანა; 3 – ჩაის ფოთლის შესანახი; 4 – ჩამტვირთი ელევატორი; 5 – საღნობი დანადგარი; 6 – გამომტანი ტრანსპორტიორი; 7 – ღარი; 8 – პირველი გრეხის როლერები; 9 – ურიკა; 10 – მწვანედ დამხარისხებელი მანქანა; 11 – მეორე და შემდეგი გრეხის როლერები; 12 – ტელფერი; 13 – მონორელსი; 14 – საფერმენტაციო სადგომი; 15 – ჩაის საშრობი მანქანა; 16 – კორიზონტალური ტრანსპორტიორი; 18 – ჩაის დამხარისხებელი მანქანის ელევატორი; 19 – ჩაის დამხარისხებელი მანქანა; 20 – ჩაის შესანახი; 21 – კორიზონტალური ტრანსპორტიორი; 22 – დახრილი ტრანსპორტიორი; 23 – საკუპაჟე დოლი; 24 – ბუნკერი; 25 – დამბეკნი მანქანა; 26 – სასწორი; 27 – პროდუქციის შესაფუთი ყუთების წყობა.

1.3.1. წერილი ჩაის წარმოება

ჩაის წარმოების სპეციალისტების და მეცნიერ-მკვლევარების მნიშვნელოვან ნაწილს მიაჩნია, რომ ხარისხის გაუმჯობესების ერთ-ერთ რაციონალურ მეთოდს წარმოადგენს, წერილი ჩაის წარმოების ხვედრითი წილის რაოდენობის მნიშვნელოვანი ზრდა გამოშვებულ პროდუქციაში.

ჩაის ნახევარფაბრიკატის სამომხმარებლო სახემდე დაყვანისათვის საჭიროა მისი დაჭრა. ჭრის შედეგად კი წარმოიქმნება განსაზღვრული რაოდენობის გამონაცერი, ნაფხვენი და მტვერი. ამავე დროს აღინიშნება ჩაის ნარჩენების და დანაკარგების ზრდა და პროდუქციის ხარისხის გაუარესება.

წერილი ჩაი ფოთლოვანთან შედარებით ხასიათდება უფრო მაღალი ექსპტაქციული და ნაყენის ფერიანობის ინტენსივობით.

წერილი ჩაის გამოსავლიანობის გაზრდა შესაძლებელია სხვადასხვა ხერხით. სამამულო წარმოებაში ძირითადად გავრცელებულია მოგრეხილი ჩაის დაჭრა.

ჩაის წარმოების კლასიკურ ტექნოლოგიაზე ნაწილობრივ უარი თქვეს ისეთმა ქვეყნებმა, როგორცაა ინდოეთი და შრი-ლანკა. მათ დაიწვეს წერილი ჩაის წარმოების ფართოდ დანერგვა ფაბრიკებში. აღსანიშნავია ის, რომ ინდოეთის ზოგიერთ ფაბრიკაში მისმა ხვედრითმა წილმა შეადგინა საერთო გამოშვებული პროდუქციის 90% [8].

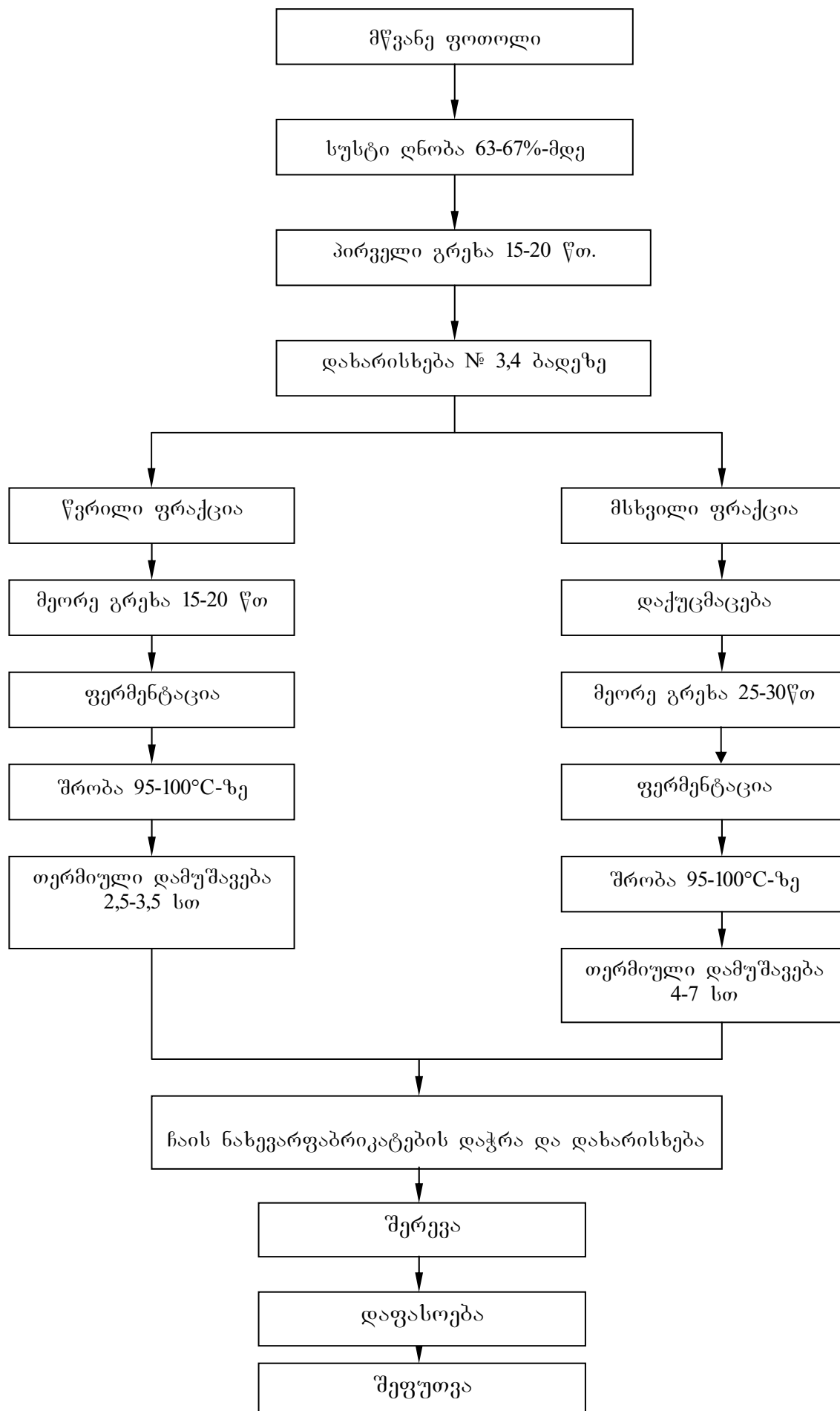
შავი წერილი ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური ხაზის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 2-ზე.

1.4. ჩაის ღნობის პროცესის და ტექნიკის თანამედროვე მდგომარეობა

შავი ბაიხის ჩაის წარმოების ოპერაცია იწყება ჩაის დუყების ღნობით.

ღნობის ძირითადი მიზანია ჩაის მასაში ფარდობითი ტენიანობის შემცირება იქამდე, ვიდრე წვენი არ გასქედდება და ჩაის მასა არ გადავა რეზინის მსგავს ფიზიკურ მდგომარეობაში.

ჩაის დუყები წვრილ ნაწილაკებად იმტვრევა მხოლოდ მაშინ,



ნახ. 2. შავი წვრილი ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

როდესაც მისი უჯრედები დაბერილია, ე.ი. სავსეა წვენი და შეუძლია დასკდეს უხეში მოპყრობით, ხოლო მაშინ, როდესაც ღუყის უჯრედები ნახევრად სავსეა სითხით (წვენი), ისინი ადვილად არ სკდება, ფოთოლი ხდება მოთენთილი და რეზინისმაგვარი.

ღერო უნდა იღუნებოდეს და არ ტყდებოდეს, ხოლო ღუყზე თითის დაჭერით რჩებოდეს მკაფიო ანაბეჭდი.

როდესაც მომღნარი ჩაის მასა შეიცავს დაახლოებით 60-62% ტენს, მზა ჩაის პროდუქტის გამოსავალი შეადგენს 41-42%-ს.

ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობა მერყეობს მშრალ დღეებში 70%-დან 75%-მდე, წვიმიან დღეებში კი 83%-მდე.

ღუყი, რომელიც იძლევა 40%-ზე ნაკლებ გამოსავლიანობას, სუსტად მომღნარია, ხოლო ფოთოლი, რომელიც იძლევა 50%-ზე მეტ დანაკარგს. გადამღნარია.

უხეში ფოთლის და ღეროს სიჭარბით მოკრეფილი ჩაი არ შეიძლება ძლიერად იქნას მომღნარი, ვინაიდან ნაზი ღუყები შეიძლება გახმეს, ხოლო კარგი ფოთოლი კი შეიძლება მომღნარი იქნას მაქსიმალურად.

ღნობისას სითბოს მოქმედებით წყალი აორთქლდება ფოთლიდან. სითბო მიეწოდება ჰაერიდან, რის შედეგადაც განუწყვეტლივ წარმოებს ცვლილებები ტენის აორთქლების მთელ პროცესში.

რაც უფრო მეტად იჟღინთება ჰაერი ტენით, მით უფრო კლებულობს აორთქლების ხარისხი და მისი მთლიანად გაუღენტვის დროს აორთქლება წყდება. თუ სასურველია, რომ აორთქლება სველ ფოთლიდან გაგრძელდეს, აუცილებელია სითბოს განუწყვეტელი მიწოდება. ხანგრძლივი ღნობის დროს ჩაის ეძლევა უკეთესი შეფერვა. რაც უფრო მეტ ხანს გრძელდება ღნობა, მით უფრო მეტად იკარგება მისთვის დამახასიათებელი თვისებები და არომატი.

ჰაერის მოცულობასა და სიჩქარის ზრდას უფრო მეტი ეფექტის მოცემა შეუძლია, ვიდრე მშრალი თერმომეტრის ჩვენების მიხედვით ტემპერატურის რამდენიმე გრადუსის გადიდებას. ღნობის პროცესის სიჩქარე იზრდება, როდესაც ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე იზრდება.

ღნობის დაწყების პროცესში მწვანე ჩაის ყლორტები მოქმედებს ზუსტად ისე, როგორც ყველა სველი სხეული და მისი ტემპერატურა

დაახლოებით ტოლია სველი თერმომეტრით გაზომილი ჰაერის ტემპერატურის. ღნობის პროცესის მიმდინარეობასთან ერთად ფოთოლი ხდება ნაკლებად სველი, ხოლო მისი ტემპერატურა სველი თერმომეტრის ჩვენებაზე მაღლა იწევა. ჩაის მასას ღნობის ბოლოსთვის უფრო მაღალი ტემპერატურა აქვს, ვიდრე პროცესის პირველ საათებში.

ჩაის მასის ტემპერატურა მისწრაფვის მიჰყევს ჰაერის ტემპერატურას სველი თერმომეტრის ჩვენების მიხედვით იქამდე, ვიდრე მისი ზედაპირიდან არ აორთქლდება მთელი ტენი. თუ არ ხდება აორთქლება მისი ტემპერატურა შეესაბამება ჰაერის ტემპერატურას მშრალი თერმომეტრის ჩვენება.

რაც ინტენსიურია აორთქლება, მით უფრო გრილია ჩაის მასა.

ღნობისათვის იდეალური პირობა იქნება ტემპერატურის დაბალი მაჩვენებელი სველი თერმომეტრის მიხედვით და ჰაერის ჭარბი რაოდენობის მიწოდების დროს.

შავი ბაიხის ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესი იწყება ჩაის ნედლეულის – დუყების ნაწილობრივი შეშრობით. ღნობის მიზანია ჩაის საწყისი ტენიანობა, რომლის გასაშუალოებულ მნიშვნელობად შეიძლება მივიღოთ 75%, შეამციროს 62%-მდე. ტენის აორთქლება იწვევს ფოთლის ჭკნობას. იგი ხდება მოთენთილი, რაც აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის შემდეგი ოპერაციის გრეხის ჩასატარებლად. ღნობა ისეთ პირობებში უნდა ჩატარდეს, რომ არ მოხდეს ფოთოლში მყოფი ფერმენტული სისტემების დასუსტება. ღნობის დროს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს პროცესის ერთგვაროვნებას. დუყი თანაბრად უნდა იყოს მომღნარი, მომღნარი მასა უნდა შეიცავდეს რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობით არასაკმარისად მომღნარ და ზედმეტად მომღნარ დუყებს. ღნობის დროს დუყებში მიმდინარეობს რთული ბიოქიმიური რეაქციები. ამ პროცესების დროს იხარჯება მშრალი ნივთიერების განსაზღვრული რაოდენობა. რა გავლენა აქვს ბიოქიმიურ რეაქციებს ჩაის ხარისხზე ჯერჯერობით მთლიანად არ არის დადგენილი.

როგორც ცნობილია, შავი ბაიხის ჩაის მიღებისათვის უნდა შესუსტდეს უჯრედების ტურგორული მდგომარეობა და ფოთოლი გახდეს ელასტიური. ტურგორის შეცვლა კი შეიძლება ხელოვნური

გზით ფოთლიდან გარკვეული რაოდენობას წყლის მოცილებით ანუ ღნობის პროცესით [3; 9].

ხარისხოვან ჩაის ფოთოლში ტენის შემცველობა 75-78%-ია, ღნობის შემდეგ კი იგი უნდა შეიცავდეს არა უმეტეს 64%. ნარჩენი ტენიანობის ნორმის დაცვას აქვს დიდი მნიშვნელობა იმისათვის, რომ ნორმალურად ჩატარდეს შემდგომი ტექნოლოგიური პროცესები და მივიღოთ მაღალხარისხოვანი პროდუქტი [10].

ჩაი, როგორც ღნობის ობიექტი, მიეკუთვნება კოლოიდურ კაპილარულ-ფოროვან მასალებს. წყლის აორთქლება ჩაიდან ღნობის პროცესის დროს ხასიათდება დაჩქარებისა და შენელების სამი ფაზით:

1. თავისუფალი წყლის ჩქარი გაცემა;
2. კოლოიდების თანაბარზომიერი გაუწყლოება;
3. წყლის გაცემა კოლოიდების მიერ ჰიდროფილური თვისებების დაკარგვის გამო.

წყლის დეფიციტის დადგომისას უჯრედი კარგავს ტურგორის ადღენის უნარს. დუყი ხდება მოთენთილი და ელასტიური.

ჩაის დუყის სხვადასხვა ელემენტები ხასიათდებიან განსხვავებული ტენგადაცემის უნარით, რაც განსაზღვრულია ისეთი ფაქტორებით, როგორცაა: წყალი და ქიმიური ნივთიერებების შემცველობა, ბაგეების რაოდენობა და მათი გახსნის ხარისხი და სხვა. ღნობის პროცესის დროს წყლის აორთქლების ინტენსიურობა პირველი ფოთლიდან 1,5-ჯერ მეტია, ვიდრე მეორედან და 2-ჯერ მეტი, ვიდრე მესამე ფოთლიდან.

ღნობის პროცესის სწორი მიმდინარეობის დროს წყლის გადაცემის სიჩქარე უნდა უტოლდებოდეს ფოთლისა და მთლიანად დუყის გამტარი სისტემიდან სითხის გადაადგილების სიჩქარე [11].

დადგენილია, რომ ჩაის პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები პირდაპირ პროპორციულ კავშირშია ღნობის ხარისხთან, რომლის განსაზღვრა შეიძლება სხვადასხვა გზით. ასე მაგალითად: ღნობის დროს ჩაის მასის მიერ წონის დაკარგვის განსაზღვრით; ღნობისას ჩაის წვენი ერთისა და იმავე კონცენტრაციამდე დაყვანით; მშრალი ნივთიერებისა და წყლის შემცველობის პროპორციული შეფარდებით 1:2; მომდნარ ჩაის მასაში ღნობადაუსრულებელი, ნორმალურად მომდნარი და ზედმეტად გადამდნარი დუყების

რაოდენობის მექანიკური ანალიზით; ღნობის დასრულების განსაზღვრა პრაქტიკოს-სპეციალისტების მიერ – ვიზუალურად და სხვა. თუმცა იდეალური ღნობა შეუძლებელია დუეის სხვადასხვა ნაწილში წყლის შემცველობის არათანაბრობის გამო.

უნდა შევნიშნოთ, რომ ჩაის მწარმოებელი ზოგიერთი ქვეყანა სპეციალურად მიმართავს გადამეტებულ და დაუსრულებელ ღნობას. ასე მაგალითად: ცვილონზე უპირატესობას ანიჭებენ გადამეტდნობას, რის საფუძველზეც ფოთლოვან ჩაის ღებულობენ დიდი რაოდენობით, ინდოეთში წვრილი ჩაის გამოსავლიანობის გაზრდის მიზნით ღნობა ბოლომდე არ მიჰყავთ.

მრავალი საზღვარგარეთელი მეცნიერი მიიჩნევდა (ჰ. მანი, ს. ჰარლერი და სხვა), რომ ღნობის ხანგრძლივობის დაცვა 18-20 საათის ფარგლებში აუცილებელია ჩაის ფოთლის ქიმიური მომზადებისათვის, ხოლო ი. ხოჭოლავას მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ ღნობა შეიძლება ჩატარდეს უფრო შემჭიდროვებულ ვადებში (2-6 სთ) და ეს დრო საკმარისია, ფოთლის როგორც ფიზიკური ისე ბიოქიმიური ცვლილებებისათვის. ამასთან უნდა აღვნიშნოთ, რომ ღნობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ჩაის შრის ფენის სისქეზე, ფოთოლში ტენის შემცველობაზე, გამოყენებული ჰაერის ტემპერატურასა და რაოდენობაზე [12].

ცხრ. 1-ში მოყვანილია ჩაის მზა პროდუქციის ნიმუშების ქიმიური ანალიზების მონაცემები, რომლებიც მიღებულია 2 და 6 საათიანი ხელოვნური ღნობისა და 18 საათიანი ბუნებრივი ღნობის დროს.

ცხრილი 1

ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის გავლენა ჩაის მზა პროდუქციის ქიმიურ შედგენილობაზე

ღნობის მეთოდი და ხანგრძლივობა	ექსტრაქტი, %	ტანინი %
2 სთ – ხელოვნური	37,14	11,86
6 სთ – ხელოვნური	36,96	11,47
18 სთ – ბუნებრივი	36,53	10,99

როგორც ი. ხოჭოლავა მიუთითებს, ხანმოკლევადიანი ღნობით მიღებული ჩაის უპირატესობა ტანინისა და ექსტრაქტის შემცველობის

მხრივ, განპირობებულია შედარებით მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით ბიოქიმიური პროცესების სწრაფ მიმდინარეობასა და ფოთოლში სასარგებლო ნივთიერებათა შენარჩუნებაზე [13].

ღნობის პროცესზე უარყოფითად მოქმედებს მაღალი ტემპერატურა და ძლიერი გაუწყლოება. ამ შემთხვევაში შეიმჩნევა ჩაის დუყის ნაზი ნაწილების გამოშრობა. ამასთან ერთად ძლიერი გაუწყლოებისას მიმდინარეობს ფენოლური ნივთიერებების ღრმა შეუქცევადი გარდაქმნები, რაც უარყოფითად მოქმედებს მზა პროდუქციის ხარისხზე, ამიტომ კარგი ხარისხის ჩაის მიღებისათვის საჭიროა მკვლევართა უმრავლესობის მიერ დადგენილი ტემპერატურული რეჟიმების ზუსტი დაცვა (38-42°C) [8].

ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური პროცესები (ნივთიერებათა ცვლა, სუნთქვა და სხვა), რომლებიც მიმდინარეობენ ჩვეულებრივად ჩაის ყლორტის ცოცხალ ქსოვილში მის მოკრეფამდე, გრძელდება მოკრეფილ დუყშიც. ღნობის დროს კი იცვლება ამ პროცესების მიმართულება და ინტენსიურობა, წარმოებს ნედლეულში ქიმიური გარდაქმნები და იცვლება მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები [12].

ჩაის ნედლ ფოთოლში ბიოქიმიური პროცესები მიმდინარეობენ ურთიერთშეთანხმებულად. ეს გამორიცხავს შუალედური ცვლის პროდუქტების დაგროვებას. ღნობის პროცესში ჟანგვითი პროცესები ჭარბობს ადგენით პროცესებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ხარისხობრივად ახალი პროდუქტები. ეს გემოვნური და არომატული პროდუქტები, რომელთა რაოდენობაც შემდგომ ტექნოლოგიურ პროცესებში კიდევ უფრო ძლიერდება, განაპირობებენ მზა ჩაის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს [3].

ღნობის დროს მკვეთრად იცვლება ჩაის ფოთოლში ნივთიერებათა ცვლის ხასიათი, ნაწილობრივ იჟანგება ფენოლური ნივთიერებები, ცილების ჰიდროლიზის შედეგად საგრძნობლად იცვლება აზოტისა და აზოტოვანი ნაერთების კომპლექსი, ქლოროფილის შემადგენლობა მესამედით და მეტად კლებულობს საწყის რაოდენობასთან შედარებით; იზრდება ზოგიერთი ფერმენტების აქტიურობა, იცვლება ნახშირწყლების კომპლექსი, კერძოდ: სახამებლისა და საქარიდების შემცველობა მცირდება ორჯერ, ხოლო მონოსაქარიდები კი მატულობენ,

ჰიდროპექტინის შემცველობის ზრდა განპირობებულია უხსნადი პროტოპექტინის ხსნად ფორმაში გადასვლის გამო. ღნობის დროს იცვლება არაორგანული და ორგანული მჟავების შემცველობები: ლიმონის მჟავისა და ქარვის მჟავის შემცველობა მატულობს, ხოლო ვაშლის მჟავისა კი კლებულობს [3].

ა. კურსანოვის მონაცემებით უჯრედების გაუწყლოება აჩქარებს ფერმენტების გააქტიურების პროცესს, რომელიც იწყება ჯერ კიდევ ჩაის სქელ ფენად დაყოვნებისა და ტრანსპორტირების დროს და მაქსიმუმს აღწევს ღნობის დროს [14].

მ. ბოკუჩავას მონაცემებით ჩაის ფოთლის დამჟანგველი ფერმენტების აქტიურობა იმდენად მაღალია, რომ ღნობის დროს მათი აქტიურობის გაზრდის გარეშე მათ შეუძლიათ განახორციელონ სასურველი ჟანგვითი პროცესები [3].

ამრიგად, ღნობის დროს ჩაის ფოთლის თითქმის ყველა ნივთიერება ხარისხობრივად იცვლება, თუმცა რაოდენობრივად ეს ცვლილებები შედარებით უმნიშვნელოა. შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღნობის დროს წარმოებს ფოთლის ბიოლოგიური და ფიზიკური მომზადება შემდგომი პროცესებისათვის, როგორცაა გრეხა და ფერმენტაცია.

ჩაის მწარმოებელ ქვეყნებში, ღნობას აწარმოებენ ბუნებრივ პირობებში. ბუნებრივი ღნობა ხორციელდება სპეციალურ სათავსოებში, რომლებშიც მოთავსებულია ბადით ან უხეში ქსოვილით გადაჭიმული თაროები. თაროებზე თხელ შრედ შლიან ჩაის ფოთოლს. საშუალოდ ჩაის ფოთლის დატვირთვას იღებენ 0,5-0,6 კგ/მ². ზოგ შემთხვევაში კუთრი დატვირთვა კიდევ უფრო ნაკლებია. ღნობის ხანგრძლივობაა 18-24 სთ.

ინდონეზიასა და ცეილონზე, სადაც გარემოს ჰაერი მაღალი ფარდობითი ტენიანობით ხასიათდება, ღნობისათვის იყენებენ ჩაის საშრობი ღუმელებიდან გამოსულ ცხელ ჰაერს, რომელსაც ურევინებენ გარემოს ჰაერს იმ რაოდენობით, რომ ნარევის ტემპერატურა იყოს არა უმეტეს 30°C-ისა. ინდოეთში ცხელ ჰაერს იყენებენ მხოლოდ წვიმების პერიოდში. სეზონის დანარჩენ პერიოდში გამოიყენება გარემოს ჰაერი, რომლის საშუალო ტემპერატურაა 24°C. ინდოეთში, ისევე როგორც ჩვენში, ფოთოლს აღნობენ 62%-მდე. ცეილონზე ღნობა უფრო ძლიერია,

მომღნარი ფოთლის ფარდობითი ტენიანობა 55%-ია. ჩინეთში დღემდე ძირითადად გამოყენებულია ღნობა ღია ცის ქვეშ.

ბუნებრივი ღნობა მოითხოვს დიდ საწარმოო ფართობს და მუშახელს.

ბუნებრივი ღნობა, როგორც სახელწოდებიდან ჩანს, ტარდება ბუნებრივ პირობებში. გარემო არის ტემპერატურისა და საჰაერო რეჟიმებისას.

ბუნებრივი ღნობა შეიძლება დაიყოს ორ ქვეჯგუფად:

ა) მზეზე ღნობა, რომელიც ტარდება ღია მოედანზე მზის სხივების და ჰაერის უშუალოდ ზემოქმედებით 1-2 საათის განმავლობაში.

ჩინეთში ჩაის წარმოება ძველი დროიდან იყენებდა 0,5 სთ-იანი მზეზე ღნობის მეთოდს. ეს მეთოდი გავრცელებული იქნა ინდოეთში, ინდონეზიასა და სხვა ქვეყნებში. მე-20 საუკუნეში კი წარმოების გაფართოებამ იგი შეზღუდა. თუმცა უნდა შევნიშნოთ, რომ მზეზე ღნობა საკმაოდ მაღალი ხარისხის პროდუქციას იძლევა.

ბ) ბუნებრივი ღნობა სპეციალურ საღნობ შენობებში. ამ შემთხვევაში ჩაის ფოთოლს ათავსებენ თაროებზე, რომლებიც განლაგებულია იარუსებად 10-12 სმ დაშორებით. იარუსების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 10-12-ს, რომ ზედა და ქვედა იარუსებზე ღნობის პროცესი წარიმართოს თანაბარზომიერად. პროცესის ხანგრძლივობა მშრალ ამინდში შეადგენს 16-18 სთ, ხოლო ტენიან ამინდში ღნობა 38-48 სთ გრძელდება. ბუნებრივი ღნობისათვის ოპტიმალურ ტემპერატურად ითვლება 24-25°C და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა უნდა იყოს 65-70%. საღნობ განყოფილებაში აუცილებელია ჰაერის მრავალჯერადი განიავება და ცირკულაცია [15].

ხელოვნური ღნობა კი ტარდება საღნობ მანქანებში და დანადგარებში შედარებით მცირე დროის განმავლობაში, ვიდრე ბუნებრივი ღნობა.

პრაქტიკოსი-სპეციალისტები და მეცნიერებ-მკვლევარები იკვლევენ ღნობის პროცესის ისეთი მეთოდებისა და რეჟიმების პარამეტრებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ პროცესის სრულყოფას და მაღალი ხარისხის პროდუქციის მიღებას. დიკენსი, ხოლი და გლენი იკვლევდნენ რა თაიგულის წარმოქმნის მიზეზებს ჩაიში, მივიდნენ იმ დასკვნამდე,

რომ ე.წ. სეზონური თაიგულის წარმოშობა განპირობებულია მკვეთრი დღეღამური ტემპერატურული ტენის ცვლილებით. მათ მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა უჩვენეს, რომ ცივი ღნობის ($0-2^{\circ}\text{C}$) პირობებში ჩაის ხარისხი იზრდება ბუნებრივი ღნობით მიღებულ საკონტროლო პარტიებთან შედარებით, მიუხედავად ამისა ღნობის ამ მეთოდმა პრაქტიკული გამოყენება ვერ ჰპოვა [16; 17].

ხელოვნური ღნობის მეცნიერული საფუძვლების დამუშავებასა და დანერგვაში დიდი წვლილი შეიტანეს, როგორც სამამულო, ასევე საზღვარგარეთელმა მეცნიერ-სპეციალისტებმა, რომელთა გამოკვლევების საფუძველზე შეიქმნა ისეთი მანქანა-დანადგარები, როგორიცაა: გ.ლომინაძის საღნობი დანადგარი, ვ. შარკოვსკის შახტური დანადგარი, ი.ხოჭოლაგას და ო. აშიანის საღნობი მანქანა, შ. მარდალეიშვილის სისტემის კონვეიერული ტიპის აგრეგატი უცხოელთაგან: ფირმა მარშალის საღნობი აგრეგატი, ფირმა „დევიდსონ და K “-ს დოლური ტიპის საღნობი მანქანა. რობინსონის სისტემის დანადგარი და ჯეკსონის საღნობი დანადგარი [4].

ხელოვნური ღნობისათვის გამოყენებული საზღვარგარეთული ყველა საღნობი სისტემები შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფებად:

1. ღნობის სისტემა მშრალი ჰაერის გამოყენებით;
2. ღნობის სისტემა ტენიანი ჰაერის გამოყენებით;
3. ღნობის სისტემა ვაკუუმის პირობებში.

ღნობის სისტემა მშრალი ჰაერის გამოყენებით იმაში მდგომარეობს, რომ ღუმელში გაცხელებული ჰაერი ვენტილატორის მეშვეობით მიეწოდება ჩაის ფოთლის თხელ ფენას, რომელიც გაშლილია საკანში სპეციალურ ლანგარებზე.

ტენიანი ცხელი ჰაერით ჩაის მასის ღნობის პრინციპი წამოყენებული იყო დევიდსონის მიერ. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ საკანში დამონტაჟებულ ლანგარებში ცხავებზე თხელ ფენად გაშლილ ჩაის ფოთოლზე ზემოქმედება ხდება ცხელი ($37,5^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურიანი ჰაერით რეცირკულაციის პირობებში.

ჩაის მასის ღნობა უჰაერო ან ნაწილობრივ უჰაერო სივრცის გამოყენებით წარმოებს აგრეთვე სპეციალურ საკანში ხელოვნურად შექმნილი ვაკუუმის პირობებში [18].

ჯეკსონის სისტემის საღნობი მანქანის კონსტრუქცია ჩაის საშრობი მანქანის მსგავსია. მას ცხელი (50-60°C) ტემპერატურიანი ჰაერი მიეწოდება მოთავსებულია ჩაის ფოთოლი მეორე ვენტილატორით კი ნამუშევარი ჰაერი გაიწოვება საკანიდან.

ბოსხას სისტემის მანქანა წარმოადგენს თავისი ღერძის გარშემო მბრუნავ ჰორიზონტალურ ცილინდრს, რომელშიც შეჰყავთ ცხელი ჰაერი. ფოთოლი იმყოფება ცილინდრში დაახლოებით ერთი საათის განმავლობაში, განუწყვეტელი არევის პირობებში. ამ დროს დუყები მექანიკურად ზიანდება და განიცდის ნაადრევ ფერმენტაციას, რაც ამ მანქანის უარყოფითი მაჩვენებელია [7].

საზღვარგარეთის ზოგიერთ ქვეყანაში, როგორცაა მაგალითად ცეილონი და სხვა ჩაის ფოთლის ხელოვნური ღნობისათვის გამოყენებულია ე.წ. ტროფი. იგი წარმოადგენს მართკუთხა კვეთის მქონე ჰორიზონტალურ დანადგარს.

ტროფში გადაჭიმულ კაპრონის ბადეზე 20-22 სმ სისქის ფენით ათავსებენ ჩაის ფოთლს. ტროფის ტორსულ მხარეებზე დაყენებულია ორი პროპელერული ვენტილატორი, რომელთა ბორბლის დიამეტრია 2 მეტრი. ამ ვენტილატორების საშუალებით ჩაის ფოთლს ქვემოდან მიეწოდება 32-33°C ტემპერატურის მქონე თბილი ჰაერი. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა გრძელდება 8-12 სთ.

ღნობის პროცესის ხარისხის დადგენას და საერთოდ ღნობის დამთავრებას აწარმოებენ ტროფის შუა ნაწილში ჩადგმულ კალათაში მოთავსებული ჩაის ფოთლის პერიოდული დათვალიერებითა და შემოწმებით, რომლის შედეგებიც, ბუნებრივია, ვრცელდება ტროფში მოთავსებულ მთელ ჩაის პარტიაზე [19].

ჩვენი ქვეყნის ჩაის ფაბრიკებში ღნობას ძირითადად ატარებენ შ.მარდალეიშვილის უწყვეტი ქმედების აგრეგატში ან კომბინირებულ საღნობ-საფიქსაციო აგრეგატში.

შ. მარდალეიშვილის უწყვეტი მოქმედების საღნობი აგრეგატი შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან საღნობი საკანი, კონვეირები, ცეცხლმილოვანი კალორიფერი, შემრევი საკანი და ვენტილატორი. საღნობ საკანში დამონტაჟებულია 5 ჰორიზონტალური კონვეირი, რომელთა ზედა შტო მუშაა, ხოლო ქვედა უქმი. კონვეიერების მუშა

ფართობი 82 მ²-ია. ჰაერის მოძრაობა მანქანაში წარმოებს პარალელური დინების პრინციპზე, რაც გარკვეული ხასიათით უზრუნველყოფს ჩაის ფოთლის თანაბარზომიერ ღნობას.

ღნობისათვის საჭირო კონდიციის ჰაერს ღებულობენ შემრევი საკანში ცივი და ცხელი ჰაერის შერევით 48-42°C-მდე გაცხელებული ჰაერი, 28-30% ფარდობითი ტენიანობით, ცენტრიდანული ვენტილატორით იჭირხნება საღნობ საკანში. საკანიდან გამოსული ნამუშევარი ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა შეადგენს 76-78%-ს.

ჩაის ფოთლის შრის სისქე პირველ (ზედა) კონვეიერზე 18-20 სმ-ია. ჩაის ფოთლის რაოდენობისა და ხარისხის მიხედვით ღნობას აწარმოებენ 4-6 სთ. განმავლობაში 40-42°C ტემპერატურული რეჟიმით. ჰაერის ხარჯი მთელი პროცესის განმავლობაში შეადგენს 55-60 ათას მ³/სთ. მანქანის მწარმოებლობა დამოკიდებულია პროცესის ხანგრძლივობაზე და საშუალოდ შეადგენს 400-600 კგ/სთ [4].

ხელოვნური ღნობის დანერგვისა და თანდათანობით ღნობის ხანგრძლივობის შემცირებასთან დაკავშირებით იქნა ჩაის ფოთლის გადამუშავება, ე.წ. სახეცვლილებით. კერძოდ, უჯრედების დაჭყლეტის მიზნით ჩაის ფოთლს ატარებენ ვალცებში შემდეგ ფოთლის მასის ტენიანობა შემწობით დაჰყავთ ტექნოლოგიურ ნორმამდე. ამ მეთოდის არსში მნიშვნელოვანია გამოუყენებელი უჯრედების დაშლის პრინციპი. ფოთლის ფირფიტის გაშლა ნამდვილად აჩქარებს მისი გამოშრობის პროცესს, მაგრამ ამ მეთოდით მომდინარე ფოთოლი არათანაბრად არის დამუშავებული და პროდუქციის ხარისხი უარესდება [20].

საქართველოს სუბტროპიკული მეურნეობის ინსტიტუტის თანამშრომლებმა (რ. დადიანი, თ. ცინცაბაძე და სხვა) სოხუმის ფიზიკო-ტექნიკური ინსტიტუტის სპეციალისტებთან ერთად გამოიკვლიეს ჩაის ფოთლის ღნობის შესაძლებლობა ოზონ-ჰაერის ნარევის აქტიური გარემოს არეში უმეტესწილად მოუხეშო და უხეში სტრუქტურის მქონე ნედლეულისათვის.

როგორც ავტორები ამტკიცებენ ოზონის შეღწევისას მცენარეული ორგანიზმის ქსოვილში სწარმოებს ბიოქიმიური პროცესების გააქტიურება, რაც აიხსნება მცენარის დამცავი მექანიზმის ამოქმედებით. ოზონის მაღალი კონცენტრაცია უზრუნველყოფს ჩაის

ფოთლის უჯრედების დესტრუქტურიზაციას, რის შედეგადაც ფოთოლი ხდება მოთენთილი და გრეხისათვის მომზადებული, მაგრამ როგორც თვით რ. დადიანი მიუთითებს – ბიოქიმიური თვალსაზრისით ასეთი ღნობა არაეფექტურია [21].

ჩაის ფოთლის მოუხეშო და უხეში ნედლეულისათვის ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით ი. ცოციაშვილის მიერ შესწავლილი იქნა ფოთლის წინასწარი თერმოქიმიური დამუშავება დაბალი კონცენტრაციის კაუსტიკური ხსნარით. მეთოდის პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ჩაის ფოთლის დამუშავება წარმოებს მცირე ხნით ცხელი 1%-იანი ტუტის ხსნარით. ამის შემდეგ ხდება ტუტის განეიტრალება მჟავით, ნედლეულის გულდასმით გარეცხვა გამდინარე წყლით და ღნობა-შემშრობა.

როგორც ავტორი მიუთითებს, ჩაის ნედლეულის ასეთი წინასწარი თერმოქიმიური დამუშავება უზრუნველყოფს ფოთლის ზედაპირიდან ცვილური ფენის მოცილებას და ღნობა-შემშრობისას ტენის თანაბარზომიერ აორთქლებას, ტურგორის დაკარგვას და ფოთლის მოთენთვას. მაგრამ მიუხედავად ამისა ღნობის ამ მეთოდმა საწარმოო გამოყენება ვერ ჰპოვა [9].

ხელოვნური ღნობის მეთოდებიდან ყურადღებას იმსახურებს ი. ჭოლაძის, ლ.ხარებაგას, რ. მელქაძის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი, რომლის საფუძველია შ. მარდალეიშვილის ამჟამად მოქმედ საღნოპო აგტეგატულ სისტემაში თანაბარზომიერი ღნობის ჩატარების ხარჯზე ჩაის ხარისხის გაუმჯობესება და პროცესის ეკონომიურობის გაზრდა.

ამ მიზნით, საღნოპო აგრეგატში კონვეიერებზე მოძრავ ფოთოლს 3 სთ-ის განმავლობაში გამჭოლად უბერავენ 28°C-იან ჰაერს. შემდეგ ერთი საათის განმავლობაში აწვდიან 35°C-იან ჰაერს 40000 მ³/სთ რაოდენობით და 0,2 მ/წმ სიჩქარით.

ჰაერის ტემპერატურის რეგულირების მიზნით კალორიფერში გაცხელებას აწარმოებენ პერიოდულად, კერძოდ, ერთი საათის განმავლობაში. ჰაერს აცხელებენ კალორიფერში საწვავის წვის ხარჯზე, შემდეგ საწვავის მიწოდებას წყვეტენ და ჰაერის გაცხელება წარმოებს სითბოს გადაცემით გაცხელებული კალორიფერის

მიღებიდან. ასეთი მუშაობის რეჟიმის დროს ჰაერის ტემპერატურა შენარჩუნებულია 22-28°C ფარგლებში.

შედარებით მაღალი და დაბალი ტემპერატურების ურთიერთ-მონაცვლეობით ჩაის ნედლეულში წარმოქმნილი ტენისა და ტემპერატურის გრადიენტები იწვევენ ტენის ინტენსიურ გადაადგილებას ნედლეულის შიგა ფენებიდან პერიფერიებისაკენ და ღნობის პროცესის დაჩქარებას. უნდა შევნიშნოთ, რომ რადგან ტემპერატურის ზემოქმედება მცირედროულია, ამიტომ ფერმენტატული სისტემა რჩება ხელშეუხებელი, ხოლო ღნობა მიმდინარეობს თანაბარზომიერად და მომდინარე ფოთოლი კარგად ექვემდებარება გრეხას [9].

ჩაის ფოთლის ღნობის თანამედროვე მეთოდების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1) ღნობის ბუნებრივ და ხელოვნურ მეთოდებს დადებით მხარეებთან ერთად აქვთ მთელი რიგი უარყოფითად მხარეები, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს პროდუქციის ხარისხს, შრომის პირობებს და წარმოების ეფექტიანობას.

კერძოდ:

2) ბუნებრივი ღნობა მთლიანად დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ პირობებზე, შრომატევადი და ხანგრძლივია, მოითხოვს დიდი რაოდენობით ხელით შრომას, საჭიროებს დიდ საწარმოო მოცულობასა და ფართობს;

3) ხელოვნური ღნობის საზღვარგარეთული მანქანების ძირითად ნაკლოვანებად ითვლება დაბალი მწარმოებლობა, შრომატევადობა, ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა და ტექნოლოგიური რეჟიმების არათანაბრობა; ასე მაგალითად: ჯეკსონის სისტემის საღნობ მანქანაში იქმნება ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის არასასურველი ცვალებადობა, რაც იწვევს არათანაბარ ღნობას; ბოსხას სისტემის მანქანაში ფოთოლი განიცდის ნაადრევ ფერმენტაციას, რაც უარყოფითად მოქმედებს პროდუქციის ხარისხზე; ვაკუუმ-საღნობი მანქანების პრაქტიკული მეტად შრომატევადია და მოუხერხებელი; ცივი ღნობის მეთოდმა (დიკენსი, ხოლი, გლენი) პრაქტიკული განხორციელება ვერ ჰპოვა; ტროფით ღნობის მეთოდი ძალიან პრიმიტიული და დაბალმწარმოებელია.

ყოველივე აღნიშნულის საფუძველზე საზღვარგარეთის ქვეყნების უმრავლესობა იყენებს ბუნებრივ ღნობას.

ჩვენს ქვეყანაში გამოყენებული ხელოვნური ღნობისათვის განკუთვნილი საღნობი აგრეგატები ვერ უზრუნველყოფენ ჩაის ფოთლის თანაბარზომიერ ღნობას, არის ენერგო და ლითონტეკადია, იკავებს დიდ საწარმოო ფართობს, გაძნელებულია მათი ტრანსპორტირება, მონტაჟი და ექსპლუატაცია.

რაც შეეხება ზოგიერთი მკვლევარის მონაცემებს ღნობის ინტენსიფიკაციისა და პროდუქციის ხარისხის ამადლების მიზნით ჩაის ფოთლის დაჭყლეტა ვალცებში და შემდეგ შემრობა; ღნობა ოზონ-ჰაერის აქტიურ გარემოში; თერმოქიმიური მეთოდით-კაუსტიკური ხსნარით; ღნობა ცივ გარემოში; ამჟამად მოქმედ საღნობ აგრეგატულ სისტემაში ჰაერის პერიოდული გაცხელებით და სხვა. მათ პრაქტიკული საწარმოო განხორციელება ვერ კპოვებს [17].

ცხადია, ზემოდ დასახელებული უარყოფითი მხარეების გამოსწორების მიზნით უფრო რაციონალური, ტექნოლოგიურად მიზანშეწონილი და ეკონომიკურად ეფექტიანი ღნობის ახალი მეთოდები და საშუალებების ძიება, შესწავლა და გამოყენება მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს.

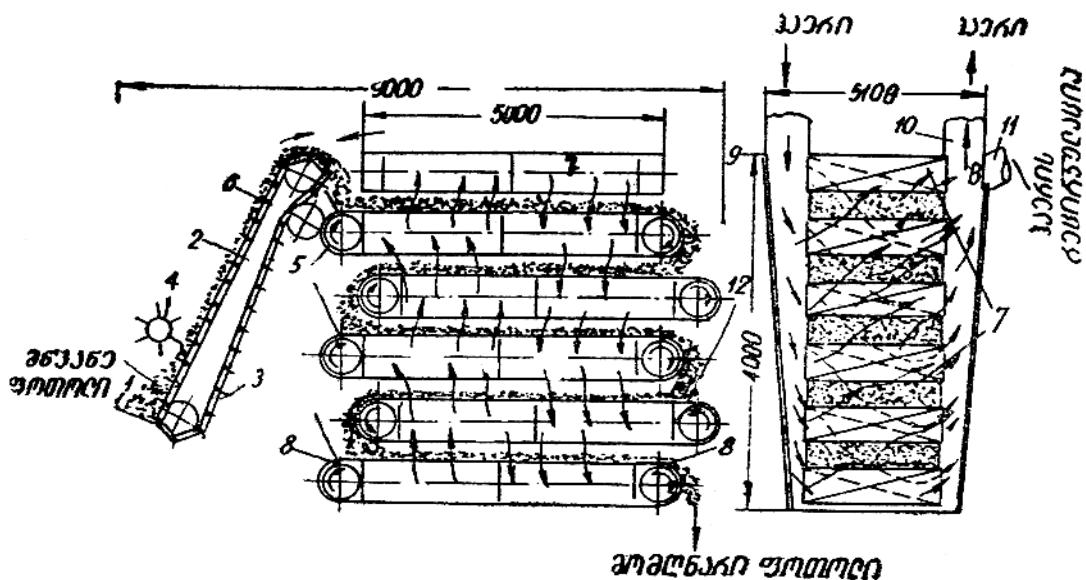
ამასთან ერთად როგორც ბოლო წლებმა გვიჩვენეს, მოკრეფილი ჩაის ნედლეულის სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებებისა და ქიმიური შემადგენლობის გაუარესება მოითხოვს სერიოზულად გადასინჯულ იქნას ჩაის წარმოების ზოგიერთი თეორიული და პრაქტიკული კონცეფციები და ტექნოლოგიური სქემები.

ამ თვალსაზრისით მეცნიერ-მკვლევარების მიერ შესწავლილი ინფრაწითელი სხივების ტექნიკა. ინფრაწითელი სხივური ენერგია ხასიათდება მთელი რიგი უპირატესობებით სხვა სახის ენერგიებთან შედარებით, ამიტომ მას აქვს დიდი და ფართო პერსპექტივები კვების მრეწველობაში, კერძოდ ჩაის წარმოებაში დანერგვისათვის.

ინფრაწითელი სხივები საშუალებას იძლევა 6-10-ჯერ გაიზარდოს ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაცია ღნობის ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით, მაქსიმალურად იქნას შენარჩუნებული ნედლეულში არსებული სასარგებლო ნივთიერებები, რის შედეგადაც იზრდება

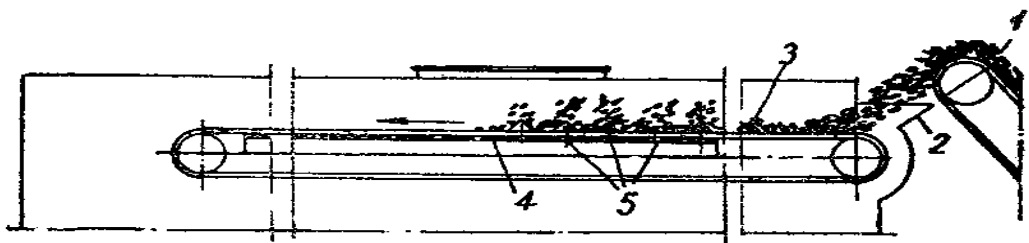
პროდუქციის ხარისხი, მცირდება ენერგეტიკულ და სხვა სახის დანახარჯები. მაგრამ უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედების გამო მნიშვნელოვნად მცირდება მზა პროდუქციის ხარისხი.

უფრო სრულყოფილი აღმოჩნდა კომპისებური მრავალთაროიანი ვ. შარკოვსკის დანადგარი. ამ დანადგარში ფოთოლი იტვირთებოდა ზევიდან და მომდნარი გამოდიოდა ქვედა თაროდან. ღნობის ხანგრძლივობა იყო 6 საათი, დღეღამური მწარმოებლობა 4 ტ მწვანე ფოთოლი და ჰაერის ტემპერატურა 40-42°. ამ დანადგარმა საკმაოდ დიდხანს იმუშავა და დიდი სარგებლობა მოუტანა ჩაის მრეწველობას. შემდეგი ნაბიჯი საღნობი დანადგარის კონსტრუქციის გაუმჯობესებისათვის დამუშავებული იყო პროფ. ი. ხოჭოლაგასა და ი. აშჩიანის მექანიზირებული უწყვეტი ქმედების კონვეიერული ტიპის საღნობი დანადგარი (ნახ. 3). კონვეიერების სიჩქარე იყო 0,3 მ/წმ მწვანე ფოთოლი საათში; ჰაერის ხარჯი 60000 მ³/სთ. ამ დანადგარში ღნობის ხანგრძლივობა იყო 2 საათი. 41°C-იანი ტემპერატურის ჰაერი ნაწილდებოდა ყველა კონვეიერზე.



ნახ. 3. ი. ხოჭოლაგასა და ი. აშჩიანის საღნობი დანადგარის სქემა:
 1 – ხვიშირა; 2 – მიმწოდებელი ტრანსპორტიორი; 3 – ფოცხები;
 4 – დოზატორი; 5 – ვარსკვლავა; 6 – ჩაის ფოთოლი;
 7 – ჰაერი; 8 – ფარი; 9 – ჰაერის მიმწოდებელი არხი;
 10 – ჰაერის გამოსასვლელი არხი; 11 – ჰაერის
 სარეცხავი კონვეიერი; 12 – ბადისებური კონვეიერი

მოგვიანებით წარმოებაში დაინერგა შ. მარდალეიშვილის საღნობი დანადგარი (ნახ. 4). ეს დანადგარი წარმოადგენს ხუთ კონვეიერულ უწყვეტი ქმედების საღნობს. კონვეიერები დამზადებულია უჟანგავი ბადისგან ან დახვრეტილი, ბაკელიტით დაფარული ფოლადის ფირფიტებისგან. დანადგარში განხორციელებულია ჰაერის და ფოთლის მოძრაობის პარალელური დენი. ჰაერის საწყისი ტემპერატურაა 45-48°, ხარჯი 60000 მ³/სთ. კონვეიერების ქვეშ მოთავსებულია ჰაერის გამანაწილებელი ცხაურა (4), რომელიც წარმოადგენს ფოლადის ფურცელს ვიწრო და გრძელი ხვრელებით (1200×20 მმ). ბიჯი ხვრელებს შორის უდრის 100 მმ. ხვრელების დანიშნულებაა გაზარდოს შემავალი ჰაერის სიჩქარე და ამავე დროს განახორციელოს ჰაერის ზემოქმედების წყვეტილობა, რაც, ჩვენი აზრით, საშუალებას იძლევა რაციონალური თანაფარდობა დაამყაროს დუყის ტენის ზედაპირულ და შიგა ნაკადებს შორის. დანადგარში დახრილი ტრანსპორტიორი (1) ფოთოლს აწოდებს მკვებავ ხვიმირას, რომელშიაც ფოთლის შრის სიმაღლე უნდა იყოს 600-700 მმ. ეს შრე საკეტის როლს ასრულებს. ხვიმირიდან ფოთოლი წაყვება ზედა კონვეიერს, თანმიმდევრულად გაივლის ხუთივე ლენტს და მომდინარე გამოდის დანადგარიდან. ფოთლის შრის სიმაღლე ბადეზე საშუალოდ არის 18-22 სმ, რაც გვაძლევს 27-33 კგ/მ² დატვირთვას ფოთლის ხარისხის მიხედვით. დანადგარს შეუძლია იმუშაოს 3 სიჩქარით. მისი მწარმოებლობა სხვადასხვა სიჩქარეზე.



ნახ. 4. შ. მარდალეიშვილის სისტემის საღნობი დანადგარის მკვებავი მოწყობილობის პრინციპული სქემა:
 1 – ტრანსპორტიორი; 2 – ხვიმირი; 3 – ფოთოლი; 4 – კონვეიერი;
 5 – ცხაურა; 6 – ჰაერის მილსადენები

საღნობი დანადგარებისათვის და საერთოდ ღნობისათვის ჩაის ფაბრიკებში ცხელი ჰაერის მომზადება წარმოებს მაზუთზე მომუშავე

საცეცხლეებში მიღებული კვამლის აირების ხარჯზე, რომელიც ჰაერს ათბობს საჭირო ტემპერატურამდე მიღებიან თბოგადამცემში. უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად ეკონომიური უპირატესობისა, ღნობა უშუალოდ კვამლის აირებით არ დაინერგა წარმოებაში, მზა ნაწარმის გაჭუჭყიანებისა და გარეშე სუნის შექმნის საშიშროების გამო.

როგორც ეს ზემოთ იყო აღნიშნული, ღნობის დროს განხორციელებული უნდა იყოს ორი მთავარი პირობა:

1. შენარჩუნებული უნდა იყოს ფოთლის ფერმენტული აქტივობა;
2. როგორც ცალკეული დუყი, ისე ჩაის მთლიანი მასა, რაც შეიძლება უფრო თანაბრად უნდა იყოს მომღნარი.

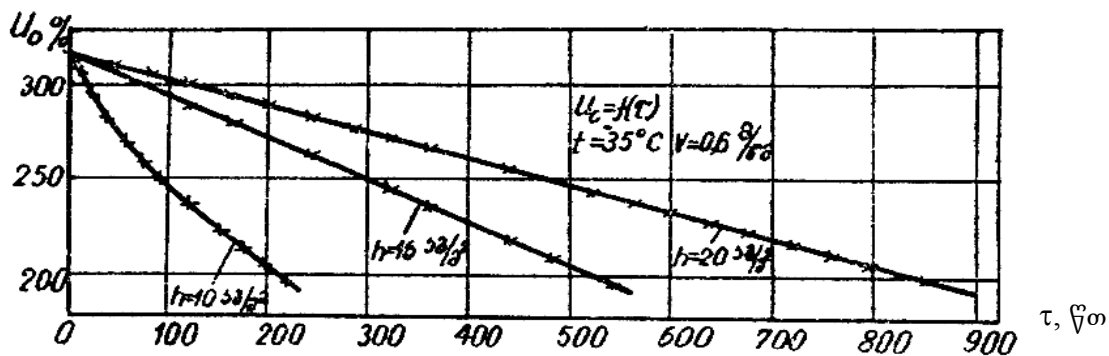
ღნობის რეჟიმი ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ ფოთლის ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს დასაშვებ ზღვარს, ამავე დროს ტენის აორთქლების სიჩქარეს ფოთლის ზედაპირიდან უნდა ეთანხმებოდეს ტენის მოძრაობა ფოთოლში. ტენის ზედმეტად სწრაფი აორთქლება ზედაპირიდან იწვევს დუყის უფრო ნაზი ნაწილების გადახმობას, კაპილარების დაბრეცვას და ქერქის წარმოშობას. დუყის შემადგენელი ნაწილები – სხვადასხვა ზომის ფოთლები, ღერო და კვირტი ერთნაირად არ კარგავს ტენს. საჭიროა შრობის ისეთი რეჟიმის შერჩევა, რომ ტენის შიგა გადანაწილების ხარჯზე მივიღოთ თანაბრად მომღნარი ნედლეული. ღნობის პროცესის კინეტიკა შესწავლილი იყო ნ. მიხაილოვის ხელმძღვანელობით. განვიხილოთ ამ კვლევის ძირითადი შედეგები.

ღნობის დროს, როდესაც ფოთლის აბსოლუტური ტენიანობა იცვლება 300-150% ფარგლებში, ღნობის სიჩქარე პროცესის უმეტეს ნაწილში მუდმივია და ჩაის მასის ტემპერატურა ცოტათი განსხვავდება ჰაერის სველი თერმომეტრის ტემპერატურისაგან (ნახ. 5).

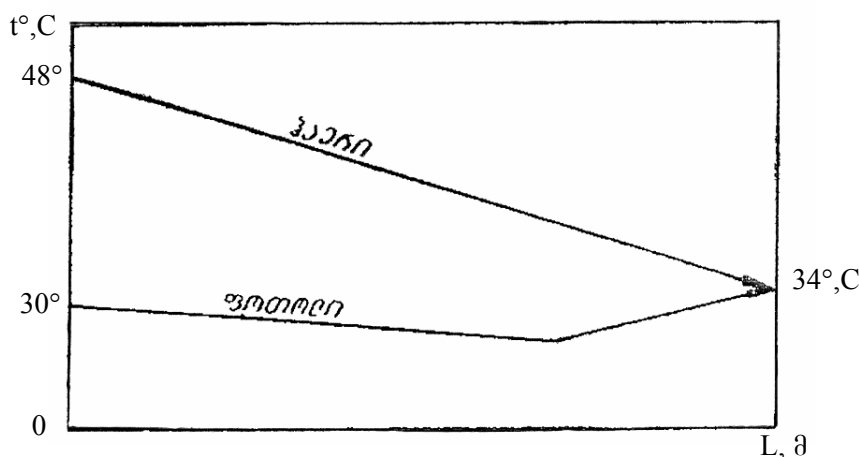
პროცესის ბოლოს ფოთლის ტემპერატურა იზრდება და უახლოვდება ჰაერის ტემპერატურას (ნახ. 6).

ვინაიდან ფოთლის გადახურება მავნედ მოქმედებს ღნობის ხარისხზე, წინააღმდეგობის შემთხვევაში, როდესაც საღნობში შემოსული ჰაერი შეხებაში მოდის უკვე მომღნარ ჩაის მასასთან, ჰაერის საწყისი ტემპერატურა არ უნდა იყოს მაღალი. პარალელური დენის შემთხვევაში შესაძლებელია ჰაერის უფრო მაღალი ტემპერატურის გამოყენება, რადგან იგი პირველად შეხებაში მოდის ტენიან ჩაის მასასთან,

რომელიც არ გადახურდება. საღნოში გაგლის დროს ტენის აორთქლების შედეგად ჰაერის ტემპერატურა კლებულობს, ჩაის მასისა კი მატულობს და პროცესის ბოლოს უახლოვდება t_3 -ს. ამიტომ პარალელური დენი ჩაის მასის ღნობისათვის უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე წინააღმდეგობა.



ნახ. 5. ჩაის ფოთლის ღნობის მრუდები



ნახ. 6. ჰაერის და ჩაის მასის ტემპერატურული მრუდები პარალელური დენის შემთხვევაში ღნობის პროცესის დროს

როგორც ნახ. 5-დან ჩანს, ღნობის მრუდი 16 და 20 კგ/შ დატვირთვისათვის სწორხაზოვანია, რაც, როგორც აღვნიშნეთ, იმის მაჩვენებელია, რომ პროცესი მიმდინარეობს მუდმივი სიჩქარით. ამიტომ ჰაერის შრობის პოტენციალმა დიდი გავლენა უნდა იქონიოს ღნობის სიჩქარეზე. მიხაილოვის ცდები ადასტურებენ ამ დებულებას. ჰაერის ტემპერატურის გაზრდა 34° -დან 45° -მდე ამცირებს ღნობის ხანგრძლიობას 2-ჯერ. ანალოგიურად ჰაერის სიჩქარის გაზრდა და

ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის შემცირება აჩქარებს ღნობას. ჩაის ფოთლის შრის სისქის გაზრდა კი ახანგრძლივებს ღნობის პროცესს.

ბ. ჯაფარიძის მიერ შესწავლილი იყო საღნობი დანადგარის მუშაობა. ამ კვლევამ დაადასტურა, რომ ღნობა მიმდინარეობს ჯერ მუდმივი და შემდეგ კლებადი სიჩქარით. მუდმივი სიჩქარის პერიოდს ადგილი აქვს პირველ კონვეიერზე. კრიტიკული ტენიანობის მნიშვნელობა იცვლება სეზონის განმავლობაში, რაც შედეგია ფოთლის მშრალი ნივთიერებების ჰიდროფილური თვისებების ცვლილებისა.

ღნობის პირველი პერიოდისათვის ბ. ჯაფარიძემ დაადგინა კრიტერიული დამოკიდებულება:

მაის-ივლისის ფოთლისათვის

$$Nu = 0,0188 Re^{0,8} \left(\frac{b}{l} \right); \quad (1)$$

აგვოსტო-სექტემბრის ფოთლისათვის

$$Nu = 0,0141 Re^{0,8} \left(\frac{b}{l} \right), \quad (2)$$

სადაც u არის ნუსეგტის კრიტერიუმი.

$$Nu = \frac{\alpha \sqrt{f}}{\lambda}, \quad (3)$$

სადაც \sqrt{f} არის დამახასიათებელი ზომა, მ;

f – სამფოთლიანი დუყის ზედაპირი, მ²;

λ – ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტი კკალ/მ სთ, °ჩ;

b – ხვრელის განი, მმ;

l – ბიჯი ხვრელებს შორის, მმ.

რეინოლდსის კრიტერიუმი გამოიანგარიშება ფორმულით

$$Re = \frac{V_{\text{დაყ}} \sqrt{f}}{\nu}, \quad (4)$$

სადაც $V_{\text{დაყ}}$ არის ჰაერის დაყვანილი სიჩქარე $V_{\text{დაყ}} = \frac{V_{\text{საშ}}}{\varepsilon}$;

ε – ჩაის ფოთლის შრის ფოროვნობა;

ν – ჰაერის კინემატიკური სიბლანტე, მ²/წმ.

ჰაერის საშუალო სიჩქარე განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{0,82V_0}{\sqrt{0,41 + \frac{\alpha h}{0,5h}}} \text{ მ/წმ}, \quad (5)$$

სადაც V_0 არის ჰაერის სიჩქარე ხვრელში, მ/წმ;

h – მანძილი საქშენის ყელიდან ბადის ზედაპირამდე, მ;

α – გამოდინების კოეფიციენტი.

ღნობის მეორე პერიოდისათვის მიღებული იყო შემდეგი დამოკიდებულება

$$M = K(U_{\text{კრ}} - U_{\text{წ}}) = 0,072(U_{\text{კრ}} - U_{\text{წ}}), \quad \%/\text{სთ}, \quad (6)$$

სადაც N არის ღნობის მუდმივი პერიოდის სიჩქარე, $\%//\text{სთ}$;

K – ღნობის სიჩქარის მუდმივა, $1/\text{სთ}$;

$U_{\text{კრ}}$ – ჩაის ფოთლის აბსოლუტური ტენიანობა, $\%$;

$U_{\text{წ}}$ – ჩაის ფოთლის აბსოლუტური წონასწორული ტენიანობა, $\%$.

პირველი თავის დასკვნა

შავი ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის, ღნობის ოპერაციის და საღნობი მანქანების ლიტერატურული წყაროების განხილვის და ანალიზის საფუძველზე შეიძლება შემდეგი დასკვნის გაკეთება.

- ჩაის მრეწველობის საწარმოებში გამოყენებული კონვეიერული საღნობი მანქანების მუშაობის პრინციპები და კონსტრუქციები ვერ პასუხობს თანამედროვე მოთხოვნებს: აქვს დიდი გაბარიტული ზომები; არის ენერგო და ლითონტევადი; აქვს დაბალი მქკ; ძნელად განსახორციელებელია ღნობის ოპერაციის და საღნობი მანქანის მუშაობის პროცესის ავტომატური მართვა; შრომის მძიმე პირობებში უხდება მუშაობა მანქანის მომსახურე ტექნიკურ პერსონალს, გართულებულია მანქანის ექსპლუატაცია და სხვა.
- კონვეიერული ტიპის საღნობი მანქანების მოძრავ ლენტურ ტრანსპორტიორზე მოთავსებული ფარდობით უძრავ შრეში ჩაის მასის პროცესი არათანაბარია, რაც მნიშვნელოვნად აუარესებს მზა პროდუქციის ხარისხს.

- ვაფგ შრეში ჩაის ღნობა შეიძლება ჩაითვალოს ერთ-ერთ პერსპექტიულ მეთოდად ღნობის ოპერაციის ინტენსიფიკაციის და ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით.
- ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის ოპერაციის და საღნობი მანქანების რაციონალური კონსტრუქციის დამუშავებისათვის საჭირო ოპტიმალური პარამეტრების მნიშვნელობები, შეიძლება ითქვას, რომ თითქმის არ არის შესწავლილი.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე კვლევის ძირითადი ამოცანები შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს:

- ჩაის მასის ღნობის ოპერაციის თეორიული შესწავლა;
- ვაფგ შრის სასაზღვრო პირობების დადგენა.
- ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკური, თბოფიზიკური და ვიბროაეროდინამიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული შესწავლა ვაფგ შრეში მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით.
- ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის კინეტიკის ექსპერიმენტული შესწავლა.
- ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის, ღნობის სიჩქარის და მანქანის კუთრი მწარმოებლობის განსაზღვრა ვაფგ შრეში მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით.
- მოვიბორიერე სიბრტყეზე ჩაის მასის გადაადგილების კანონზომიერების დადგენა.
- ჩაის მასის ღნობის რეოლოგიური მოდელის დამუშავება.
- სითბოს ალტერნატიული წყაროების (მზის ენერჯია, თერმული წყლები) გამოყენება ჩაის მასის ღნობისათვის.
- ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას ოპერაციის და ვიბრაციული საღნობი მანქანის ოპტიმალური პარამეტრების საფუძველზე გაანგარიშების და კონსტრუქციების საფუძვლების დამუშავება.
- ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის ოპერაციით და რაციონალური საღნობი მანქანის დანერგვით მიღებული ეკონომიკური ეფექტიანობის განსაზღვრა.

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ჩაის მასის ღნობის პროცესის თეორიული კვლევა

2.1.1. ღნობის კინეტიკა

ჩაის მასის ღნობა მიმდინარეობს ცხელი ჰაერის საშუალებით, ტენი დიფუზიით ჩაის ღუყის ცენტრიდან გადაადგილება მისი ზედაპირისაკენ. ზედაპირზე ხდება მისი აორთქლება და გადაადგილება ჩაის მასაში, შემდეგ კი მისი გადაადგილება ჰაერში.

ჩაის ღუყში ტენის მოძრაობის (დიფუზიის ზეგავლენით) პროცესის მამოძრავებელი ძალაა ტენის კონცენტრაციათა სხვაობა ჩაის მასის სხვადასხვა ადგილებში. როგორც დიფუზიის პროცესი გამოისახება ფიკის კანონით:

$$G_c = -D \frac{dc}{dx} F \cdot \tau \quad \text{კგ}, \quad (7)$$

სადაც C_c არის დიფუნდირებული ტენის რაოდენობა კგ;

τ – დრო, სთ;

F – ტენის კონცენტრაცია, კგ/მ³;

$\frac{dc}{dx}$ – კონცენტრაციის გრადიენტი;

D – დიფუზიის კოეფიციენტი მ²/სთ.

დიფუზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ჩაის მასის თვისებებზე და იმ კავშირებზე, რომლებიც არსებობენ ტენსა და ჩაის მასის მშრალ ნივთიერებებს შორის. ის დამოკიდებულია აგრეთვე ტემპერატურაზე.

ტენი შეიძლება გადაადგილდეს ჩაის მასაში როგორც თხევად, ისე ორთქლისებურ მდგომარეობაში, რაც აგრეთვე დამოკიდებულია ჩაის მასის, ტენის კავშირებსა და ტენშემცველობაზე. ოსმოსური წყალი უჯრედების გარსში მიგრაციას განიცდის თხევად მდგომარეობაში, აღსორციელებული წყალი კი გადაადგილება ორთქლის სახით. როდესაც ტენიანობა მაღალია, ჭარბობს მისი მიგრაცია თხევად მდგომარეობაში დაბალი ტენიანობის დროს მიგრაცია წარმოებს ორთქლის სახით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ტენის გადატანა ჩაის მასაში არაიზოთერმულია, ე.ი. როდესაც ტენის კონცენტრაციათა სხვაობასთან

ერთად არსებობს ტემპერატურათა სხვაობაც, წარმოიშვება თბური ნაკადი, რომელიც გამოიწვევს ტენის გადატანას – თერმოტენგამტარობა. ეს მოვლენა სველ მასალებში პირველად დაადგინა და ექსპერიმენტულად შეისწავლა ა. ლიკოვმა. თერმოტენგამტარობის ზეგავლენით ტენის გადაადგილება წარმოებს თბონაკადის მიმართულებით და აიხსნება შემდეგი მოვლენებით:

ა) თერმოდოფუზიით, ე.ი. სითხის ან ორთქლის მოლეკულური გადატანით მაღალი ტემპერატურიდან უფრო დაბალი ტემპერატურისაკენ.

ბ) ზედაპირული ძაბვის შემცირებით ტემპერატურის მომატებასთან დაკავშირებით. ამიტომ ფოროვანი სხეულების კაპილარებში წარმოებს სითხის მოძრაობა ტემპერატურის ვარდნის მიმართულებით, ე.ი. სითბური ნაკადის მიმართულებით.

გ) ჩამწვედელი ჰაერის ზეგავლენით. კაპილარებში ჩამწვედელი ჰაერის გათბობა იწვევს მის გაფართოებას, რის ზეგავლენითაც წყალი გადაიწნეხება, სადაც წნევა ნაკლებია, ე.ი. უფრო დაბალი ტემპერატურისაკენ, სითბოს ნაკადის მიმართულებით.

ტემპერატურული გრადიენტის ზეგავლენით გადაადგილებული გამოისახება (7) ფორმულის მსგავსი განტოლებით:

$$G_t = -D_t \cdot \frac{dt}{dx} F \cdot \tau \text{ კგ,} \quad (8)$$

სადაც D_t არის თერმოტენგამტარობის კოეფიციენტი $\frac{\text{კგ}}{\text{მ სთ}}$;

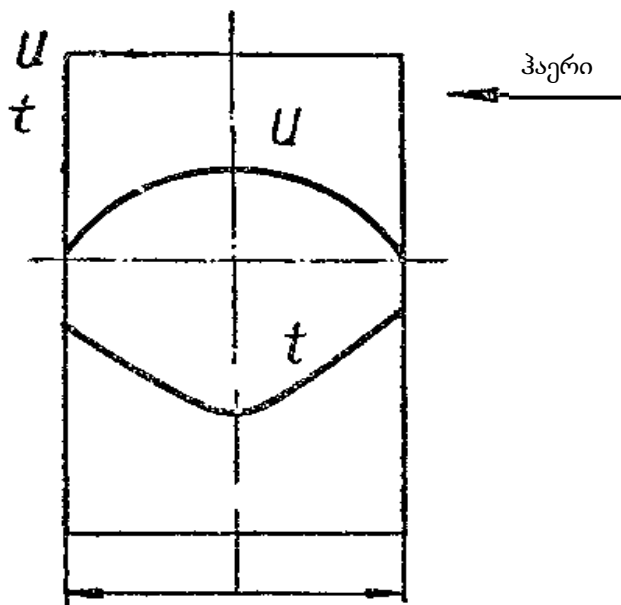
$\frac{dt}{dx}$ – ტემპერატურული გრადიენტი, °/მ.

ტენის ორი ნაკადი, გამოწვეული ტენის კონცენტრაციის გრადიენტით ∇_c და ტემპერატურის გრადიენტით ∇_t , შეიძლება იყოს სხვადასხვა მიმართულების. ის ნაკადი, რომელიც მიმართულია ზედაპირისაკენ, აწარმოებს ჩაის მასის ღნობას. მეორე ნაკადი, რომელიც მიმართულია ცენტრისაკენ და ამუხრუჭებს ღნობის სინქარეს. ჩაის მასაში გადატანილი ტენის რაოდენობა გამოისახება ამ ორი ნაკადის ვექტორული ჯამით.

კონვექციურ საღნობში სითბო გადადის ჰაერიდან ჩაის მასისაკენ. ჩაის ფოთლის ზედაპირის ტემპერატურა აღემატება მისი ცენტრის ტემპერატურას. ამ ტემპერატურათა სხვაობის ზეგავლენით წარმოიშობა

თბური ნაკადი, რომელიც მიმართულია ზედაპირიდან ცენტრისაკენ. ამ მიმართულებით ხდება ტენის გადატანა თერმოტენგამტარობის ზეგავლენით. ამ შემთხვევაში ჩაის მასაში წარმოიშობა ტენის ორი ნაკადი: პირველი – მიმართული ცენტრიდან ზედაპირისაკენ, გამოწვეული ტენის კონცენტრაციათა სხვაობით, და მეორე – ზედაპირიდან ცენტრისაკენ, გამოწვეული ტემპერატურათა სხვაობით.

ნახ. 7-ზე მოცემულია ტენიანობის და ტემპერატურის განაწილების მრუდები კონვექციური ღნობის დროს.



ნახ. 7. კონვექციური ღნობისათვის ტენის და ტემპერატურის განაწილების მრუდები (τ დროისათვის)

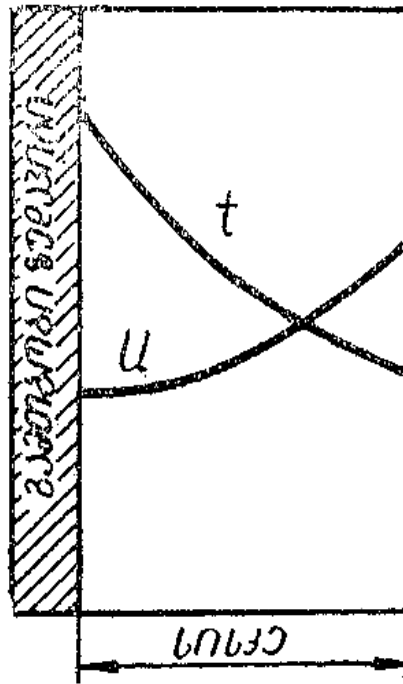
კონვექციური ღნობისათვის ჩაის მასაში გადატანილი ტენის რაოდენობა იქნება

$$G = G_c - G_t \text{ კგ.} \quad (9)$$

ანალოგიურ დამოკიდებულებას ადგილი აქვს, როდესაც სქელ შრეში ღნობა მიმდინარეობს ინფრაწითელი სხივებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ კვების პროდუქტების ღნობის დროს გამოიყენება შედარებით დაბალი ტემპერატურები, რის გამოც თერმოდინამიკის გავლენა უმნიშვნელოა.

კონტაქტური და მაღალი სიხშირის დენით ღნობის შემთხვევაში ტენიანობა მეტია ჩაის მასის ზედაპირზე, ვიდრე ცენტრში, ტემპერატურა კი ზედაპირთან შედარებით მეტია ცენტრში (ნახ. 8).



ნახ. 8. კონტაქტური ღნობისათვის ტენის და ტემპერატურის განაწილების მრუდები (τ დროისათვის)

ამ შემთხვევაში ღნობა წარმოებს ტემპერატურული გრადიენტის ზეგავლენით, ტენის გრადიენტი ამუხრუჭებს მას. გადატანილი ტენის რაოდენობა იქნება

$$G = G_t - G_c \text{ კგ.} \quad (10)$$

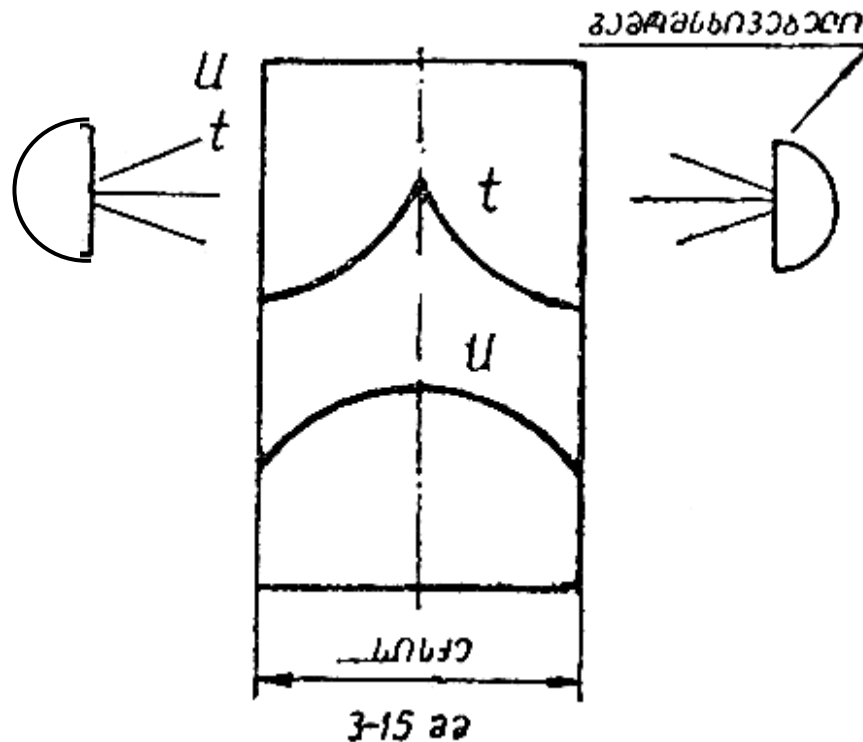
ინფრაწითელი სხივებით თხელი 3-15 მმ სისქის მასალის ღნობის დროს ტემპერატურისა და ტენიანობის სხვაობა ერთნაირად არის მიმართული ცენტრიდან ზედაპირისაკენ (ნახ. 9). ამიტომ ტენის ორი ნაკადი ერთი მიმართულებისაა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ტენის გადატანას და აჩქარებს ღნობას [1]. გადატანილი ტენის რაოდენობა იქნება

$$G = G_r + G_v \text{ კგ.} \quad (11)$$

როდესაც ჩაის მასის ტემპერატურა 60° -ზე ნაკლებია, ორთქლის ნაკადი თითქმის არ წარმოიქმნება. ამ შემთხვევაში ტენის ნაკადი იანგარიშება ტენგამტარობის და თერმოტენგამტარობის ფორმულების (7) და (8) გამოყენებით.

ზოგჯერ ტენის გადატანისას ხდება სასარგებლო ხსნადი ნაერთების გამოტანა ჩაის მასის შიგა ნაწილებიდან. ჩვენს

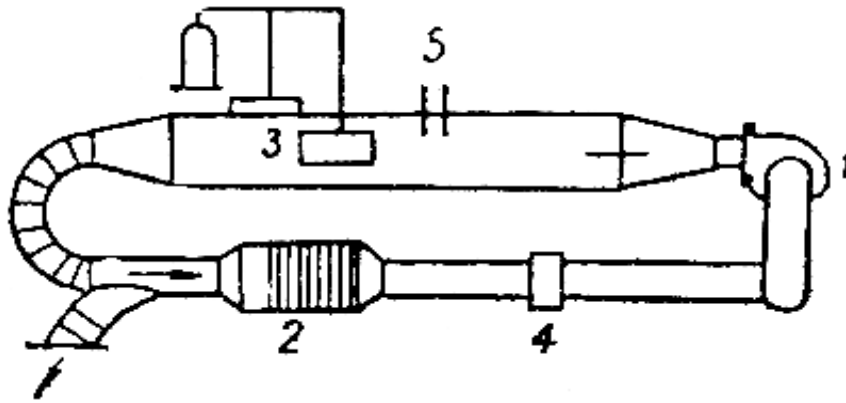
შემთხვევაში, ჩაის ღნობის დროს, ხსნადი ნივთიერებების გამოტანა ზედაპირზე სასარგებლოა, რადგან ეს აადვილებს მათ ხსნადობას ნაყენის დამზადების დროს.



ნახ. 9. რადიაციული ღნობისათვის (≤ 15 მმ) ტენის და ტემპერატურის მრუდები (τ დროისათვის)

განხილული დამოკიდებულებანი საშუალებას გვაძლევს ნათლად წარმოვიდგინოთ ღნობის პროცესების არსი და ტექნოლოგიური მოთხოვნების მიხედვით შევარჩიოთ ღნობის ოპტიმალური პირობები.

ღნობის კინეტიკის შესწავლისათვის იყენებენ საცდელ დანადგარს (ნახ. 10), რომელშიაც სასწორზე მოთავსებულია გასაშრობი მასალა. მასალაზე მოქმედებს განსაზღვრული პარამეტრების მქონე ჰაერის ნაკადი. ჰაერის გათბობა წარმოებს ელექტროგამახურებელში, მისი დატენიანება კი ხორციელდება ორთლის უშუალო დამატებით. ჰაერის პარამეტრების გაზომვისათვის დანადგარი აღჭურვილია მშრალი და სველი თერმომეტრებით. ჰაერის წონითი რაოდენობა ბევრად ადვილად განისაზღვრება ჩაის მასის წონას, ამიტომ პრაქტიკულად ღნობა მიმდინარეობს მუდმივი პარამეტრების ჰაერით. განსაზღვრული დროის შემდეგ წონიან ჩაის მასას და აგებენ მრუდს კოორდინატებში ჩაის მასის ტენიანობა – დრო.

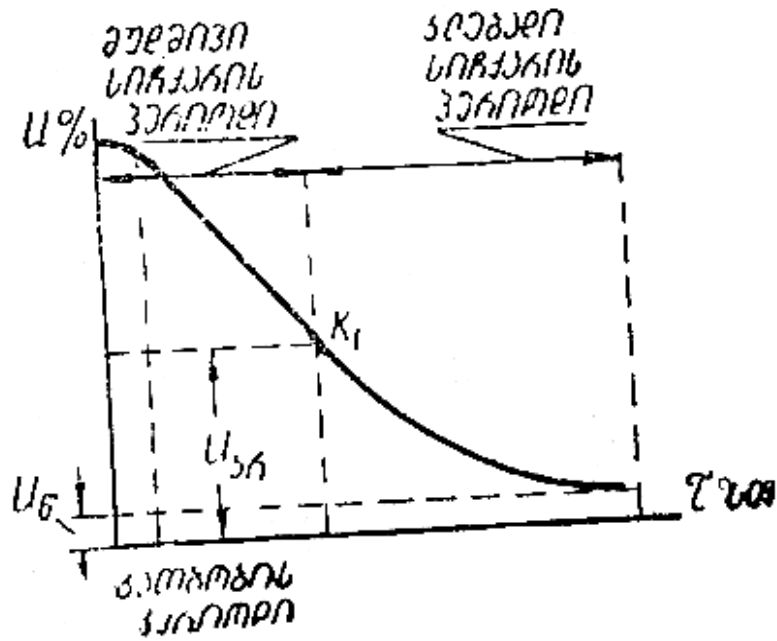


ნახ. 10. ლაბორატორიული საღნობის სქემა:
 1 – ვენტილატორი; 2 – ელექტროკალორიფერი; 3 – მოსაღნობი
 ჩაის მასა; 4 – კონდენსატორი; 5 სველი და მშრალი თერმომეტრები

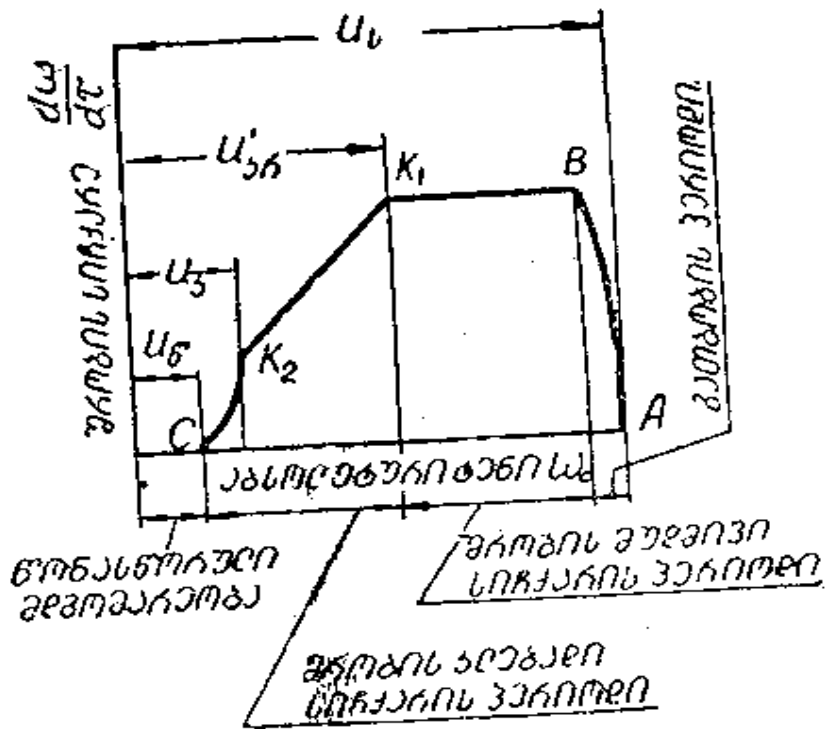
ჩაის მასის ღნობის მრუდიდან (ნახ. 11) ჩანს, რომ დასაწყისში მოკლე დროის განმავლობაში ტენიანობის ცვლილება გამოისახება მრუდით. ეს არის ჩაის მასის გათბობის პერიოდი. ამ პერიოდში ჩაის მასის ტემპერატურა აღწევს სველი თერმომეტრის ტემპერატურას. ამის შემდეგ ადგილი აქვს სწორხაზოვან დამოკიდებულებას და ბოლო მონაკვეთზე ის კვლავ მრუდისებურია. პროცესი მთავრდება, როდესაც ჩაის მასის ტენიანობა აღწევს წონასწორულ მნიშვნელობას. თუ ჩავატარებთ ამ მრუდის გრაფიკულ დიფერენცირებას, ე.ი. სხვადასხვა წერტილებში განვსაზღვრავთ მრუდის დახრის კუთხის ტანგენსს, მივიღებთ $tg\alpha = \frac{dU}{d\tau}$ %/სთ, რომელიც წარმოადგენს ღნობის სიჩქარეს განხილულ წერტილში. ამ მონაცემების საფუძველზე ავაგოთ ღნობის სიჩქარის მრუდი (ნახ. 12).

$$\frac{dU}{d\tau} = f(U) \%/\text{სთ.}$$

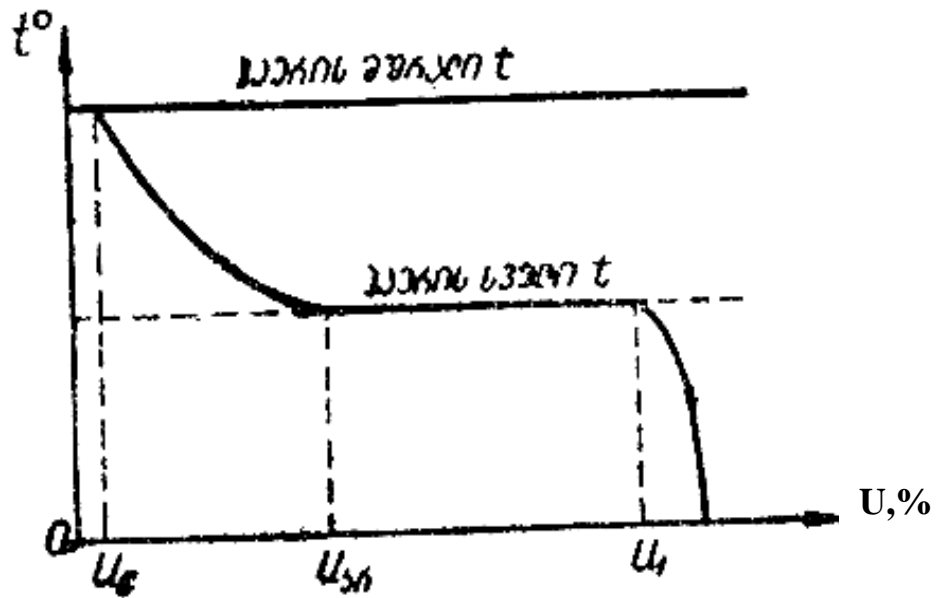
როგორც ვხედავთ, გათბობის პერიოდს შეეფარდება დახრილი ხაზი AB , რის შემდეგაც მოდის ჰორიზონტალური მონაკვეთი BK_1 . ამ მონაკვეთს მუდმივი სიჩქარის პერიოდი ეწოდება, K_1 წერტილს კი კრიტიკული წერტილი. ჩაის მასისათვის კრიტიკული ტენიანობა, რომელიც შეერთება ამ წერტილს, არის U_p . შემდეგი მონაკვეთი K_1K_2 მიგვითითებენ ღნობის სიჩქარის შემცირებაზე. მას ღნობის კლებადი პერიოდი ეწოდება. K_1 წერტილის შემდეგ ღნობის სიჩქარის კლება წარმოებს მრუდის მიხედვით. K_2 -ს მეორე კრიტიკული წერტილი ეწოდება.



ნახ. 11. წახს მახს ღნობის მრუდი



ნახ. 12. ღნობის სიჩქარის მრუდი



ნახ. 13. მოსაღობი ჩაის მასის ტემპერატურული მრუდი

2.1.2. მუდმივი სიჩქარის პერიოდი

ცხელი ჰაერი როდესაც შეხებაში მოდის ტენიან ჩაის მასასთან, იწყება ტენის აორთქლება მისი ზედაპირიდან, წარმოქმნილი ორთქლი დიფუნდირდება ჰაერის სასაზღვრო ლამინარულ შრეში – ჩაის ღუეის აპკში და გადადის გარემოში. წარმოიშობა ტენის კონცენტრაციათა სხვაობა, ტენის გრადიენტი ∇U , რის შედეგადაც ტენი იწყებს გადაადგილებას ცენტრიდან ზედაპირისაკენ. სანამ ტენი საკმარისი რაოდენობით მოდის შიგა შრეებიდან ზედაპირზე, სხეულის ზედაპირი რჩება სველი. ამ პერიოდში მასალის ტემპერატურა უახლოვდება სველი თერმომეტრის ტემპერატურას. ვინაიდან მასალის ზედაპირი სველია, მისი წყლის ორთქლის წნევა უდრის ნაჯერი წყლის ორთქლის წნევას იმავე ტემპერატურაზე. ვინაიდან ღნობის დროს ჰაერის სიჭარბის გამო მისი ტენშემცველობა და, მაშასადამე, ორთქლის წნევა უმნიშვნელოდ იცვლება, ღნობის სიჩქარე ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას. ამ შემთხვევაში აორთქლების სიჩქარე გამოისახება ფორმულით:

$$N = \frac{W}{F \cdot \tau} = \beta(P_a - P_\infty) \text{ კგ/მ}^2\text{სთ}, \quad (11)$$

სადაც W არის აორთქლებული წყალი, კგ;

F – აორთქლების ზედაპირი მ²;

τ – დრო, სთ;

P_a – წყლის ორთქლის დრეკადობა მასალის ზედაპირზე მმ ვ.წყ. სვ. ზედაპირის ტემპერატურა უდრის ჰაერის სველი თერმომეტრის ტემპერატურას, ამიტომ $P_a = P_6 t_{სვ}$ მნიშვნელობისათვის;

β – აორთქლების კოეფიციენტი კგ/მ² სთ მმ. ვ. წყ. სვ.

ჰაერიდან მასალისათვის გადაცემული სითბოს საფუძველზე.

$$Q = \alpha(t_a - t_{სვ})F \cdot \tau \text{ კკალ,} \quad (12)$$

აქ Q არის გადაცემული სითბოს რაოდენობა კკალ;

t_a – ჰაერის ტემპერატურა;

$t_{სვ}$ – ჰაერის სველი თერმომეტრის ტემპერატურა, რომელიც ტოლია მასალის ზედაპირის ტემპერატურისა;

α – თბოგადაცემის კოეფიციენტი კკალ.მ² სთ გრად.

ვინაიდან ღნობის პირველ პერიოდში $t_{აბ} = t_{სვ} = const$, მთელი მიღებული სითბო იხარჯება ჩაის მასიდან ტენის აორთქლებლად, ამიტომ ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{W}{F \cdot \tau} = \frac{Q}{r_0 \cdot F \cdot \tau} = \frac{\alpha}{r_0}(t_a - t_{სვ}) - \beta(P_a - P_0) \text{ კგ/მ}^2\text{სთ,} \quad (13)$$

სადაც r_0 არის აორთქლების ფარული სითბო კკალ/კგ.

თბოგადაცემის და აორთქლების კოეფიციენტების განსაზღვრა წარმოებს ექსპერიმენტულად მსგავსების თეორიის საფუძველზე, შედეგების კრიტერიალური გამოსახვით. (13) განტოლებიდან ჩანს, რომ ერთი და იგივე ფაქტორები ერთნაირად უნდა მოქმედებდნენ α და β მნიშვნელობებზე.

ექსპერიმენტულად ნაპოვნია, რომ

$$\alpha = 21(V\gamma)^{0,8} \text{ კკალ/მ}^2 \text{ სთ } ^\circ\text{C,} \quad (14)$$

$$\beta = 0,0745(V\gamma)^{0,8} \text{ კგ/მ}^2 \text{ სთ მმ ვ. წყ. სვ.} \quad (15)$$

სადაც V არის ჰაერის სიჩქარე მ/წმ;

γ – ჰაერის კუთრი წონა კგ/მ³.

ღნობის პირველი პერიოდის სიჩქარე α და β მნიშვნელობების განტოლებაში ჩასმის იქნება:

$$N = \frac{21}{r_0} (V\gamma)^{0,8} (t_a - t_{b3}) = 0,745 (V\gamma)^{0,8} (P_a - P_o) \text{ კგ/მ}^2 \text{ სთ.} \quad (16)$$

ღნობის სიჩქარის ფორმულა მიგვითითებს, თუ რა ფაქტორები მოქმედებენ ამ პერიოდში პროცესის მსვლელობაზე. რაც უფრო მეტია ჩაის ფოთლის კუთრი ზედაპირი, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს ღნობა. ღნობის სიჩქარე იზრდება ჰაერის ღნობის პოტენციალის გადიდებით, ე.ი. ტემპერატურის და სიჩქარის გაზრდით და ფარდობითი ტენიანობის შემცირებით. ზემოთ მოყვანილი ფორმულის გამოყენება რთულდება იმ გარემოებით, რომ ძნელია მასალის რეალური ზედაპირის განსაზღვრა, რადგან ცდებმა ცხადყვეს, რომ ფაქტიური ზედაპირი განსხვავდება გეომეტრიული ზედაპირისაგან, არამედ მასალის შიგნით (განსაზღვრულ სიღრმეზე), ე.ი. წარმოიშვება აორთქლების ზონა.

ჩვეულებრივად ღნობის ხანგრძლიობას საზღვრავენ ექსპერიმენტულად, მიღებულ შედეგებს გამოსახავენ ემპირიული ფორმულით:

$$\tau_1 = \frac{1}{K} \ln \frac{U_1 - U_{კრ}}{U_{კრ} - U_{წ}} \text{ სთ,} \quad (17)$$

სადაც K – არის ღნობის სიჩქარის მუდმივა 1/სთ;

U_1 – მასალის საწყისი ტენიანობა;

$U_{კრ}$ – კრიტიკული ტენიანობა;

$U_{წ}$ – წონასწორული ტენიანობა

K მნიშვნელობის დადგენა საშუალებას გვაძლევს გავიანგარიშოთ ღნობის ხანგრძლიობა ანალოგიურ პირობებში, მაგრამ ჩაის მასის სხვა ტენის შემცველობებისათვის.

2.1.3. კლებადი სიჩქარის პერიოდი

ჩაის მასის ტენიანობა როდესაც მიაღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას, იწყება ღნობის მეორე პერიოდი (ხაზი K_1C ნახ. 12-ზე). ამ პერიოდში შიგა შრეებიდან ზედაპირზე გამოსული ტენი ნაკლებია აორთქლებულზე. ზედაპირი რჩება და წარმოიშვება მშრალი ზონები –

„კუნძულები“. მასალის მშრალი ნივთიერების მიმზიდველობის ძალების ზეგავლენით ორთქლის პარციალური წნევა ჩაის ფოთლის ზედაპირზე ხდება წონასწორულზე ნაკლები. ღნობის სიჩქარე იწყებს შემცირებას, ჩაის მასის ტემპერატურა იზრდება. პროცესის ბოლოს, როდესაც ჩაის მასის ტენიანობა მიაღწევს წონასწორულ მნიშვნელობას და ღნობის სიჩქარე $\frac{dU}{d\tau} = 0$, მისი ტემპერატურა გაუტოლდება ჰაერის ტემპერატურას (ნახ. 13). წერტილი K_2 მიგვითითებს აორთქლების ზედაპირის ჩაღრმავებაზე. K_2C მრუდის სახე დამოკიდებულია ჩაის ფოთოლსა და ტენს შორის არსებულ კავშირზე. ამ პერიოდში ღნობის სიჩქარე განისაზღვრება ტენგამტარობით და თერმოტენგამტარობით, ე.ი. ტემპერატურისა და ტენის გრადიენტების მნიშვნელობებით და მათი მიმართულებებით. ტენის ნაკადი დამოკიდებულია აგრეთვე ტერგამტარობის და თერმოტენგამტარობის კერძო კოეფიციენტების მნიშვნელობაზე. ამ კოეფიციენტების განსაზღვრა დიდ სიძნელეს წარმოადგენს. ამიტომ ამ პროცესის მათემატიკური აღწერა ძალიან ძნელია. ეს საკითხი დრმად არის დამუშავებული ა. ლიკოვისა და მისი სკოლის მიერ.

ამ პერიოდის ღნობის სიჩქარე ძირითადად დამოკიდებულია ჩაის მასის სისქეზე და ტემპერატურაზე. გ. სარავალოსის და ს. შარმას ექსპერიმენტებმა დაადგინეს, რომ ღნობის ხანგრძლიობა უკუპროპორციულია ჩაის მასის ტემპერატურისა და პროპორციულია ჩაის მასის შრის სისქის კვადრატისა.

2.1.4. ტენიან ჩაის მასაში სითბოს და ტენის გადატანის თეორია

ტენიან სხეულში ტენის და სითბოს გადატანის თეორია ჩამოაყალიბა აკადემიკოსმა ა. ლიკოვმა. მან ტენის გადატანის მოვლენას მიუყენა სითბოს გადატანის აღწერის ცნებები და მეთოდები და ამით საფუძველი დაუდო გადატანის მოვლენების ზოგად თერმოდინამიკას. ეს მეთოდი ძალზე ნაყოფიერია, რადგან ის საშუალებას გვაძლევს სითბოს და ტენის გადატანა აღვწეროთ ერთი და იმავე წარმოდგენების საფუძველზე.

ა. ლიკოვის თეორიას საფუძვლად უდევს გადატანის პოტენციალის ცნება. ისევე როგორც სითხის ნაკადის პოტენციალს წარმოადგენს ტემპერატურა, ჩაის მასაში ტენის გადატანის პოტენციალის – მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მდგომარეობაში იმყოფება ტენი ჩაის მასაში. ადსორბირებული ტენი ჩაის მასაში გადაადგილდება ორთქლის სახით და მისი გადატანის პოტენციალი არის ორთქლის პარციალური წნევა. კაპილარული ტენი გადაადგილდება სითხის ან ორთქლის სახით. პირველ შემთხვევაში გადატანის პოტენციალი იქნება კაპილარული პოტენციალი, მეორე შემთხვევაში – ორთქლის წნევა, ოსმოსური ტენი ძირითადად გადაადგილდება სითხის სახით. მისი გადატანის პოტენციალი იქნება ოსმოსური წნევა.

დადგენილია, რომ მცირე ტენშემცველობისას ტენი ჩაის ფოთოლში მოძრაობს ძირითადად ორთქლის სახით. დიდი ტენიანობის შემთხვევაში ტენი ნაწილობრივ მოძრაობს სითხის სახით (აორთქლების ზონამდე) და ნაწილობრივ ორთქლის სახით (აორთქლების ზონიდან გარემოში). აორთქლების ზონა განლაგებულია ჩაის ფოთლის ზედაპირის მახლობლად.

სითხის და ორთქლის გადატანა ჩაის მასაში წარმოებს პოტენციალის დიდი მნიშვნელობიდან მისი ნაკლები მნიშვნელობისკენ, ე.ი. ტენის ნაკადი და პოტენციალის გრადიენტი საწინააღმდეგოდ არის მიმართული. სითხის სახით ტენის გადატანის ძირითადი კანონი გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$q'_v = -\lambda'_v \cdot \nabla \theta_v \text{ კვ/მ}^2\text{სთ}, \quad (18)$$

სადაც q'_v – არის ტენის ნაკადი (სითხის სახით) კვ/მ²სთ;

λ'_v – ტენგამტარობის კოეფიციენტი (სითხის სახით) კვ/მ²სთ, პოტენციალის ერთეული;

$\nabla \theta_v$ – ტენის გადატანის პოტენციალის გრადიენტი – პოტენციალის ერთეულის ცვლილება 1 მ მანძილზე – პოტ. ერთ/მ. ის ახასიათებს პოტენციალის ცვლილების ინტენსივობას სივრცეში, იზოპოტენციალური ზედაპირის ნორმალის მიმართულებით.

ტენის გადატანის პოტენციალის გრადიენტი $\nabla \theta$ ანალოგიურია ტემპერატურის გრადიენტის ∇t -სი. ის პროპორციულია ორთქლის წნევის

გრადიენტისა (ორთქლისა გადატანის შემთხვევაში) ან კაპილარული პოტენციალის გრადიენტისა (კაპილარული ტენის გადატანა), ან ოსმოსური წნევის გრადიენტის (ოსმოსური ტენის გადატანა). იზოთერმული პირობებისათვის გადატანის პოტენციალი არის ტენშემცველობის ცალსახა ფუნქცია, ამიტომ

$$\nabla \theta_v = \frac{1}{C'} \nabla U. \quad (19)$$

აქ C' არის სხეულის საშუალო კუთრი ტენტევადობა კგ ტენი/კგ მშრ. ნივთ. ერთ. პოტენც. ანალოგიურად თბოტევადობისა, სხეულის კუთრი ტენტევადობა გვიჩვენებს თუ რა რაოდენობის ტენი (კგ/კგ მშრალ ნივთიერებაზე) უნდა შეიძინოს ან დაკარგოს სველმა სხეულმა, რომ მისი გადატანის პოტენციალის მნიშვნელობა გაიზარდოს ან შემცირდეს ერთი ერთეულით.

დამოკიდებულება (19) მსგავსია დამოკიდებულების, რომელიც არსებობს თბოშემცველობასა და ტემპერატურას (თბოგადატანის პოტენციალი) შორის

$$J = C \cdot t; \quad \nabla t = \frac{1}{C} \nabla J, \quad (20)$$

სადაც J არის თბოშემცველობა, კკალ/კგ;

C – სველი ჩაის მასის კუთრი თბოტევადობა.

(18) განტოლების მარჯვენა ნაწილი გაყოთ და გავამრავლოთ აბსოლუტურად მშრალი სხეულის კუთრ წონაზე γ_0 კგ/მ³ და ჩავსვათ $\nabla \theta_v$ მნიშვნელობა (19) განტოლებიდან, მივიღებთ:

$$q'_v = -\frac{\lambda'_v}{C' \cdot \gamma_G} \cdot \gamma_G \cdot \nabla U = a'_v \cdot \gamma_0 \cdot \nabla U \quad \text{კგ/მ}^2 \text{ სთ}, \quad (21)$$

სადაც $a'_v \frac{\lambda'_v}{C' \cdot \gamma_G}$ არის პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტი, რომელიც

ანალოგიური ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტისა.

$$\Delta - \text{ტენშემცველობის გრადიენტი} \frac{\text{კგ ტენი}}{\text{კგ მშრალ ნივთ. მ}}.$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ტენგამტარობის კანონი, გამოსახული (19) განტოლებით, გამოსაყენებელია მხოლოდ ტენიანობის ველის უწყვეტობის შემთხვევაში. თუ სისტემა შედგება ურთიერთშეხებაში

მეოფი განსხვავებული კუთრი ტენშემცველობის მქონე სხეულებისაგან. მათი შეხების საზღვარზე ადგილი ექნება ტენშემცველობის ნახტომს. ვინაიდან გადატანის პოტენციალი θ დამოკიდებულია არა მარტო ტენშემცველობაზე, არამედ ტემპერატურაზეც,

$$\theta_b = f(U_1 T). \quad (22)$$

ამ შემთხვევაში შეიძლება დავწეროთ:

$$q'_b = -\lambda'_b \nabla \theta_b = -\lambda'_b \left(\frac{\partial \theta_b}{\partial U} \right)_T \cdot \nabla U + \lambda'_b \left(\frac{\partial \theta_b}{\partial T} \right)_U \cdot \nabla T. \quad (23)$$

(23) განტოლების პირველი წევრი გამოსახავს ტენის იზოთერმულ გადატანას მეორე – თერმულ ტენგამტარობას.

განტოლების პირველი წევრი გაავამრავლოთ $\frac{\gamma_0}{\gamma_0}$ -ზე, მეორე $\frac{\gamma_0 \cdot C'}{\gamma_0 \cdot C'}$ -ზე, მივიღებთ:

$$q'_b = \frac{\lambda'_b \cdot \gamma}{\gamma_0} \left(\frac{\partial \theta_b}{\partial U} \right)_T \cdot \nabla U + \frac{\lambda'_b \cdot C' \cdot \gamma_0}{\gamma_0 \cdot C'} \left(\frac{\partial \theta_b}{\partial T} \right)_U \cdot \nabla T. \quad (24)$$

ვინაიდან $\left(\frac{\partial \theta}{\partial U} \right)_T = \frac{1}{C'}$, (24) განტოლების პირველი წევრი მიიღებს

შემდეგ სახეს: $a'_b \cdot \gamma_0 \cdot \nabla U$. მეორე წევრში აღვნიშნოთ

$$\delta_b = C' \left(\frac{\partial \theta_b}{\partial T} \right)_U. \quad (25)$$

δ_b არის თერმოგრადიენტული კოეფიციენტი. ის გვიჩვენებს თუ რა მნიშვნელობის ტენშემცველობის გრადიენტი წარმოიქმნება სხეულში. როდესაც ტემპერატურული გრადიენტი $\nabla T = 1$ -ს, განზომილება არის $1^\circ C$.

δ_b და a_b მნიშვნელობების შეტანით (24) განტოლების მეორე წევრი იქნება:

$$a'_b \cdot \delta_b \cdot \gamma_0 \cdot \nabla T. \quad (26)$$

საბოლოოდ განტოლება (25) დაიწერება:

$$q'_b = -a'_b \cdot \gamma_0 \cdot \nabla U - a'_b \cdot \gamma_0 \cdot \nabla T. \quad (27)$$

ამ განტოლების პირველი წევრი გამოსახავს სითხის იზოთერმულ გადატანას, ტენშემცველობის გრადიენტის ზეგავლენით. მეორე წევრი გამოსახავს სითხის გადატანას ტემპერატურული გრადიენტის ზეგავლენით.

ანალოგიურად შეგვიძლია დავწეროთ ტენის გადატანა ორთქლის სახით

$$q'_0 = -\lambda'_0 \cdot \theta_0, \quad (28)$$

სადაც λ'_0 – არის ორთქლგამტარობის კოეფიციენტი კვ/მ სთ პოტენციალის ერთეული;

θ_0 – ორთქლის გადატანის პოტენციალი.

ორთქლის გადატანის პოტენციალი დამოკიდებულია პროცესის მექანიზმზე და გარემოსთან ზემოქმედების პირობებზე.

დიფუზიური (როდესაც არსების დიამეტრი, რომლებშიც მიმდინარეობს გადატანა, მცირეა მოლეკულების თავისუფალი გარბენის საშუალო სიგრძესთან შედარებით) გადატანის შემთხვევაში

$$\theta_0 = \frac{P}{\sqrt{T}}. \quad (29)$$

დიფუზიური გადატანის შემთხვევაში θ_0 -ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია პროცესის პირობებზე. როდესაც $V = const$ და $S = const$,

$$\theta_0 = P;$$

$$V = const, T = const, \theta_0 = \mu, \quad (30)$$

სადაც μ არის ქიმიური პოტენციალი, რომელიც შეიძლება შევცვალოთ წნევის ლოგარითმის პროპორციული სიდიდით.

ტენის საერთო ნაკადი (სითხე და ორთქლი) უდრის სითხის და ორთქლის ნაკადების ვექტორთა ჯამს

$$q' = q'_2 + q'_0 \text{ კვ/მ}^2\text{სთ}. \quad (31)$$

როდესაც სხეული იმყოფება ჰიგროსკოპულ მდგომარეობაში, წყლის ორთქლის პარციალური წნევის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ტემპერატურასა და ტენშემცველობაზე.

$$P_0 = f(U, t). \quad (32)$$

ამიტომ ორთქლის გადატანის განტოლება (24) შეიძლება გამოვსახოთ (27) მსგავსად, რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$q' = q'_s + q'_0 = -a' \cdot \gamma_0 \nabla U - a' \gamma_0 \delta \nabla t. \quad (33)$$

სამ შემთხვევაში a' და δ ითვალისწინებს ორთქლის და სითხის ერთდროულ გადატანას.

$$a' = a'_b + a'_o; \quad \delta = \frac{a'_o \cdot \delta_o + a'_b \cdot \delta_b}{a'_b + a'_o}.$$

როდესაც სხეულის ტენიანობა აღემატება ჰიგროსკოპულ მნიშვნელობას, წყლის ორთქლის პარციალური წნევა P_3 ფუნქციას მხოლოდ ტემპერატურისა

$$P_o = f(t).$$

მაშინ ორთქლის გადატანა გამოიხატება ამ განტოლებით

$$q'_o = -\lambda'_o \left(\frac{\partial \theta_o}{\partial T} \right) \nabla T. \quad (34)$$

ამგვარად, ზოგად შემთხვევაში ტენის ნაკადის გაანგარიშება უნდა წარმოებდეს (31) განტოლების საშუალებით, რისთვისაც წინასწარ უნდა განისაზღვროს ორთქლის და წყლის ნაკადები ცალ-ცალკე. ამის გასაადვილებლად ა. ლიკოვმა შემოიღო ფაზათა გარდაქმნის კრიტერიუმი.

$$E = \frac{dU_{\text{ფ.}}}{dU}. \quad (35)$$

ეს კრიტერიუმი ახასიათებს ტენშემცველობის ცვლილებას, გამოწვეულს ფაზური გარდაქმნებით (აორთქლება ან კონდენსაცია), შეფარდებულს ტენშემცველობის მთლიან ცვლილებასთან. E იცვლება 0-დან 1-მდე.

როდესაც $E = 0$, ფაზური გარდაქმნებს არა აქვს ადგილი ტენის გადატანა წარმოებს სითხის სახით, როდესაც $E = 1,0$, ტენის ნაკადი გამოწვეულია მხოლოდ ორთქლის სახით, შუალედ პირობებში

$$0 < E < 1,0.$$

ტენის გადატანა წარმოებს როგორც სითხის, ისე ორთქლის სახით. საერთოდ

$$E = f(U, t). \quad (36)$$

ე.ი. სიზიაკოვმა დაამტკიცა, რომ E დამოკიდებულია სხეულის კოორდინატებზე, ე.ი. მისი მნიშვნელობა იცვლება სხეულის სხვადასხვა შრეებში. შ. შეკოლდინმა ექსპერიმენტულად დაადგინა, რომ მასალის ტენიანობის გადიდება იწვევს E -ს შემცირებას და როდესაც U დიდია, E უახლოვდება 0-ს, ე.ი. ამ შემთხვევაში ტენის გადატანა წარმოებს სითხის სახით.

ტენის გადატანის დიფერენციალური განტოლების შესადგენად, ისევე როგორც ჰიდროდინამიკის და სითბოს გავრცელების დიფერენციალური განტოლების შემთხვევაში, გამოვყოთ განხილულ სხეულში მოცულობის ელემენტი dV შემოსაზღვრული ზედაპირით dF და ნივთიერების მუდმივობის კანონის საფუძველზე შევადგინოთ ტენის ბალანსი, მივიღებთ:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \cdot \nabla^2 U + a' \cdot \delta \cdot \nabla^2 t, \quad (37)$$

$$a' = \frac{a'_2}{1-E},$$

სადაც ∇^2 არის ლაპლასის ოპერატორი $\frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2}{\partial Z^2}$. ანალოგიურად დაიწერება სითბოს გადატანის დიფერენციალური განტოლება ტენის და სითბოს ერთდროულად გადატანის გათვალისწინებით

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + E \cdot \frac{r}{C} \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau}, \quad (38)$$

სადაც r არის ტენის ფაზური გარდაქმნის (აორთქლების ან კონდენსაციის) ფარული სითბო;

C – ტენის კუთრი თბოტევადობა;

a – ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი მ²/სთ.

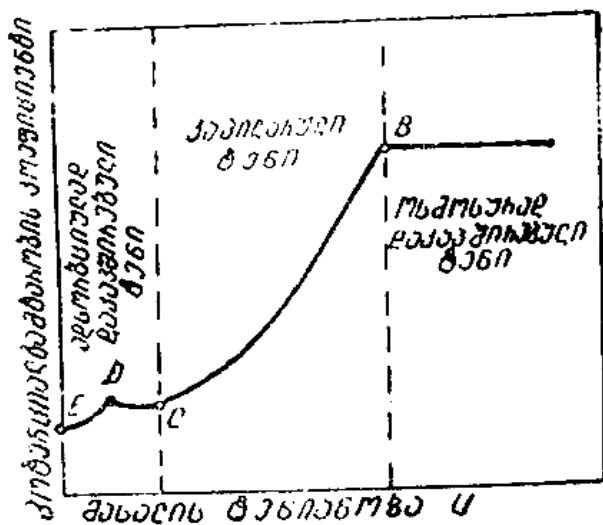
ამ განტოლებების ამოხსნა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დაშვებული იქნება a' , δ და a კოეფიციენტების მუდმივობა.

ამ დაშვებით ა. ლიკოვი და მისი სკოლა ფართო მუშაობას აწარმოებს a' და δ კოეფიციენტების ექსპერიმენტული განსაზღვრისათვის. განვიხილოთ ამ კოეფიციენტების ცვალებადობის კანონზომიერება.

a' არის პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტი. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია სხეულის ტემპერატურასა და ტენშემცველობაზე. a'_0 დამოკიდებულია ტენშემცველობაზე და იმ კავშირებზე, რომლებიც არსებობს ტენსა და სხეულის მშრალ ნივთიერებას შორის. ეს დამოკიდებულება ძალიან რთულია, რადგან სხეულში ერთდროულად წარმოებს სხვადასხვა კავშირში მყოფი ტენის გადატანა.

ნახ. 14-ზე ნაჩვენებია ზოგადი დამოკიდებულება a' და U -ს მნიშვნელობებს შორის.

როდესაც ტენშემცველობა დიდია, a_0 -ს მნიშვნელობა მუდმივია (მონაკვეთი AB). ამ პერიოდში ხდება კაპილარული და ოსმოსური ძალებით დაკავშირებული ტენის გადატანა სითხის სახით. მონაკვეთზე BC ტენის გადატანა ხდება სითბოს და ორთქლის სახით. CD არეში ხდება პოლიმოლეკულური ადსორბციით დაკავშირებული ტენის გადატანა მხოლოდ ორთქლის სახით. DE მონაკვეთზე ხდება ყველაზე უფრო მჭიდროდ მონომოლეკულური ადსორბციით დაკავშირებული ტენის გადატანა. ამ უბანზე მიმდინარეობს ტენის დიფუზია.



ნახ. 14. დამოკიდებულება პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტსა (a') და ჩაის მასის ტენიანობას (U) შორის

a' დამოკიდებულება ტემპერატურაზე გამოიხატება შემდეგი განტოლებით:

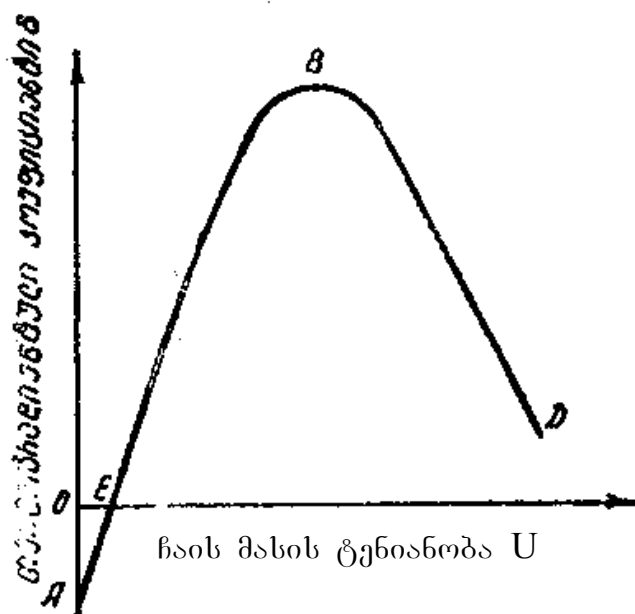
$$a' = a'_0 \cdot T \text{ მ}^2/\text{სთ.} \quad (39)$$

ეს დამოკიდებულება მიგვითითებს იმაზე, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს მოსაღნობო ჩაის მასის ტემპერატურის გაზრდას ტენის შიგა გადატანის ასახქარებლად. როდესაც ტენის გადატანა არ არის იზოთერმული, ადგილი აქვს, როგორც ეს ზემოთ იყოს განმარტებული, თერმოტენგამტარობის წარმოშობას, ამ ნაკადის სიდიდის გასაანგარიშებლად განსაზღვრული უნდა იყოს თერმოტენგამტარობის კოეფიციენტის δ -ს მნიშვნელობა. δ დამოკიდებულია სხეულის ტენიანობაზე. ეს დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ. 15-ზე. როგორც ვხედავთ, ტენშემცველობის შემცირება იწვევს ჯერ δ -ს გაზრდას

(მრუდი DB) და მაქსიმუმის მიღწევის შემდეგ შემცირებას (მრუდი BA). კაპილარულ-ფოროვანი სხეულების მცირე ტენშემცველობისათვის δ ღებულობს უარყოფით მნიშვნელობას, რადგან ამ შემთხვევაში ტენი ორთქლის და ჰაერის ურთიერთდღეუზიის შედეგად გადაადგილდება შებრუნებული მიმართულებით.

ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი

$$a = \frac{\lambda}{C \cdot \gamma} \text{ მ}^2/\text{სთ} \quad (40)$$



ნახ. 15. დამოკიდებულება თერმოგრადიენტულ კოეფიციენტსა (a) და ჩაის მასის ტენიანობას (U) შორის

ადვილად გამოიანგარიშება თბოგამტარობის კოეფიციენტის λ კკალ/მ სთ $^{\circ}$ C, კუთრი თბოტევადობის C კკალ/კგ და კუთრი წონის γ კგ/მ 3 მნიშვნელობების ჩასმით (40) განტოლებაში. კვების პროდუქტებისათვის ამ სიდიდეების მნიშვნელობა მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში.

როგორც აღნიშნეთ, აღიკოვმა ზოგიერთი კერძო შემთხვევისათვის გადაწვიტა დიფერენციალური განტოლება (36). განვიხილოთ მის მიერ მიღებული შედეგები უსასრულო ფირფიტისათვის.

ამ ამოცანის გადაწვეტისას მან მიიღო შემდეგი დაშვება.

ა) ტენი მოძრაობს მხოლოდ ერთი მიმართულებით ცენტრიდან ზედაპირამდე და შემდეგ გარემოში და ტენგამტარობის კოეფიციენტი a' მუდმივია.

ბ) თერმოტენგამტარობა გავლენას არ ახდენს ტენის გადატანაზე. ჰაერის ღნობის შემთხვევაში ეს უკანასკნელი დაშვება გამართლებულია იმით, რომ საწყის პერიოდში ∇T -ს მნიშვნელობა მცირეა. ბოლო პერიოდში კი τ -ს მნიშვნელობა არ არის დიდი; ამიტომ ∇T -ს ზეგავლენით გადატანილი ტენის რაოდენობა უმნიშვნელოა. მაშინ განტოლება (36) მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial X^2}. \quad (41)$$

განვიხილოთ ამ განტოლების ამოხსნის შედეგები.

პირველი პერიოდში, ღნობის დაწყებისას ($\tau = 0$), ტენი თანაბრად არის განაწილებული ჩაის ფოთოლში. ამიტომ საწყისი პირობები ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$U(X, Y, Z, 0) = U_0 = \text{const}. \quad (42)$$

დავწეროთ ტენის ბალანსის განტოლება ჩაის ფოთლის ზედაპირისათვის: ზედაპირზე შემოსული ტენი უდრის ზედაპირიდან აორთქლებულ ტენს. (12) და (22) ფორმულების გამოყენებით მივიღებთ:

$$q_{\text{ფ}} = a' \cdot \gamma_0 \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)_F = \beta(P_a - P_s). \quad (43)$$

მუდმივი სიჩქარის პერიოდში

$$q_{\text{ფ}} = \text{const} \quad \text{და} \quad a' = \text{const}.$$

ამ პირობებისათვის ა. ლიკოვმა მიიღო შემდეგი განტოლება:

$$U = U_1 - \frac{q_{\text{ფ}}}{R \cdot \gamma_0} \left(\tau - \frac{R^2 - 3X^2}{6a'} \right). \quad (44)$$

სადაც U არის ჩაის ფოთლის ტენშემცველობა;

R – ჩაის ფოთლის განმსაზღვრელი გეომეტრიული ზომა მ (ფირფიტის სისქის ნახევარი).

ამ განტოლებაში X -ის და τ -ს ჩასმით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფირფიტის ყოველი წერტილის ტენშემცველობა დროის ყოველ მომენტში.

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ ჩაის ფოთლის ტენშემცველობა სწორხაზოვანი ფუნქცია დროისა და რომ ტენის განაწილება ფირფიტაში გამოისახება პარაბოლით.

2.1.5. ღნობის რეჟიმების შერჩევა

ჩაის მასის ღნობის რეჟიმების და საღნობი მანქანის კონსტრუქციის შერჩევას გათვალისწინებული უნდა იყოს ჩაის მასის თავისებურება. ჩაის მასა წარმოადგენს კოლოიდურ კაპილარულ-ფოროვან სხეულებს. ისინი შეიცავენ ჰიდროფილურ, ტენთან მტკიცე კავშირში მყოფ მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს – სახამებელს, ნახშირწყლებს, ცილებს და სხვა. ღნობის დროს ჩაის მასა – კარგავს ტენის 15-20%-ს.

ღნობის დროს ჩაის მასამ მაქსიმალურად უნდა შეინარჩუნოს თავისი ბუნებრივი ღირსებები – გემო, სურნელები, ვიტამინების შემცველობა და სხვა. ღნობის დროს ჩაის მასაში არ უნდა მოხდეს არასასურველი ცვლილებები. აღნიშნულ შემთხვევაში ღნობას აქვს ტექნოლოგიური დანიშნულება, რათა ჩაის მასა მოამზადოს შემდგომი დამუშავებისათვის. ჩაის მწვანე ფოთლის ღნობა ამზადებს მას გრეხისათვის. მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით ჩაის მასაში მიმდინარეობს განსაზღვრული ბიოქიმიური ცვლილებები, რომლებიც აძლევს მას დამახასიათებელ თვისებებს, ღნობის პროცესის რეჟიმის და საღნობის კონსტრუქციის შერჩევის დროს საჭიროა გაითვალისწინოთ ყველა ზემოთ აღნიშნული პირობა.

ღნობის პროცესის მთავარი ფაქტორებია:

1. საღნობი აგენტის (ჰაერის) ტემპერატურა, სითბური ნაკადის ინტენსივობა და აგრეთვე თვით ჩაის მასის ტემპერატურა;

2. ჩაის დუყის და ფოთლების აღნაგობა, მისი ზედაპირის ფართობი და ტენის კავშირის სახე ჩაის დუყებში, კვირტებში, ღეროში და ფოთოლში;

3. საღნობი აგენტის (ჰაერის) ღნობის პოტენციალი, მისი ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა, სიჩქარე, მიმართულება და სხვა;

რასაკვირველია, ეკონომიკური თვალსაზრისით ხელსაყრელია ღნობის ჩატარება მაღალი სიჩქარით, მაგრამ ზემოთ აღნიშნული მიზეზების გამო ეს ყოველთვის არ არის დასაშვები, ღნობის პირველ პერიოდში, როდესაც ჩაის ფოთლის ზედაპირზე მყარდება სველი თერმომეტრის ტემპერატურა, კონვექციური თბოგადაცემის შემთხვევაში მისაღებია თბილი ჰაერის გამოყენება პარალელური დენით. ჩაის მასის თბომდეგობის მაჩვენებლად მიღებულია მისი გათბობის მაქსიმალური

დასაშვები ტემპერატურა, რომელიც ცილების დენატურაციის ტემპერატურაზე (223-238°K) დაბალია. გარდა ჩაის მასის ტემპერატურის ცილების დენატურაციაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ტემპერატურის ზრდის სიჩქარეც და მაქსიმალური ტემპერატურის ზემოქმედების ხანგრძლივობა. ჩაის მასის თერმოგამძლეობაზე დადებითად მოქმედებს შუალედი გაცივება. დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე მომდნარი ჩაის ფოთლის ტენიანობას შავი ჩაის წარმოების დროს, როდესაც ის შეიცავს ფერმენტებს და სასურველია შენარჩუნებული იყოს მათი აქტივობა. განსაზღვრული ტენიანობის ქვევით პროდუქტების ფერმენტები კარგავენ აღდგენის უნარს.

2.1.6. ღნობა მღუღარე შრეში. აერშადრევენული საღნობი

უკანასკნელ წლებში კვების მრეწველობაში ფართო გამოყენებას პოულობს ე.წ. პროცესები მღუღარე შრეში. ამ პროცესის დროს მოსაღნობი ჩაის ფოთოლი იმყოფება ჰაერის აღმავალ ნაკადში ნახევრად შეწონილ მდგომარეობაში. მათი უმრავლესობა განცალკევებულია ერთმანეთისაგან და იმყოფება ინტენსიურ მოძრაობაში, რომელიც მოგვაგონებს დუდილს. ამავე დროს ჩაის ფოთოლი არ წაიტაცებიან ჰაერის მიერ, როგორც ამას ადგილი აქვს პნემოსაშრობებში.

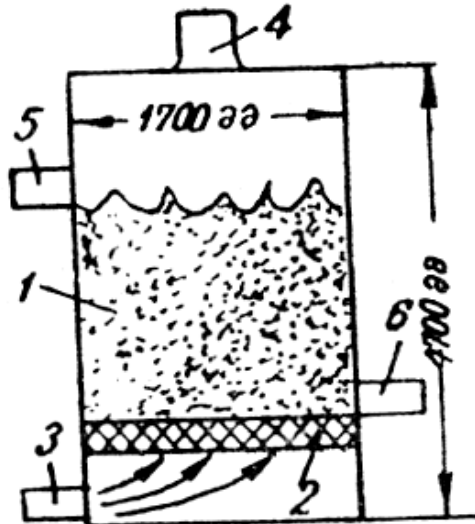
არამედ, დასამუშავებელი ჩაის მასა იმყოფებიან ცრუ თხევად მდგომარეობაში. დუყების ასეთი მდგომარეობა მნიშვნელოვნად ზრდის მათი შეხების ზედაპირს ჰაერთან და აჩქარებს ღნობის პროცესს.

ღნობა მღუღარე შრეში ხასიათდება დიდი ინტენსივობით. აორთქლებული ტენის რაოდენობა აღწევს რამდენიმე ასეულ კილოგრამს საღნობის ერთ მ³-ზე საათში. ის საშუალებას გვაძლევს მოსაღნობი პროდუქტი აპარატში დავტოვოთ საჭირო დროის განმავლობაში. ჩვეულებრივად ღნობის ხანგრძლივობა არის რამოდენიმე წუთი. გარდა ამისა, ამ მეთოდის უპირატესობა იმაშია, რომ ჩაის მასა იძენს დენადობის უნარს, რაც საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ ღნობის უწყვეტი პროცესი [2, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 33].

„მღუღარე შრის“ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს დიდი ჰიდრაულიკური წინაღობა. 300-400 მმ წყ.სვ., რაც იწვევს ელექტროენერჯის

შედარებით დიდ ხარჯს ჰაერის მისაწოდებელი კენტილატორის მუშაობისათვის.

მღუღარე შრის პირობებში საღნობი მანქანები პერსპექტიულია ჩაის მასის მოსაღნობად. მღუღარე შრით მომუშავე უწყვეტი ქმედების საღნობის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 16-ზე.



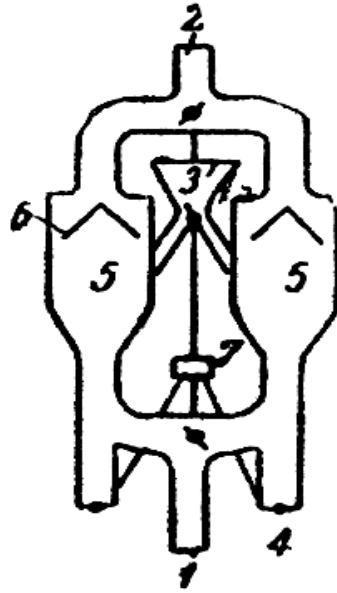
ნახ. 16. უწყვეტი ქმედების საღნობი მანქანის სქემა მღუღარე შრით:

- 1 – დუღილში მყოფი ჩაის მასის შრე; 2 – ბადე; 3 – აირების შესვლა; 4 – აირების გამოსვლა; 5 – ჩაის მასის შესასვლელი; 6 – ჩაის მასის გამოსასვლელი.

პერიოდული ქმედების საღნობი მანქანის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 17-ზე. განვიხილოთ მოსაღნობი ჩაის მასა, რომლებიც მოთავსებულია ბადეზე. ამ შრეში გავატაროთ ჰაერი. თავდაპირველად, სანამ ჰაერის სიჩქარე მცირეა, ნაწილაკები უძრავია. ჰაერის სიჩქარის ზრდა იწვევს შრის წინაღობის გადიდებას.

განსაზღვრული სიჩქარის შემდეგ შრის სიმაღლეზე H_0 იწყებს გადიდებას და როდესაც სიჩქარე მიაღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას $V_{კრ}$, წინაღობა გაუთანასწორდება ბადის 1 მ²-ზე მოთავსებული მასალის წონას, ფოთლები იწყებენ მოძრაობას, ცილდებიან ერთმანეთს, იძენენ ცრუ თხევად მდგომარეობას, შრე იმყოფებიან მღუღარე მდგომარეობაში. სიჩქარის შემდგომი ზრდა არ იწვევს წინაღობის გაზრდას, რაც აიხსნება შრის თავისუფალი კვეთის სათანადო გაზრდით. როდესაც სიჩქარე მიაღწევს მეორე კრიტიკულ მნიშვნელობას, როდესაც

ცალკეული დუყების და მისი ელემენტების წინაღობა გაუთანასწორდება თავის წონას, ხდება მათი წატაცება [73, 74].



ნახ. 17. ორმაგი პერიოდული ქმედების საშრობი მანქანის სქემა ჩაის მასის მდულარე შრით: 1 – აირების შესასვლელი; 2 – აირების გამოსასვლელი; 3 – ჩაის მასის შესასვლელი; 4 – ჩაის მასის გამოსასვლელი; 5 – საღნობი საკნები; 6 – ფარები წატაცებული ნაწილაკების გამოსაყოფად.

ჰაერის ფიქტიურ სიჩქარეს V'_0 (გაანგარიშებულს აპარატის მთლიანი კვეთისათვის), რომლის დროსაც უძრავი შრე გადადის ცრუ მოძრაობაში, ცრუ მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება. ფიქტიურ სიჩქარეს, რომლის დროსაც იწყება დუყების წატაცება, წატაცების სიჩქარე ეწოდება.

მუშა სიჩქარის V_0 და ცრუ მოძრაობის სიჩქარის V'_0 ფარდობას ახასიათებს ცრუ მოძრაობის რიცხვი ω .

$$\omega = \frac{V'_0}{V_0}. \quad (45)$$

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ღნობის ოპტიმალური პირობებისათვის საჭიროა $\omega = 2$. ამის გათვალისწინებით ჰაერის მუშა სიჩქარე ი. ფედლოვის მონაცემებით გამოიანგარიშება ფორმულიდან

$$R_e = 0,11A_r^{0,52}, \quad (46)$$

სადაც A_r არის არქიმედის კრიტერიუმი

$$A_r = \frac{gd^3}{V^2} \cdot \frac{\gamma_6 - \gamma_3}{\gamma_3}. \quad (47)$$

ვინაიდან ცრუ მოძრაობის მდგომარეობაში ჩაის მასის წონა ბადის 1 მ²-ზე უდრის შრის წინაღობას, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Delta p = \frac{G}{F} = H_0(1 - \varepsilon_0)(\gamma_6 - \gamma_3) = H(1 - \varepsilon)(\gamma_6 - \gamma_3) \text{ კგ/მ}^2, \quad (48)$$

სადაც Δp არის წნევათა სხვაობა მდულარე შრეში კგ/მ²;

G – პროდუქტის წონა კგ;

F – ბადის ზედაპირი მ²;

H და H_0 – მდულარე და უძრავი შრის სიმაღლე მ;

γ_6 და γ_3 – ჩაის მასის და ჰაერის კუთრი წონა კგ/მ³;

ε_0 და ε – უძრავი და მდულარე შრის საშუალო ფოროვნობა, რომელიც გამოსახავს შრეში სიცარიელის ფარდობით მნიშვნელობას.

ამ განტოლებიდან შეიძლება დაგადგინოთ დამოკიდებულება უძრავი და მდულარე შრის სიმაღლეებს შორის

$$H = H_0 \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon}. \quad (49)$$

უძრავი შრის ფოროვნობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\gamma_{6\text{ფ}}}{\gamma_6}, \quad (50)$$

სადაც $\gamma_{6\text{ფ}}$ არის პროდუქტის ნაყარი წონა კგ/მ³;

γ_6 – ფოთლების კუთრი წონა კგ/მ³.

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{700}{1400} = 0,50.$$

ღნობის წინაღობა შეიძლება განვსაზღვროთ ი. ფედოროვის ექსპერიმენტული ფორმულიდან

$$\Delta p = 0,17 \left(R_e \frac{H}{d} \right)^{0,2} \frac{G}{F} \text{ კგ/მ}^2. \quad (51)$$

ღნობის ხანგრძლიობის გასაანგარიშებლად საჭიროა ვიცოდეთ α -ს მნიშვნელობა.

2.1.7. ვაფგ შრის არსებობის პირობები

ვაფგ შრე შეიძლება განვიხილოთ ჩაის დუყის ჰაერით გარშემოძინების სისტემა, ხოლო ღარებში სითხის მოძრაობისათვის გამოვიყენოთ დარსის ცნობილი ფორმულა

$$\Delta P = K_{\text{ჩ.ა}} \cdot K_{\text{ჰ}} \lambda (l / d_{\text{ჰჰ}}) (V_{\text{ღ}}^2 \gamma_{\text{ჰ}} / 2g), \quad (52)$$

სადაც $K_{\text{ჩ.ა}}$ – ჩაის მასის კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს დუყების ზომებს და კუთრი წონის ცვლილებებს;

$K_{\text{ჰ}}$ – ჰაერის სიბლანტის კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს ჰაერის სიბლანტის და კუთრი წონის ცვლილებებს;

γ – ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი;

$d_{\text{ღ}}$ – ღარის ექვივალენტური დიამეტრი;

$V_{\text{ღ}}$ – ჰაერის სიჩქარე ღარში;

$\gamma_{\text{ჰ}}$ – ჰაერის კუთრი წონა.

ღარის სიგრძე l შეიძლება ვაფგ მდგომარეობაში გადასვლის მომენტში მივიღოთ უძრავი შრის სიმაღლის (h_0) ტოლად, მაშინ წნევის ვარდნა უძრავ შრეში შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$\Delta P = K_{\text{ჩ.ა}} K_{\text{ჰ}} \lambda (h_0 / d_{\text{ჰჰ}}) (V_{\text{ჰ}}^2 \gamma_{\text{ჰ}} / \varepsilon_0^2 \cdot 2g), \quad (53)$$

სადაც $V_{\text{ჰ}}$ – ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, აპარატის სრულ კვეთში;

ε_0 – უძრავი შრის ფორიანობა.

უძრავი შრის ვაფგ მდგომარეობაში გადასვლისას ჰაერის ნაკადის ამწევი ძალა უტოლდება შრის წონას

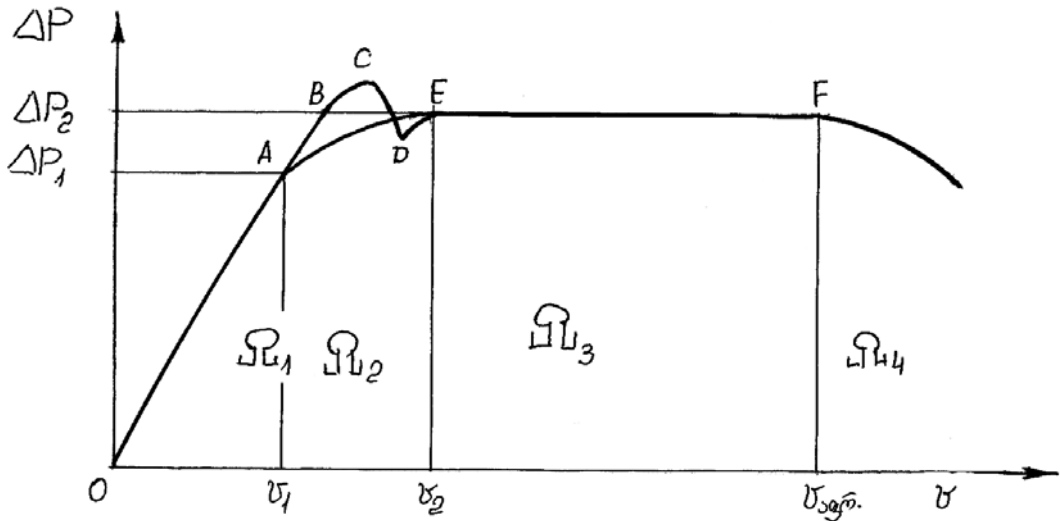
$$\Delta P = \gamma_{\text{ჩ.ა}} (1 - \varepsilon_0) l, \quad (54)$$

სადაც ΔP შრის წინააღმდეგ ვაფგ მდგომარეობაში;

$\gamma_{\text{ჩ.ა}}$ – ჩაის მასის კუთრი წონა.

ვაფგ შრის პირობების გარკვევისათვის მოსახერხებელია $\Delta P = f(v_{\text{ჰ}})$ მრუდის ქვეშ მდებარე ფართობის დაყოფა შემდეგი ზონების სახით (ნახ. 18).

– უძრავი შრის Ω_1 არეში ჩაის მასის წინააღმდეგობა $\Delta P_{\text{ჩ}}$ იზრდება ჰაერის ნაკადის სიჩქარის $v_{\text{ჰ}}$ პროპორციულად შემდეგ სასაზღვრო პირობებში:



ნახ. 18. ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის არის ზონებად დაყოფის სქემა

$$0 \leq \Delta P_f \leq \Delta P_1 \text{ და } 0 \leq v_3 \leq v_1 \quad (55)$$

– გარდამავალი შრის Ω_2 არეში $\Delta h_f = f(v_3)$ დამოკიდებულია მეორე რიგისაა. შემდეგ სასაზღვრო პირობებში

$$\Delta P_1 \leq \Delta P_{\text{გარდ.}} \leq \Delta P_2 \quad (56)$$

$$v_1 \leq v_3 \leq v_2.$$

ვაფგ შრის Ω_3 არე

$$\Delta P_{\text{ვაფგ.შ}} = \Delta P_{\text{გათხ.}} = \Delta P_2 = \gamma(1 - \varepsilon_0)h_0 \quad (57)$$

$$v_2 \leq V_{\text{ვაფგ}} \leq v_{\text{აფინ.}}$$

შეწონილ შრის Ω_4 არე

$$\Delta P_{\text{შეწ.}} \leq \Delta P_2, \quad v_{\text{შეწ.}} > v_{\text{აფინ.}} \quad (58)$$

ვაფგ შრეში გადასვლის დასაწყისში ზედაპირებს შორის არსებული შეჭიდულობის მიზეზით, ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ზრდასთან ერთად შრის წინააღმდეგობა უმნიშვნელოდ იზრდება.

პირველ რიგში უფრო მსუბუქი დუყები აიწვევიან ზევით მოექცევიან შრის ზედა ნაწილში და გადადიან ვაფგ მდგომარეობაში. შემდეგ კი ჰაერის სიჩქარის ზრდასთან ერთად ვაფგ შრეში გადადის უფრო მძიმე დუყები. მსუბუქი და მძიმე დუყების ნარევისათვის აფრიანობის სიჩქარის მნიშვნელოვად შეიძლება ჩაითვალოს ჩაის მასის გადასვლა ვაფგ მდგომარეობაში.

მეორე თავის დასკვნა

ჩაის მასის ღნობის პროცესის თეორიული კვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ:

- ჩაის მასის ღნობის ძირითად ფაქტორებად შეიძლება ჩავთვალოთ ღნობის მეთოდი, საღნობი აგენტის (ჰაერი) ღნობის პოტენციალი (ტემპერატურა, ტენზომცველობა, სიჩქარე, მიმართულება), ჩაის დუყების (კვირტები, ღეროები, ფოთლები) ტენიანობა, აღნაგობა, ტენის კავშირის სახე, ტემპერატურა, ზედაპირის ფართობი, თბური ნაკადის ინტენსივობა;
- ჩაის დუყის და მისი შემადგენელი ელემენტების გათბობის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა (გტმდტ) ნაკლები უნდა იყოს ცილების დენატურაციის ტემპერატურაზე ($T_{\text{ცილ.დენ.}} = 323 - 328K$);
- ჩაის მასის მოსაღნობად ვაფგ შრის მეთოდის გამოყენებისას მოსალოდნელია: ღნობის და მზა პროდუქციის ხარისხის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება, ღნობის $T_{\text{გტმდ}}$ ტემპერატურის გადიდება 323-328K-მდე, პროცესის ხანგრძლივობის შემცირება, საღნობი მანქანის კუთრი მწარმოებლობის გადიდება, ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება და სხვა;

ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანის რაციონალური კონსტრუქციის დამუშავებისათვის საჭიროა: ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკური, თბოფიზიკური და ვიბროაეროდინამიკური თვისებების, ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანების ოპტიმალური მახასიათებლების დადგენა ვაფგ შრეში ღნობისას მოქმედი ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით.

2.2. ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკური, აერო- დინამიკური და თბოფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა

ჩაის საღნობი მანქანების მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმების შერჩევა შესაძლებელია ჩაის, როგორც ნედლი და მომღნარი მასის ფიზიკო-მექანიკური, აეროდინამიკური და თბოფიზიკური თვისებების შესწავლის საფუძველზე. მაგრამ, როგორც წინა თავიდან დავინახეთ, შრომებში ძირითადად შესწავლილია ჩაის ნახევარფაბრიკატისა და მზა პროდუქციის ფიზიკო-მექანიკური თვისებები. ჩაის ნედლეულის და მომღნარი მასის თვისებები ვაფგ შრეში ფაქტორების გათვალისწინებით კი, მიუხედავად საკითხის დიდი მნიშვნელობისა, ძალზე მცირეა შესწავლილი.

ღნობა წარმოადგენს ხანგრძლივ პროცესს. საღნობ მანქანაში მიეწოდება ორ, სამ და ოთხფოთლიანი ღუყები და ჩაის ცალკეული ფოთლები, ღნობის პროცესში ჩაის მასა, განიცდის მნიშვნელოვან ბიოქიმიურ და მექანიკურ ცვლილებებს, რის შემდეგ საღნობი მანქანიდან გამოიტვირთება პრაქტიკულად უკვე მომღნარი ჩაის მასა, რომლის ფიზიკო-მექანიკური და თბოფიზიკური თვისებები მკვეთრად განსხვავდებიან ნედლი ჩაის ფიზიკო-მექანიკური და თბოფიზიკური თვისებებისაგან.

ამის გამო, ჩაის საღნობი მანქანის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევისათვის საჭიროა ჩაის ნედლი და მომღნარი მასის ფიზიკო-მექანიკური, აეროდინამიკური და თბოფიზიკური თვისებების შესწავლა ვაფგ შრეში ჩაის მასაზე მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით.

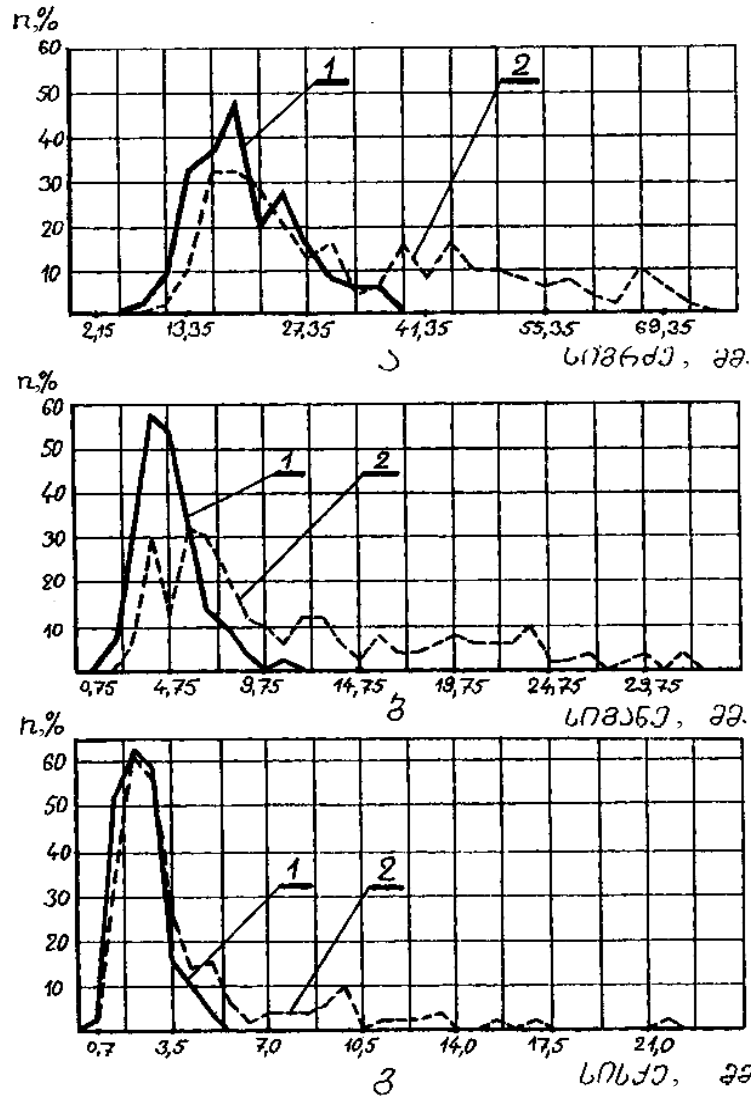
2.2.1. ჩაის მასაში შემავალი ჩაის ღუყების ზომების განსაზღვრა

2.2.1.1. ჩაის ღუყების ზომების განსაზღვრის მეთოდოლოგია

მომღნარი და მოუმღნარი ჩაის ღუყების ფიზიკური ზომების (სიგრძე, სიგანე, სისქე) ღნობის ხარისხისაგან დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური კვლევების მიზნით ჩატარდა ზომების გაზომვები მიკრომეტრის საშუალებით.

2.2.1.2. ჩაის დუყების ზომების განსაზღვრის შედეგები

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 19, ნახ. 20 და ნახ. 21-ზე ზომების შესაბამისი ვარიაციული მრუდების სახით.

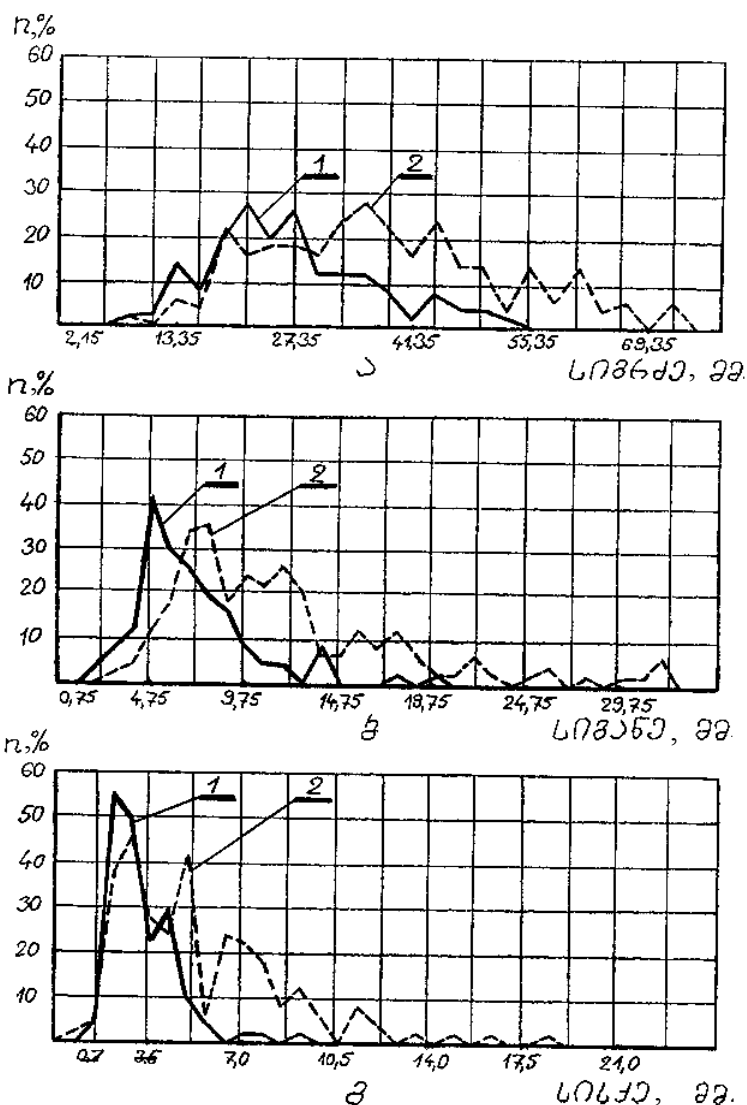


ნახ. 19. პირველი ხარისხის მოუმღნარი (1) და მომღნარი (2) ჩაის დუყების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდები

ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ ჩაის მასის ნებისმიერი ხარისხისათვის ადგილი აქვს სამივე ზომის შესაბამისი ვარიაციული მრუდების გავრცელების არეოა ურთიერთგადაკვეთას. ეს კი ნიშნავს, რომ შეუძლებელია აბსოლუტურად მკვეთრი გადანაწილება მომღნარი და მოუმღნარი ჩაის დუყებისა ნებისმიერი ერთ-ერთი ზომის მიხედვით, მომღნარი და მოუმღნარი ჩაის დუყების აბსოლუტურად სუფთა გაყოფა პრაქტიკულად შეუძლებელია.

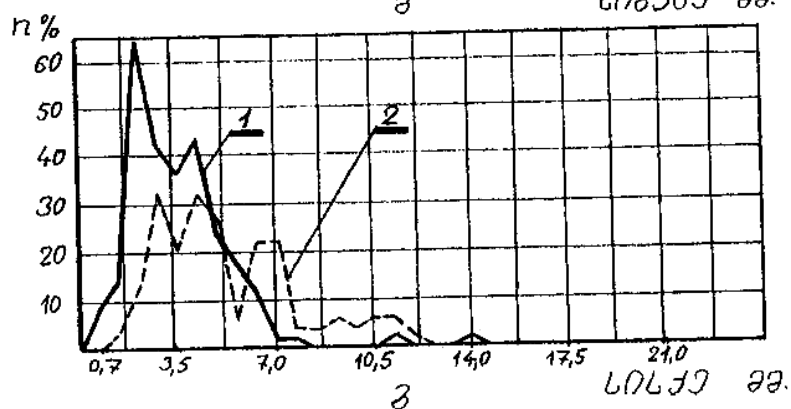
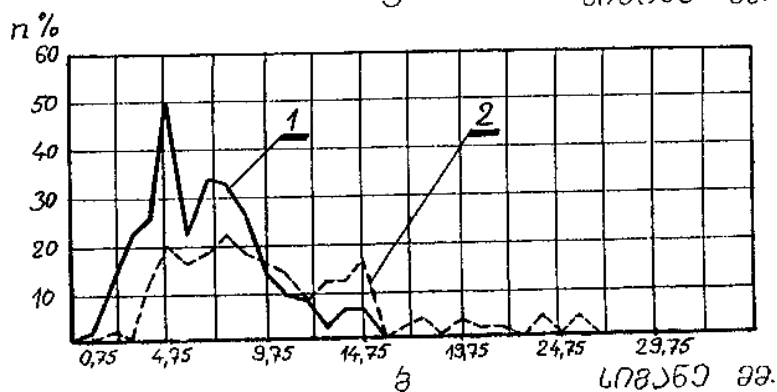
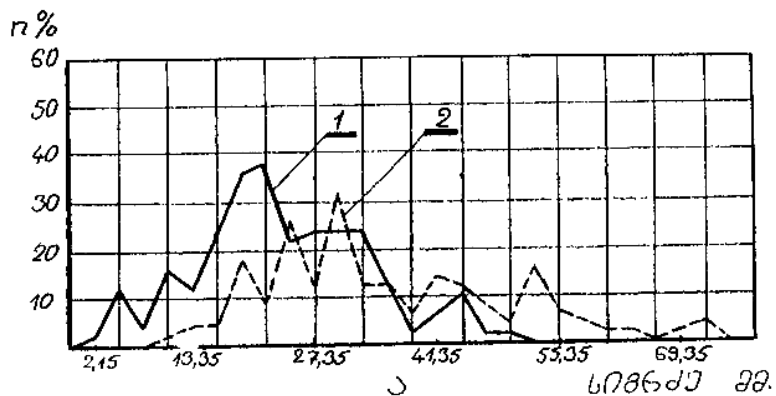
პირველი ხარისხის მომდნარი ჩაის ვარიაციული მრუდების (ნახ. 19) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მომდნარი და მოუმდნარი ჩაის ღუეების გაყოფა შეუძლებელია სიგრძის ან სისქის მიხედვით, რადგან მათი ვარიაციული მრუდები პრაქტიკულად მთლიანად ფარავენ ერთმანეთს. ყველაზე ეფექტურად ეს მასა შეიძლება გაიყოს ფოთლების სიგანის მიხედვით (ნახ. 19, ბ).

ანალოგიურ დასკვნამდე მივყავართ ნახ. 20-ზე წარმოდგენილი მეორე ხარისხის მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის ვარიაციული მრუდების ანალიზს. ამ ხარისხის ჩაის გაყოფა უფრო ეფექტური იქნება ღუეების სიგანის მიხედვით (ნახ. 20, ბ).



ნახ. 20. მეორე ხარისხის მოუმდნარი (1) და მომდნარი (2) ჩაის ღუეების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდები

მესამე ხარისხის მოუმდნარი და მომდნარი ვარიაციული მრუდების (ნახ. 21) შესწავლა გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ ამ მასის დახარისხება შესაძლებელია როგორც სიგანის (ნახ. 21, ბ), ასევე დუცების სიგრძის (ნახ. 21, ა) მიხედვით. ფოთლების სისქის მიხედვით (ნახ. 21, გ) მესამე ხარისხის ჩაის მასის დაყოფა შეუძლებელია. ამასთან, როგორც ვარიაციულ მრუდებზე დაკვირვება გვიჩვენებს, ამ მასის დახარისხება უკეთესი იქნებოდა დუცების სიგრძის მიხედვით.



ნახ. 21. მესამე ხარისხის მოუმდნარი (1) და მომდნარი (2) ჩაის დუცების ზომების განაწილების ვარიაციული მრუდები

ამგვარად, მიღებული მონაცემების მესამე ხარისხის მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის გაყოფა შესაძლებელია: პირველი ხარისხის ჩაის

დუყების სიგანის მიხედვით, რომლის დროსაც სიგანე შეადგენს 4,75 მმ; მეორე ხარისხისათვის ნაწილაკების სიგანის მიხედვით, რომლის დროსაც სიგანე შეადგენს 5,75 მმ; მესამე ხარისხისათვის კი – დუყების სიგრძის ან სიგანის მიხედვით. ამასთან, დუყების გაყოფის სიგანე ამ შემთხვევაში შეადგენს 4,75 მმ, ხოლო სიგრძე – 21,75 მმ.

2.2.2. მომღნარი და მოუმღნარი ჩაის დუყების მიწებების კოეფიციენტის ექსპერიმენტული განსაზღვრა

2.2.2.1. მიწებების კოეფიციენტის განსაზღვრის ლაბორატორიული ხელსაწყო და კვლევის მეთოდიკა

დაწებების უნარის მქონე მასალების ვიბროტრანსპორტირების პროცესის კანონზომიერებაზე გავლენას ახდენს გადასაადგილებელი პროდუქტის მუშა ორგანოსთან კონტაქტის ხანგრძლივობა. ამიტომ ასეთი მასალების დასახასიათებლად იყენებენ შეჭიდულობის კოეფიციენტს, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$c = f + \chi, \quad (59)$$

სადაც f გარე ხახუნის კოეფიციენტია პროდუქტსა და მუშა ორგანოს ზედაპირს შორის, χ – მიწებების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჩაის მასის და მასალის თვისებებს, რომელიც დამოკიდებულია ჩაის მასის ტენიანობასა და წყვილების კონტაქტის ხანგრძლივობაზე [18].

შეჭიდულობის კოეფიციენტი განისაზღვრება გარე ხახუნის კოეფიციენტის ანალოგიურად, იმავე ლაბორატორიულ სტენდზე.

მიწებების კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება (59) დამოკიდებულებიდან.

მიწებების კოეფიციენტი შესწავლილ იქნა ჩაის საწარმოთა მოწყობილობების მუშა ორგანოებისათვის გამოყენებული მასალებისათვის.

ექსპერიმენტები ჩატარებული იყო პირველ, მეორე და მესამე ხარისხის ჩაის დუყებისათვის ცალ-ცალკე.

2.2.2.2. მიწებების კოეფიციენტის კვლევის შედეგები

მომღნარი ჩაის ღუეების სხვადასხვა კონსტრუქციის და მასალის ზედაპირებზე მიწებების კოეფიციენტების კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 2-ში

ცხრილი 2

მომღნარი ჩაის ღუეების მიწებების კოეფიციენტების მნიშვნელობები სხვადასხვა მასალებთან

მოსახუნე ზედაპირის მასალა	მომღნარი ჩაის მასის ხარისხი	უძრავი კონტაქტის ხანგრძლივობა τ, წმ					
		1800	3600	5400	7200	9000	10800
ფურცლოვანი ფოლადი	I	0,307	0,311	0,312	0,321	0,334	0,349
	II	0,301	0,307	0,314	0,316	0,329	0,344
	III	0,299	0,303	0,308	0,311	0,303	0,340
უქანგავი ფოლადი	I	0,261	0,272	0,277	0,283	0,297	0,312
	II	0,258	0,264	0,273	0,279	0,291	0,307
	III	0,262	0,260	0,269	0,274	0,307	0,302
ღურალუმიანი	I	0,272	0,280	0,282	0,289	0,299	0,319
	II	0,267	0,275	0,281	0,285	0,298	0,314
	III	0,263	0,270	0,275	0,281	0,296	0,309
პლასტიკატი	I	0,167	0,175	0,176	0,181	0,193	0,210
	II	0,175	0,171	0,175	0,181	0,193	0,208
	III	0,161	0,170	0,174	0,176	0,188	0,207
ფანერა	I	0,461	0,463	0,471	0,475	0,488	0,481
	II	0,457	0,461	0,466	0,470	0,483	0,499
	III	0,452	0,456	0,461	0,467	0,49	0,494
გისოსები 3 მმ-იანი ღრეჩოს სიდიდით	I	0,309	0,314	0,321	0,325	0,336	0,352
	II	0,307	0,309	0,315	0,321	0,329	0,348
	III	0,304	0,305	0,309	0,316	0,328	0,341
გისოსები 4 მმ-იანი ღრეჩოს სიდიდით	I	0,314	0,319	0,322	0,328	0,338	0,358
	II	0,309	0,312	0,318	0,325	0,334	0,355
	III	0,306	0,311	0,312	0,319	0,33	0,348

როგორც მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, ჩაის ნებისმიერი ხარისხისათვის დამახასიათებელია მიწების კოეფიციენტის დამოკიდებულება უძრავი კონტაქტის ხანგრძლივობისაგან. რაც უფრო მეტია ზედაპირთან უძრავი კონტაქტის ხანგრძლივობა, მით მეტია მიწების კოეფიციენტის მნიშვნელობა. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ უძრავი კონტაქტის 3 საათიანი დაყოვნების შემდეგ ადგილი აქვს მიწების კოეფიციენტის შედარებით უფრო ინტენსიურ ზრდას ჩაის ნებისმიერი ხარისხისათვის.

ჩაის ხარისხის მიხედვით ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პირველი ხარისხის ჩაი ხასიათდება მიწების კოეფიციენტის მეტი მნიშვნელობით, ვიდრე მეორე და მესამე ხარისხის ჩაი. გარდა ამისა, პირველი ხარისხის ჩაის შედარებით მეტი საკონტაქტო ზედაპირიც გააჩნია, რაც უზრუნველყოფს მიწების მაღალ ხარისხს.

თუ გავანალიზებთ ექსპერიმენტის შედეგებს საკონტაქტო ზედაპირების მასალების მიხედვით, დავინახავთ, რომ 3 მმ-იან ღრეჩოს გისოსთან შედარებით მიწების კოეფიციენტის მეტი მნიშვნელობით ხასიათდება 4 მმ-იანი ღრეჩოს სიდიდის გისოსი, რომელსაც მეტი საკონტაქტო ზედაპირი გააჩნია. ფანერასთან ჩაის მიწების ყველაზე მაღალი კოეფიციენტის მნიშვნელობა უნდა აიხსნას იმით, რომ ფანერის ბოჭკოები ადვილად იჟღინთებიან ჩაის ტენით და შემდგომში ქმნიან საუკეთესო პირობებს დაწებებისათვის. როგორც ცდის შედეგებიდან ჩანს, ფურცლოვანი ფოლადი უფრო ადვილად სველდება ჩაის ტენით, ვიდრე უჟანგავი ფოლადი და დურალუმინი. სწორედ ამის გამო ამ უკანასკნელთ ახასიათებთ მიწების კოეფიციენტის შედარებით მცირე მნიშვნელობები. ყველაზე ნაკლები მიწების კოეფიციენტის მნიშვნელობა ახასიათებს პლასტიკატს, რომელიც ადვილად არ იჟღინთება ჩაის ტენით და არც ადვილად სველდება.

2.2.3. ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების განსაზღვრა

2.2.3.1. ძვრის საწყისი წინაღობის განსაზღვრის ლაბორატორიული ხელსაწყო და კვლევის მეთოდიკა

ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების კვლევისათვის გამოყენებული იქნა ლაბორატორიული ხელსაწყო BCB-1 [1, 18]. ხელსაწყო შედგება ორი ერთნაირი დიამეტრის ცილინდრისაგან, რომლებიც მცირე ღრეჩოთი (0,2 მმ). არიან ერთმანეთისაგან დაშორებული და განლაგებული არიან ვერტიკალურად. ზედა ცილინდრი უძრავია, ქვედა ცილინდრს კი შეუძლია ჰორიზონტალური გადაადგილება ბლოკზე გადადებული ბაგირის ბოლოზე მყოფ ბაქანზე განლაგებული ტვირთების წონის ზემოქმედებით. ქვედა ცილინდრი აღჭურვილია ფიქსატორით.

კოეფიციენტის განსაზღვრის მიზნით ხდება ქვედა ცილინდრის დაფიქსირება და ორივე ცილინდრში გამოსაცდელი ჩაის მასის ჩაყრა. ამის შემდეგ ზედს ცილინდრში მყოფი ჩაის მასის თავზე განლაგდება ლითონის ფირფიტა გარკვეული ტვირთით და ხდება დაყოვნება 15...20 წთ. ჩაის მასაში კუმშვის დეფორმაციის დასრულებისათვის. აღნიშნული დროის გასვლის შემდეგ თავისუფლდება ქვედა ცილინდრი და მასზე გამობმულ პლატფორმაზე ტვირთის თანდათანობითი მატებით მიმდინარეობს მხები ძაბვის მატება მანამ, სანამ ცილინდრებს შორის სიბრტყეში ეს ძაბვა არ გაუტოლდება ნორმალურ ძაბვას. ეს იწვევს აღნიშნულ სიბრტყეში ჩაის ჭრას და ქვედა ცილინდრის გამოსვლას წონასწორობის მდგომარეობიდან.

ექსპერიმენტები ჩატარებული იყო სხვადასხვა ნორმალური დატვირთვის პირობებში (1,0; 2,5; 4,0; 5,5 კა).

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა პირველი, მეორე და მესამე ხარისხის მოუმღნარი და მომღნარი ჩაის მასას.

მომღნარი ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების განსაზღვრა დაიყვანება ლაბორატორიული ხელსაწყო ცილინდრში მოთავსებული მასის ჭრის სიბრტყეში მოქმედ ნორმალურ და მხებ ძაბვებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკის

აგებაზე. ცნობილია, რომ დამოკიდებულება ნორმალურ და მსებ ძაბვებს შორის განისაზღვრება კულონის განტოლებით

$$\tau = \sigma \cdot tg\varphi_0 + \tau_0. \quad (60)$$

ეს დამოკიდებულება სწორხაზოვანია, ხოლო τ_0 წარმოადგენს ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობის კოეფიციენტს. ესაა ის მონაკვეთი, რომელსაც $\tau = f(\sigma)$ დამოკიდებების გრაფიკი მოკვეთს ორდინატთა ღერძზე. f_0 წარმოადგენს ჩაის მასის შიგა ხახუნის კოეფიციენტს და იგი არის $\tau = f(\sigma)$ დამოკიდებულების გრაფიკის აბსცისათა ღერძიდან დახრის კუთხის φ_0 ტანგენსის მნიშვნელობა [19, 20].

2.2.3.2. ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები

მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების ექსპერიმენტალური მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრ. 3-ში.

ცხრილი 3

ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის სხვადასხვა ხარისხისათვის

გაზომილი სიდიდეები	ჩაის ხარისხი					
	დნობამდე			დნობის შემდეგ		
	I ხარ.	II ხარ.	III ხარ.	I ხარ.	II ხარ.	III ხარ.
ძვრის საწყისი წინაღობის კოეფიციენტი τ_0 , კპა	1,63	1,71	1,97	1,23	1,51	1,89
შიგა ხახუნის კოეფიციენტი f_0	0,51	0,541	0,537	0,47	0,513	0,531

ექსპერიმენტის შედეგების (ცხრ. 3) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ჩაის მასის ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის კოეფიციენტები ძირითადად დუყების ზომებზეა დამოკიდებული – რაც უფრო წვრილ დუყებს შეიცავს მომდნარი ჩაის მასა, მით ნაკლებია აღნიშნული კოეფიციენტების რიცხოვრივი მნიშვნელობა. კერძოდ, ყველაზე მცირე ძვრის საწყისი წინაღობისა და შიგა ხახუნის

კოეფიციენტებით ხასიათდება პირველი ხარისხის მომდნარი ჩაის მასა, ხოლო ყველაზე დიდი მნიშვნელობით – უხეში, მესამე ხარისხის ჩაის მასა.

2.2.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების შესწავლა

საქართველოს ჩაის საწარმოებში ძირითადად გამოიყენება შ.მარდალეიშივილის სისტემის საღნობი საფიქსაციო მანქანა, რომელიც დიდი გაბარიტებით ენერგო- და ლითონტეკვადობით ხასიათდება, გაძნელებულია მისი ტექნიკური მომსახურება და დაბალია ჰაერის გამოყენების ეფექტურობა [14].

აღნიშნული უარყოფითი მხარეების აღმოფხვრის მიზნით ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოების შედეგად დამუშავდა ჩაის მასის ღნობის ტექნოლოგია და საღნობი მანქანის საცდელი ნიმუში.

ღნობის პროცესის ტექნოლოგიური და საღნობი მანქანის კონსტრუქციული პარამეტრების დადგენისათვის მნიშვნელოვანია ღნობის ტექნოლოგიური რეჟიმების და ჩაის მასის აეროდინამიკური მახასიათებლების ცოდნა. ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობას რთული ხასიათი აქვს. განვიხილოთ ჩაის მასა როგორც N რაოდენობის პარალელური კაპილარების ერთობლიობა ეკვივალენტური დიამეტრით d_j , სიგრძით l_j და ფოთლის რაოდენობით n , რომელსაც აქვს კლაკნილი არსები რთული განივი კვეთის ფორმით. კაპილარის დიამეტრი გამოვსახოთ ფოთლის ეკვივალენტური დიამეტრით და ჩაის მასის ფორიანობით, რადგან ვადარებთ ჩაის ფოთლის ეკვივალენტურ დიამეტრს. შეიძლება დავუშვათ კაპილარის ეკვივალენტური დიამეტრი $d = 4F/\Pi$, სადაც $4F$ – კაპილარის განივი კვეთის ფართობია, ხოლო Π – მისი პერიმეტრი. მრიცხველის და მნიშვნელის გამრავლებით lN – ზე მივიღებთ:

$$d_j = 4 \frac{F_j l_j N}{\Pi_j l_j N} = 4 \frac{V_{\text{თ.ა.}}}{F_{\text{ა.ხ.}}} \quad (61)$$

$V_{\text{თ.ა.}} = F_j l_j N$ – თავისუფალი მოცულობით (თ.მ.); $F_{\text{ა.ხ.}} = \Pi_j l_j N$ ყველა კაპილარის შიდა ზედაპირი (შ.ზ.)

როგორც ვიცით $V_{\text{მ.ა.}} = V - V_{\text{წ/ყ}}$, ხოლო $V_{\text{წ/ყ}} = (\pi d^3/6)n$ და $F_{\text{ა.ბ.}} = \pi d^2 n$, სადაც $(\pi d^3/6)n$ და $\pi d^2 n$ პირველი ფოთლის მოცულობაა და მეორე ფოთლის ზედაპირი, მაშინ

$$\frac{V d^3}{6} \cdot \frac{n}{V} = \frac{V_{\text{წ/ყ}}}{V} = \frac{V - V_{\text{მ.ა.}}}{V} = 1 - \varepsilon$$

და პირველი ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ

$$d_j = \frac{2}{3} d \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}, \quad (62)$$

კაპილარში ჰაერის მოძრაობის სინქარე V_j შეიძლება ვიპოვოთ უწყვეტობის განტოლებიდან

$$q_v = VF = V_j F_j n, \quad (63)$$

სადაც V_j – ჰაერის მოძრაობის სინქარეა აპარატის თავისუფალ კვეთაში;

F – აპარატის თავისუფალი კვეთის ფართობი.

(63) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$V_j = V \frac{F}{F_{\text{ა.ბ.}}} = V \frac{F \ell}{F_j \ell n} = V \frac{V}{V_{\text{მ.ა.}}} = \frac{V}{\varepsilon}. \quad (64)$$

შრის ყველა კაპილარი წარმოქმნის პარალელური დინებების ნაკადს, ამიტომ მათი ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა ტოლი იქნება ერთი კაპილარის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის $\Delta P = \Delta P_j$. ბლანტი აირის კაპილარში ლამინარული დინებისათვის ჭეშმარიტი იქნება პუაზელის განტოლება

$$q_{v_j} = \frac{\Pi \Delta P_j R_j^4}{8 \mu \ell_j} = \frac{\pi \Delta P_j d_j^4}{128 \mu \ell_j} \quad (65)$$

უწყვეტობის განტოლებიდან (63) გამომდინარეობს, რომ:

$$V_j = 4g V_j / (\pi d_j^2),$$

მაშინ (65) ფორმულიდან მივიღებთ

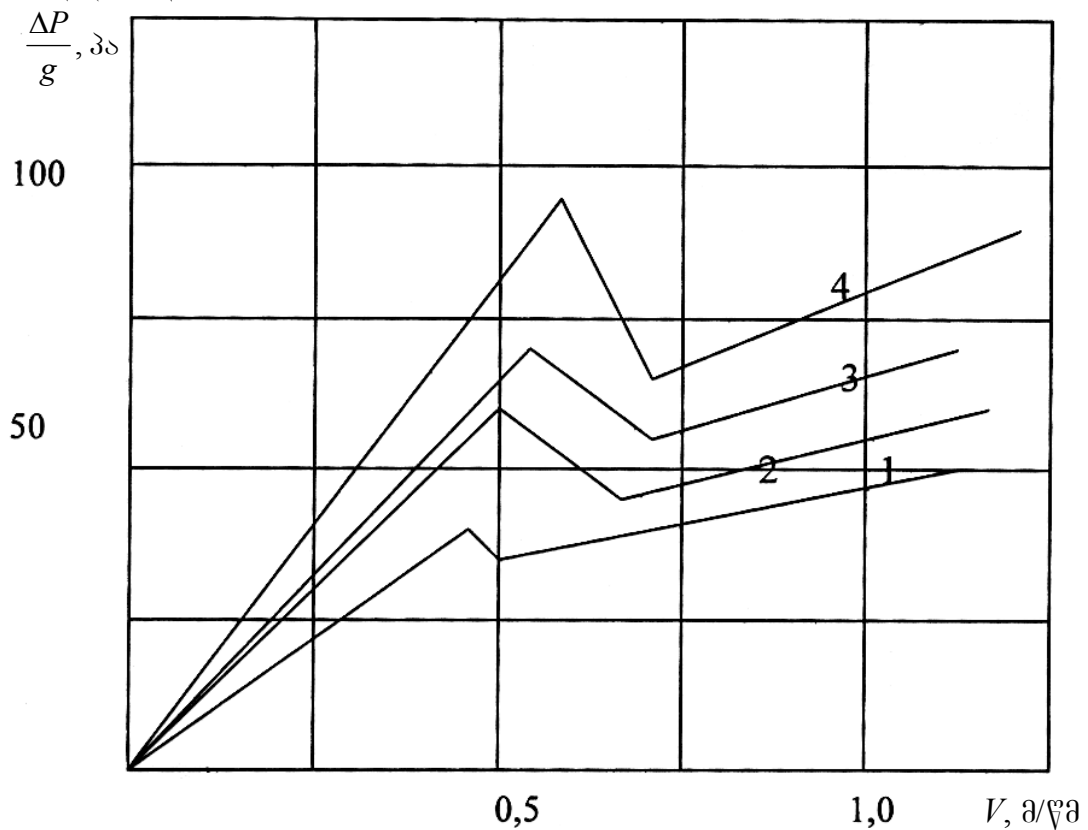
$$\Delta P_j = 32 \mu \ell_j V_j / d_j^2, \quad (66)$$

V_j (62) d_j -ს და (64) განტოლებიდან V_k -ს (66) განტოლებაში ჩასმით რეალურად არსებს ფოთლებს შორის აქვს კლაკნილი სახე და დიდი სიგრძე;

ჩაის მასის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის განსაზღვრისათვის შესაძლებელია კოზენი-კარმანის განტოლების გამოყენება

$$\Delta P_j = 150\mu \frac{\ell v (1-\varepsilon)}{d^2 \varepsilon^2}. \quad (67)$$

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ექსპერიმენტი ჩატარდა ჩაის მწვანე ფოთოლზე ტენზომეტრულით $W = 75-78\%$, ჰაერის სიჩქარე მერყეობდა $V_3 = 1,2-1,5$ მ/წმ, ხოლო ჩაის მასის შრის სისქე $h = 150-300$ მმ. ანუ კუთრი დატვირთვა ბადეზე განისაზღვრება დამოკიდებულებიდან $G_s = \frac{G}{s} g$ 16-40 პა, ჰაერის $T = 298-303$ ტემპერატურის დროს შეადგენდა. მოცემული საწყისი მონაცემების გათვალისწინებით, ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა, რომლის შედეგადაც მივიღეთ ჩაის მასის აეროდინამიკური მახასიათებლები ჩაის მასის შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს (ნახ. 22).



ნახ.22. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება ჩაის შრეში გამავალი ჰაერის სიჩქარეზე, შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს:
 1 - $h = 150$ მმ; 2 - $h = 200$ მმ; 3 - $h = 250$ მმ; 4 - $h = 300$ მმ

ნახ. 22-ზე მოცემულია ჩაის მასის აეროდინამიკური მახასიათებლების ცვლილება მრუდეების სახით. ნახაზიდან ჩანს, რომ ჩაის შრის სიმაღლის მომატებასთან ერთად მისი აეროდინამიკურ და ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა იზრდება. ასევე აეროდინამიკური წინააღმდეგობა იზრდება ჰაერის სიჩქარის მომატებასთან ერთად. მაგრამ როდესაც ჩაის მასის ქვეშ შეიქმნება გარკვეული წნევა. ჰაერი არღვევს მასის მთლიანობას და ხდება ე.წ. განმუხტვა – ნახაზზე მოცემული თითქმის ვერტიკალური დახრა. ამ დროს შრის წინააღმდეგობა ეცემა გარკვეულ ზღვრამდე და ხდება ეკვივალენტური დიამეტრის კაპილარების შევსება ჰაერით და მიმდინარეობს აქტიური ღნობის პროცესი (მასაგადაცემა, დაცემა), ჰაერის სიჩქარის მომატებასთან ერთად მეორე ეტაპზე ჩაის მასის წინააღმდეგობა კვლავ იზრდება, რადგან როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩაის ფოთლის ეკვივალენტური დიამეტრის კაპილარებს აქვს რთული ფორმა და მცირე დიამეტრი. ღნობის პროცესისათვის ტექნოლოგიური თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია მე-2 ეტაპი, რადგან ჰაერის სიჩქარე უჯრედიდან სითხის აორთქლებისა და ჩაის მასაში ტენის გადაადგილების სიჩქარეს.

ნახ. 23-ზე მოცემულია ჩაის შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის ცვლილება შრის სიმკვრივის ცვლილებასთან დაკავშირებით ჰაერის მუდმივი სიჩქარის პირობებში შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს. ნახაზიდან ჩანს, რომ ღნობის პროცესში შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობა იზრდება, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ღნობისას ტენდაკარგული შრის ნაყარი სიმკვრივე მოუღნარი ჩაის მასის სიმკვრივეზე მაღალია.

მიღებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე გამოყვანილი ემპირიული ფორმულების საშუალებით შესაძლებელია ჰაერის სიჩქარის და ჩაის მასის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის განსაზღვრა

$$V_{\text{შრ}} = 0,15 + 0,4 \rho_2 / \rho_1 + 0,0011 V_3 \quad (68)$$

$$\Delta P = 20,114 + 45,358, \rho_2 / \rho_2 + 12,53 V_3. \quad (69)$$

პერიოდული ქმედების საღნობი მანქანის გაანგარიშებისათვის მნიშვნელოვანია ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის ცოდნა,

რომელიც თეორიულად გამოიანგარიშება უწყვეტობის განტოლებიდან. ჰაერის უსასრულოდ მცირე მოცულობისათვის

$$V = \frac{DV}{Fd\tau},$$

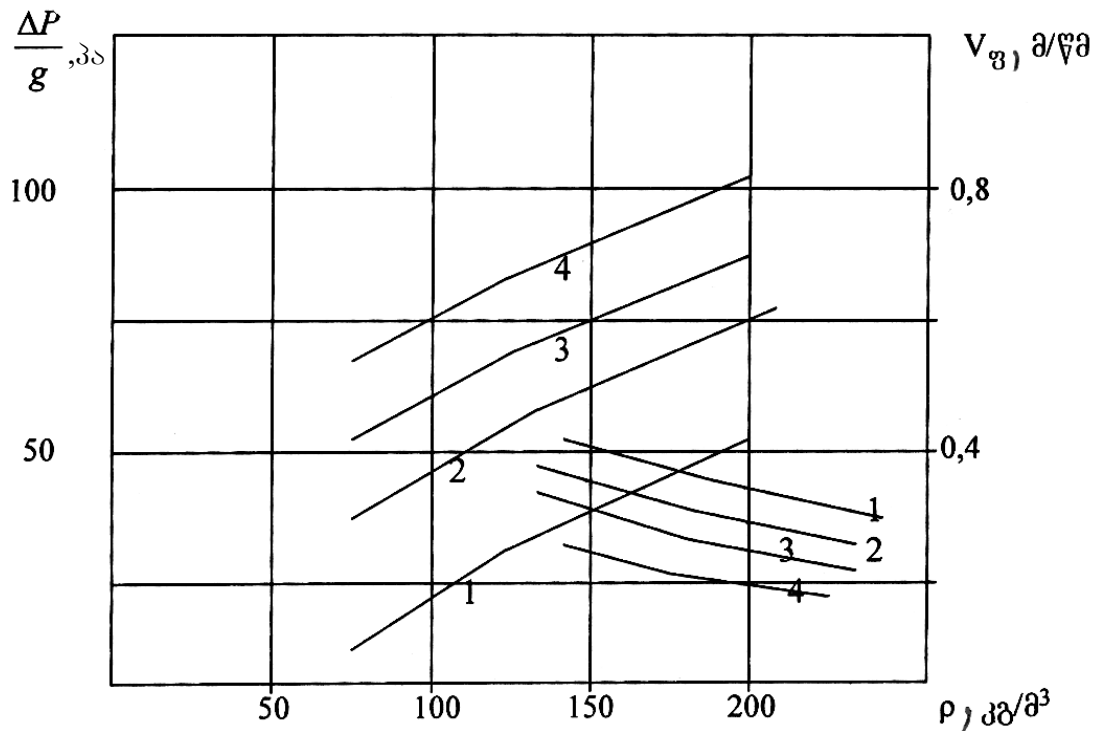
სადაც V – ჰაერის მოცულობა;

F – მუშა ზედაპირის ფართობი, τ – ფენაში ჰაერის მოძრაობის დრო, მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta P}{\eta R_0}, \quad (70)$$

სადაც η ჰაერის სიბლანტეა;

R_0 – ჩაის მასის წინააღმდეგობა.



ნახ. 23. ჩაის მასის ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების და ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების დამოკიდებულება ჩაის მასის სიმკვრივეზე შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს:

1 – $h = 150$ მმ; 2 – $h = 200$ მმ; 3 – $h = 250$ მმ; 4 – $h = 300$ მმ

პერიოდული ქმედების საღნობი დანადგარები მუშაობენ გარკვეული ციკლურობით. საღნობის მუშაობის ხანგრძლივობა მოიცავს საკუთრივ ღნობის პროცესს და დამხმარე ოპერაციებს ($\tau = \tau_{პრ} + \tau_{დ.ოპ}$). აქედან გამომდინარე, საღნობის მწარმოებლობა განისაზღვრება:

$$Q = Sh\rho/\tau, \quad (71)$$

სადაც τ – საღნობის მუშაობის ერთი ციკლია, სთ;

h – შრის სიმაღლე, მ;

S – მუშა ზედაპირის ფართობი, მ²;

ρ – ჩაის ნაყარი მასის სიმკვრივე, კგ/მ³.

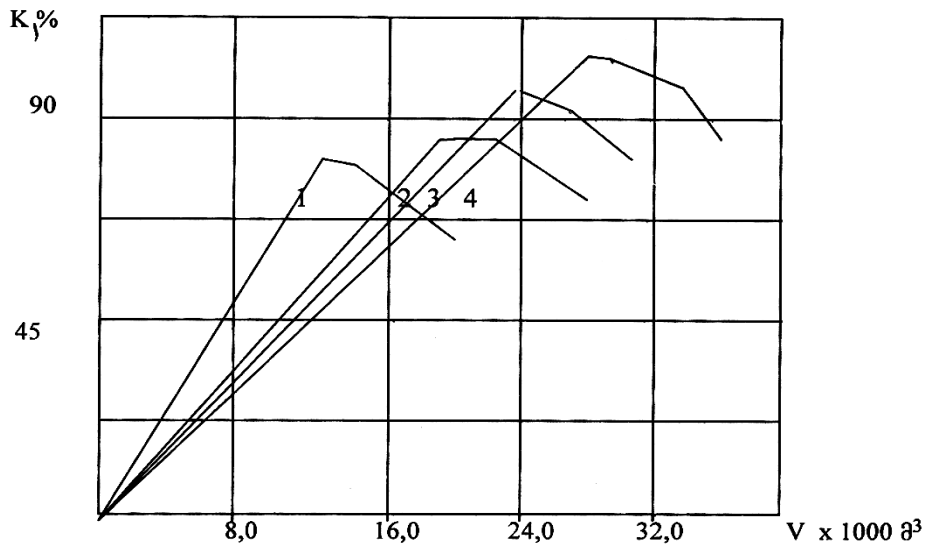
ფორმულაში (71) τ -ს მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ

$$Q = h_{დ.ო.} Sh\rho/\tau_{პრ}, \quad (72)$$

სადაც $h_{დ.ო.}$ – დამხმარე ოპერაციების კოეფიციენტი.

გაანგარიშების საფუძველზე ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა, რომლის შედეგები გრაფიკების სახით მოცემულია ნახ. 22 და 23-ზე.

ნახ. 24-ზე მოცემულია ღნობის ხარისხის დამოკიდებულება მოწოდებული ჰაერის მოცულობაზე. გრაფიკიდან ჩანს, რომ ჩაის მასის სისქის შემცირება ან გაზრდა დამოკიდებულია საბოლოო პროდუქტის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე და საღნობი მანქანის მწარმოებლობაზე. კერძოდ ჩაის მასის შრის სისქის 150 მმ-მდე შემცირებით მოწოდებული ჰაერის საჭირო რაოდენობა მცირდება 1600 მ³/სთ-მდე.

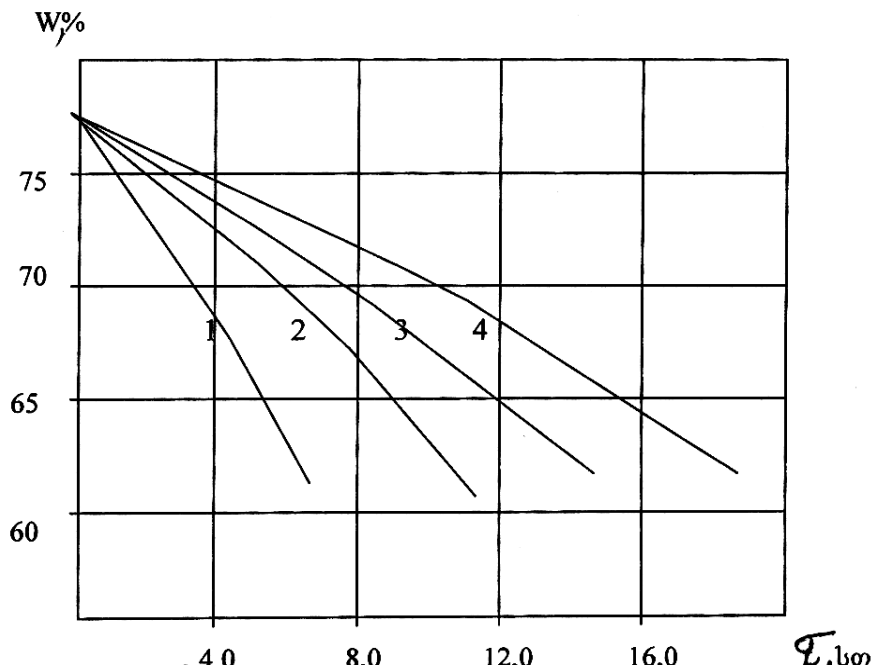


ნახ. 24. ჩაის მასის ღნობის ხარისხის დამოკიდებულება მოწოდებული ჰაერის რაოდენობაზე, როდესაც $V = 1,2$ მ³/წმ; 1 – $h = 150$ მმ; 2 – $h = 200$ მმ; 3 – $h = 250$ მმ; 4 – $h = 300$ მმ

ექსპერიმენტებმა ცხადყვეს, რომ ღნობა გამოვიდა არათანაბარი, რის გამოც აღნიშნული შრის სისქე ვერ უზრუნველყოფს სათანადო მწარმოებლობას, ასევე შრის სისქის $h = 300$ მმ-ს ზემოთ გაზრდისას

იზრდება ჰაერის რაოდენობა. ამ დროს საღნობი მანქანის მწარმოებლობა იზრდება, იზრდება ენერგოდანახარჯები და ღნობა არათანაბარია, შეიმჩნევა ფოთლის გადაღნობა.

ნახ. 25-ზე მოცემულია ჩაის მასის ღნობისას ტენის ცვლილების დამოკიდებულება ღნობის ხანგრძლივობაზე შრის სხვადასხვა სიმაღლის (150, 200, 250, 300 მმ) და ჰაერის მუდმივი სიჩქარის ($V = 1,2$ მ/წ) პირობებში. ნახაზიდან ჩანს, რომ შრის სიმაღლის მატებასთან ერთად ღნობის დრო იზრდება, მაგრამ გასათვალისწინებელია ღნობის ხარისხი და საღნობი მანქანის მწარმოებლობა შრის სიმაღლეზე დამოკიდებულებით, ამიტომ ორივე შემთხვევაში ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმების დადგენისათვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი და ოპტიმიზაცია.



ნახ. 25. ჩაის მასის ღნობისას ტენის ცვლილების დამოკიდებულება ღნობის ხანგრძლივობაზე, როდესაც $V = 1,2$ მ/წმ; შრის სიმაღლის სხვადასხვა მნიშვნელობისას 1 - $h = 150$ მმ; 2 - $h = 200$ მმ; 3 - $h = 250$ მმ; 4 - $h = 300$ მმ

კვლევის მიზანია ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას აეროდინამიკური წინააღმდეგობის სიდიდის შემცირება. ამ მიზნით ჩატარდა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ჩაის შრეში ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიდიდეზე დამოკიდებულებით. ჩაის შრეში ჰაერის ნაკადის დაბალი სიჩქარით მოძრაობისას, აეროდინამიკური პროცესი

შეიძლება მიახლოებით გავაიგიავოთ ფილტრაციის პროცესთან. კვლევებით დადგინდა, რომ ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობა ექვემდებარება ფოროვან გარემოში სითხის ან აირის ფილტრაციის საერთო კანონებს. ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე პირდაპირ პროპორციულია წნევათა სხვაობის, მაგრამ უკუპროპორციულია ჰაერის სიბლანტის, ჩაის შრის და გისოსების წინააღმდეგობების. ღნობის პროცესის დროს წნევათა სხვაობა და ჩაის მასის აეროდინამიკური წინააღმდეგობა დროის განმავლობაში იცვლება, ამიტომ ჩაის მასაში ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისათვის შესაძლებელია შემდეგი სახის დიფერენციალური განტოლებით გამოსახვა

$$W = \frac{dv}{Sd\tau}. \quad (73)$$

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ღნობის პროცესში ჩაის მასაში გამავალი ჰაერის რაოდენობის განმსაზღვრელი დიფერენციალური განტოლება ასე გამოისახება

$$\frac{dv}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{\text{ფენ.}} + R_{\text{ბად.}})}, \quad (74)$$

სადაც V – ჩაის შრეში გატარებული ჰაერის მოცულობაა, მ³;

S – ღნობის ფართი, მ²;

τ – ჩაის შრეში ჰაერის მოძრაობის ხანგრძლივობა, წმ;

ΔP – წნევათა სხვაობა, პა;

μ – ჰაერის სიბლანტე, ნ.წმ/მ²;

$R_{\text{ფენ.}}$ – ჩაის წინააღმდეგობა;

$R_{\text{გის.}}$ – გისოსის წინააღმდეგობა.

$R_{\text{გის.}}$ სიდიდე ღნობის პროცესის დროს შეიძლება მიახლოებით ჩაითვალოს მუდმივად, ხოლო $R_{\text{ფენ.}}$ ღნობის პროცესის განმავლობაში იზრდება, რადგან იზრდება ჩაის შრის სიმკვრივე, რაც, საერთო ჯამში, აფერხებს ჰაერის მოძრაობის პროცესს, ზრდის ღნობის ხანგრძლივობას და იზრდება ენერგეტიკული დანახარჯები. რაც მთავარია, არათანაბარი ღნობა აუარესებს მზა პროდუქტის ხარისხს. ჩაის შრის წინააღმდეგობის განსაზღვრისათვის აუცილებელია დავამყაროთ დამოკიდებულება შრის და მასში გამავალ ჰაერის მოცულობებს შორის. მათ შორის დამოკიდებულება ასე გამოისახება:

$$V_{\text{შრ.}} = X_0 V_{\text{კ.}} \quad (75)$$

შრის მოცულობა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად: $h_{\text{შრ.}} S$, $h_{\text{შრ.}}$ – შრის სიმაღლე. აქედან გამომდინარე, $X_0 V_{\text{კ.}} = h_{\text{შრ.}} S$, ხოლო

$$X_0 = \frac{h_{\text{შრ.}} S}{V_{\text{კ.}}} \quad (76)$$

სადაც X_0 – შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს

$$R_{\text{შრ.}} = \Gamma_0 h_{\text{შრ.}} = \Gamma_0 X_0 \frac{V_{\text{თბო}}}{S} \quad (77)$$

სადაც Γ_0 ფენის კუთრი მოცულობითი წინააღმდეგობა.

ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ არსებული ტიპის საღნობებში ჩაის შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი $X_0 = 0,14 - 0,013$, რაც მაღალი აეროდინამიკური წინააღმდეგობის მაუწყებელია. შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის შესამცირებლად ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია ჩაის მასაზე ვიბრაციული ზემოქმედების გამოყენება.

ვიბრაციული ზემოქმედების გამოყენების გათვალისწინებით ფორმულა (3) მიიღებს სახეს:

$$\omega = AK_0 + B_0 = \frac{\Delta P}{\mu(\Gamma_0 X_0 V_{\text{თბო}/S} + R_{\text{ბად.}})} \quad (78)$$

სადაც A ვიბრაციის ამპლიტუდაა, ω – კუთხური სიჩქარე, K_0 და B_0 კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულია ფოთლის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე. აღნიშნული მეთოდის გამოყენების შედეგად შრის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი მცირდება და ვიბრაციული საღნობისათვის $X_0 = 0,0011$. ფორმულა (78) საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ჩაის შრეში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე, რომლის საფუძველზე შეიძლება შევარჩიოთ ღნობის პროცესის საღნობი მანქანის ოპტიმალური ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული პარამეტრები.

2.2.5. ვაფგ შრეში ჩაის მასაზე მოქმედი ფაქტორების ცვლილების გავლენა აფრიანობის სიჩქარეზე

ჩაის ღუეის აფრიანობის სიჩქარის შესწავლა აუცილებელია ჩაის მასის უძრავი შრიდან ვაფგ შრეში გადასვლის, შენარჩუნების და რეგულირების პირობების პარამეტრების დადგენისათვის [21].

ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის სიდიდეზე გავლენას ახდენს მთელი რიგი ფაქტორები (ჩაის ღუეის ზომები, სიმკვრივე, ტენიანობა და სხვა); მოვიბრირე ზედაპირის ვიბრაციის და ჰაერის ნაკადის პარამეტრების მნიშვნელობები.

ჩაის მასის შემადგენელი ელემენტების (ორ, სამ და ოთხფოთლიანი ღუეები და ცალკეული ფოთლები) აფრიანობის სიჩქარე არ იძლევა ჩაის მასის მოძრაობის სრული სურათის დახასიათების შესაძლებლობას.

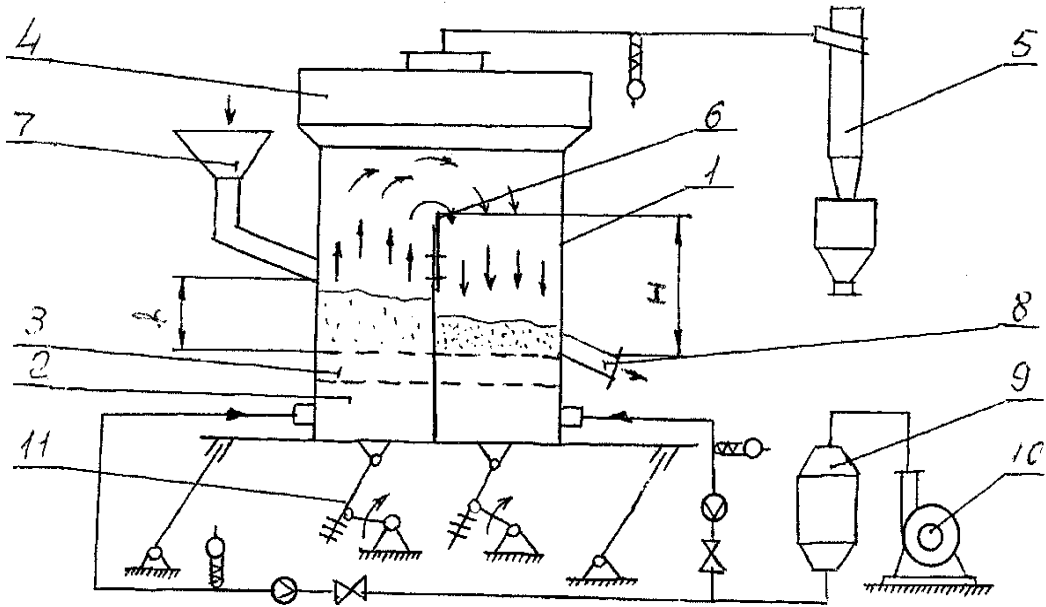
ზემოთ აღნიშნულის გამო მიზანშეწონილია ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის ექსპერიმენტული შესწავლა, რისთვისაც დამზადებული იქნა ჩაის მასაზე ვიბრაციის და თბილი ჰაერის აღმავალი ნაკადის ერთდროული ზემოქმედების სპეციალური ლაბორატორიული ხელსაწყო (ნახ. 26).

გამოსაკვლევი ჩაის მასა შედგებოდა სხვადასხვა ზომის ($l = 4,9-21,75$ სმ) ორ, სამ და ოთხფოთლიანი ღუეებისაგან და ჩაის ცალკეული ფოთლებისაგან მოცულობითი მასით $\gamma = 120-180$ კგ/მ³); ფარდობითი ტენიანობის 76-დან 60%-მდე, ტემპერატურის $T=315$ -დან 325K-მდე და შრის სიმაღლის $h = 60$ -დან 240 მმ-მდე ცვლილებებისას.

ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის შესწავლისათვის დავამუშავე კვლევის ხორციელდებოდა შემდეგი მეთოდიკა.

თანმიმდევრობით ჩავრთე ვიბრატორის, კომპრესორის და ჩამტვირთი დოზატორის ამძრავების. მოვიბრირე გისოსებზე მიწოდებული ჩაის მასის განსაზღვრული რაოდენობა განიცდის ვიბრაციის და თბილი ჰაერის (ქვევიდან ზევით) აღმავალი ნაკადის ერთდროულ ზემოქმედებას.

აფრიანობის სიჩქარის უმცირეს სიდიდედ მივიღე ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც გისოსებზე დაყრილი

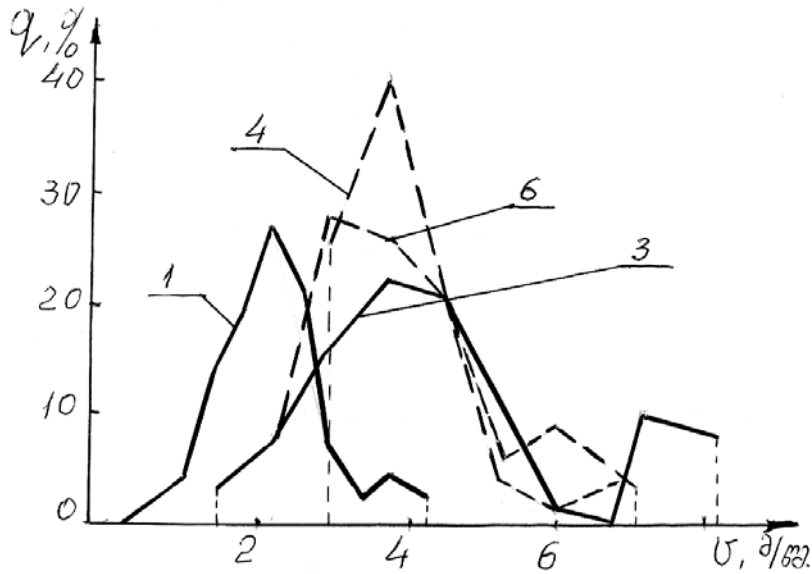


ნახ. 26. ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის განმსაზღვრელი
 ლაბორატორიული ხელსაწყოების სქემა
 1 – საღებო საკანი; 2, 3 – ჰაერგამანაწილებელი; 4 – ჰაერის
 გამყვანი კოლექტორი; 5 – ციკლონი; 6 – მარეგულირებელი
 ზღუდე; 7 – ჩაის მასის მიმღები; 8 – მომდნარი ჩაის მასის
 გამომტვირთი ღარი; 9 – კალორიფერი; 10 – ვენტილიატორი;
 11 – ვიბროამძრავი

ჩაის მასა იწვევს აწევას ჰაერის ნაკადის ზემოქმედებით, ხოლო უდიდეს სიჩქარედ კი სიჩქარის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც აწეული იქნა ჩაის ბოლო დუყები. გისოსებზე დარჩენილი ჩაის მასის აწონვით განვსაზღვრე წატაცებული ჩაის მასის რაოდენობა (%-ში) მოცემულ სიჩქარეზე.

ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების საფუძველზე ავაგე იქნა წატაცების მრუდი (ნახ. 27) და განვსაზღვრე მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის მნიშვნელობები (ცხრ. 4).

ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზიდან ნათლად ჩანს, რომ ჩაის მასის შრის სიმაღლის გადიდებით 80-დან 240 მმ-მდე აფრიანობის სიჩქარე იზრდება 2,67-დან 4,65 მ/წმ-მდე, ხოლო მომდნარი ჩაის მასისთვის კი შრის სისქით გადიდებით 60-დან 180 მმ-მდე, აფრიანობის სიჩქარე იზრდება 3,17-დან 6,13 მ/წმ-მდე.



ნახ. 27. ჩაის დუყების წატაცების პროცენტული რაოდენობის, ჰაერის ნაკადის სიჩქარეზე დამოკიდებულების მრუდი ჩაის მასის შრის სიმაღლის (h) და ფარდობითი ტენიანობის (W) შემდეგი მნიშვნელობების დროს 1. $h = 80$ მმ, $W = 70-75\%$; 2. $h = 160$ მმ, $W = 70-75\%$; 3. $h = 240$ მმ, $W = 70-75\%$; 4. $h = 60$ მმ, $W = 64-60\%$; 5. $h = 120$ მმ, $W = 64-60\%$; 6. $h = 180$ მმ, $W = 64-60\%$

ცხრილი 4

ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის სიდიდის დამოკიდებულება ფარდობით ტენიანობაზე და შრის სიმაღლეზე

№	დასახელება	ფარდობითი ტენიანობა W , %	აფრიანობის სიჩქარე, v , მ/წმ	მოცულობითი მასა γ	შრის სიმაღლე, h , მმ
1	ჩაის მწვანე მასა მოღონობამდე	70-75	2,67-3,27	130-170	80
			3,15-3,73		160
			3,85-4,65		240
2	მომღნარი ჩაის მასა	64-60	3,17-3,81	190-230	60
			3,93-4,57		120
			4,53-6,13		180

2.2.6. ჩაის მასის ტენიანობის და ტემპერატურის ცვლილების გავლენა თბოგამტარობის კოეფიციენტზე

ჩაის საღნობი მანქანის თბური გაანგარიშებისათვის აუცილებელია ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრა

ღნობის პროცესში მოქმედი ფაქტორების მახასიათებლების ცვლილების გათვალისწინებით.

ცნობილია, რომ თბოგამტარობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მოსაღნობი ჩაის ღუყის სტრუქტურაზე, ტენიანობასა და ტემპერატურაზე, საღნობ საკანში ჩაის გახურების გათვალისწინებით, ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტის გზით [22].

შრომებში მოცემულია ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები, მაგრამ არ არის გათვალისწინებული ვაფგ შრეში ღნობის პროცესზე მოქმედი ფაქტორების (ტენიანობა და ტემპერატურა) ცვლილების გავლენა [13; 20; 23; 24; 25; 27].

შავი ბაიხის ჩაის წარმოების ტექნოლოგიური პირობების შესაბამისად, ექსპერიმენტული კვლევებისათვის შერჩეულ იქნა ნედლი და მომღნარი ჩაის მასა. ტენიანობის და ტემპერატურის ცვლილების შემდეგი ინტერვალით: $W=70-60\%$, $T=315-325K$ [19; 28].

ცდები ჩატარდა CM-80 ტიპის მიკრო ეგმ-იან AKTCM კომპლექსურ ავტომატიზებულ ხელსაწყოზე, რომლის დანიშნულებაა წვრილი და მსხვილი დისპერსიული მასალების $T=90-370K$ დიაპაზონში (ნიმუშის ზომები 250×250 მმ² და სიმაღლე 10-50 მმ). თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზომვის სიზუსტე 5%-ს არ აღემატება [29].

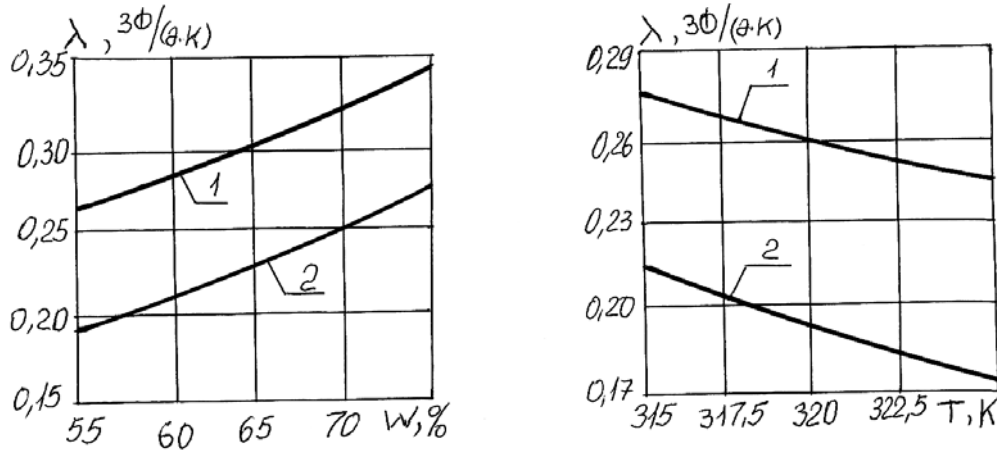
ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებით დადგინდა, რომ თბოგამტარობის კოეფიციენტი წრფივად არის დამოკიდებული ჩაის მასის ტენიანობაზე და ტემპერატურაზე (ცხრ. 5).

ცხრილი 5

ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, როდესაც მისი ფარდობითი ტენიანობა სიდიდე იცვლება 75-დან 60%-მდე, ხოლო ტემპერატურა 315-დან 325K-მდე

№	ჩაის სახე	ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტი λ , ვტ/(მ.)	
		ტენიანობის ცვლილება $W= 75$ -დან 60 -მდე, როდესაც $T=315$	ტემპერატურის ცვლილება $T=315-325K$, როდესაც $W=60\%$
1.	ნედლი ჩაის მასა მოღნობამდე	0,347-0,258	0,275-0,241
2.	მომღნარი ჩაის მასა	0,273-0,197	0,213-0,171

ჩაის ღნობის დროს ფარდობითი ტენიანობის 75-დან 60%-მდე შემცირებისას თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მცირდება 0,347-დან 0,197 ვტ/(მ.კ), ხოლო ტემპერატურის 315-დან 325K-მდე მომატებისას თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მცირდება 0,275-დან 0,171 ვტ/(მ.კ)-მდე (ნახ. 28).



ნახ. 28. ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება:

- ა) ტენიანობაზე; ბ) ტემპერატურაზე: 1 – მოსაღობი ჩაის მასა; 2 – მომღნარი ჩაის მასა

ღნობის პროცესის დაწყებამდე ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 31-59%-ით მეტია მომღნარი ჩაის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე (ცხრ. 5 და ნახ. 28).

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე ტენიანობის მნიშვნელობის ცვლილება უფრო მეტ გავლენას ახდენს, ვიდრე ტემპერატურის მნიშვნელობის ცვლილება.

ჩაის მასის ღნობის პროცესის ექსპერიმენტული გამოკვლევის საფუძველზე გამოვიყვანე ემპირიული ფორმულა, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ზემოდ აღნიშნულ ზღვრებში

$$\lambda = \lambda_{\text{მომღ.}} + 5 \cdot 10^{-4} (T - 215) + 22 \cdot 10^{-4} (W - 60), \quad (79)$$

სადაც $\lambda_{\text{მომღ.}}$ არის მომღნარი ჩაის მასის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, როდესაც $W = 60\%$ და $T = 325\text{K}$.

(79) ფორმულით გამოთვლილი λ -ს მნიშვნელობების განსხვავება ექსპერიმენტით მიღებულისგან შეადგენს 2,3%-ს.

მესამე თავის დასკვნა

მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკური, აეროდინამიკური და თბოფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზის მიხედვით შეიძლება შემდეგი დასკვნის გაკეთება.

ჩაის ნედლეულის ზომების მიხედვით დაყოფა და შემდეგ ცალ-ცალკე ღნობა პრაქტიკულად იწვევს დიდ სირთულეებს: რთული კონსტრუქციის გამოღის ჩაის მასის ზომების დამყოფი მანქანა; რთულდება ჩაის ღნობის წარმოების ორგანიზაცია; იზრდება პროდუქციის თვითღირებულება და მცირდება წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები.

– ექსპერიმენტულად განსაზღვრე მოუმდნარი და მომდნარი ჩაის მასის (I, II და III ხარისხი): მიწებების კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოვიბრირე ზედაპირისათვის გამოსაყენებელ პერსპექტიულ მასალებთან და მათ შორის კონტაქტის ხანგრძლივობაზე; ძვრის საწყისი წინაღობის და შიგა ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები; ღნობის პროცესში აეროდინამიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება ჩაის შრეში გამავალი ჰაერის სიჩქარეზე, შრის სხვადასხვა სიმაღლის დროს; მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების დამოკიდებულება მიწოდებული ჰაერის რაოდენობაზე; ტენის ცვლილების დამოკიდებულება ღნობის პროცესის ხანგრძლივობაზე, შრის სიმაღლის სხვადასხვა მნიშვნელობისას. აფრიანობის სიჩქარის სიდიდის მნიშვნელობები ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობის, შრის სიმაღლის და მოცულობითი მასის მიხედვით; თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის დამოკიდებულება ფარდობითი ტენიანობის და ტემპერატურის სიდიდეებზე; ფარდობითი ტენიანობის $W=75-60\%$ და ტემპერატურის 315-325K ზღვრებში ცვლილებებისას.

– ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების მიხედვით თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის გამოვიყვანე ემპირიული ფორმულა.

2.3. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის და ვიბრაციული გადაადგილების კანონზომიერების კვლევა

2.3.1. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის კვლევა

ჩაის მასის ღნობის ტექნიკა ვითარდება მჭიდრო შრიდან ცალკეული დუყების (კვირტები, ფოთლები, ღეროები) შეწონილ მდგომარეობაში გადასვლის გზით.

კვების მრეწველობის საწარმოებში ფართოდ გამოიყენება დისპერსიული პროდუქტებს ვიბრომდულარე შრეში თბური დამუშავება.

ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისათვის გამოყენებისას მოსალოდნელია ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვანი შემცირება და ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხის მკვეთრი გაუმჯობესება. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას შესაძლებელია აგრეთვე ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის რეგულირება ფართო დიაპაზონში.

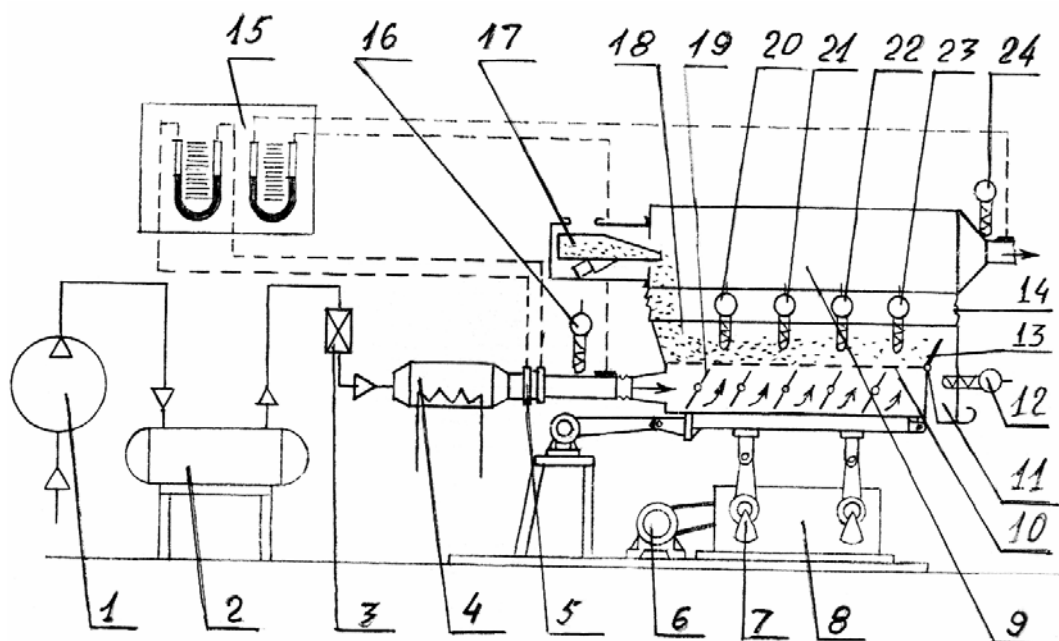
ჩაის მასის ღნობისას მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სითბოს კონვექციური მოწოდების თბო და მასაგადაცემის პროცესები თბილ ჰაერსა და ჩაის მასას შორის და აგრეთვე სითბოსა და ტენის გადატანა ჩაის მასის შიგნით.

გისოსებზე განლაგებული ჩაის მასაში განსაზღვრული სიჩქარით თბილი ჰაერის გატარების და მასზე ვიბრაციის ზემოქმედებისას მასში მიმდინარეობს მთელი რიგი გარდაქმნები. დასაწყისში შრის გაფხვიერება, ხოლო შემდეგ კი მდულარე სითხის მსგავს ვაფგ მდგომარეობაში გადასვლა.

ვაფგ მდგომარეობაში ხდება შრის გაფხვიერება, ინტენსიური არევა და გადაადგილდება. ამავე დროს ჩაის მასის ცალკეულ დუყებს (ფოთლებს) გარსშემოედინება თბილი ჰაერი, რის შედეგადაც ხდება შრის მოცულობაში ჰაერის ტემპერატურის გათანაბრება, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჩაის მასის ღნობის პროცესში [28].

დღეისათვის არ მოიპოვება ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის არც თეორიული და არც ექსპერიმენტული კვლევის ისეთი მონაცემები, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება საღნობი მანქანის რაციონალური კონსტრუქციის დამუშავება.

ცდები ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტულ სტენდზე (ნახ. 29) მუშა ორგანოს რხევის პარამონიული რეჟიმის პარამეტრების, ჩაის მასის ტენიანობის და ჰაერის ნაკადის ტემპერატურის მახასიათებლების შემდეგ ზღვრებში ცვლილებისას: რხევის ამპლიტუდა $A = 0-7$ მმ; რხევის სიხშირე $\omega = 20-30$ რად/წმ, ჰაერის ტემპერატურა $T = 320-330K$; ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობა $W = 75-60\%$ [19].



ნახ. 29. ექსპერიმენტული სტენდის მუშაობის პრინციპული სქემა
 1 – კომპრესორი; 2 – რესივერი; 3 – მარეგულირებელი სარქველი;
 4 ელექტროკალორიფერი; 5 – დიაფრაგმა; 6, 7, 8 – ვიბროამძრავი;
 9 – ხუფი; 10 – ვიბრაციული ღარი; 11 – გამომტვირთი მილტუჩი;
 12, 16, 20, 21, 22, 23, 24 – ელექტროკონტაქტური თერმომეტრები;
 13 – ზღურბლი; 14 – შემამჭიდროებელი ქსოვილი; 15 – მანომეტრი;
 17 – ელექტროვიბრაციული მკვებავი დოზატორი; 18 – ხოკერი;
 19 - დროსელი

საღნობი საკნის შესასვლელში ჰაერის ნაკადის მუდმივი ტემპერატურის შენარჩუნებისათვის გამოყენებული იქნა ელექტროკონტაქტური თერმომეტრი 16, რომელიც შეერთებული იყო კალორიფერის ერთ-ერთ სექციასთან. ჰაერის ხარჯი ისაზღვრებოდა დიაფრაგმის 5 საშუალებით. შრის წინააღობა კი იზომებოდა U -ს მაგვარი მანომეტრით 15. ჩაის მასის მოსაღნობად გამოყენებული ჰაერის ტემპერატურა ისაზღვრებოდა თერმოწყვილების 20,21,22,23 საშუალებით. ჰაერის ტემპერატურა საღნობი საკნის გამომსასვლელში იზომებოდა

თერმოწყვილით 12. ყველა თერმოწყვილები შეერთებული იყო მრავალწერტილიან ЭПП-09M ელექტროპოტენციომეტრთან.

საღნობი საკანი წარმოადგენდა სწორკუთხა კვეთის ხოკერს ჰაერგანმანაწილებელი გისოსებით (ზომა $0,9 \times 0,3$ მ², ნახვრეტების დიამეტრი 1 მმ. ცოცხალი კვეთის ფართობი 22,7%), რომლის დახრა ჰორიზონტთან შეადგენდა $3-5^\circ$ კუთხეს. ვიბრაციული ამძრავის კვანძის კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია ექსცენტრისიტეტის ცვლილება 1-დან 7 მმ-მდე. უსაფეხურო ელექტროამძრავის გამოყენება იძლევა ხოკერის რხევის სიხშირის ცვლილების რეგულირების საშუალებას.

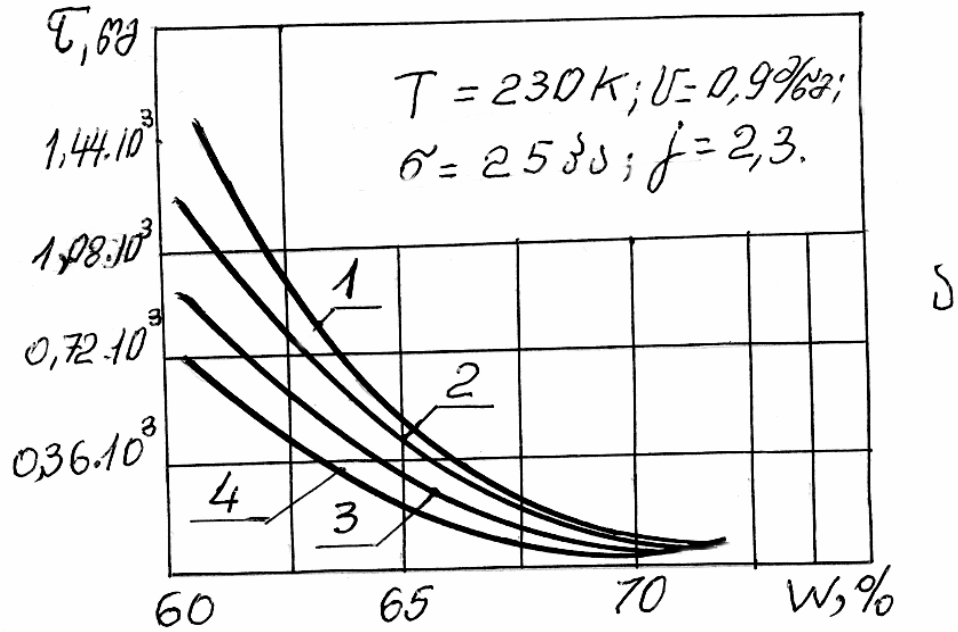
ცდის დაწყების წინ ჩაის მასა იყოფოდა ორ თანაბარ ნაწილად – ერთი ნაწილის ღნობისათვის გამოყენებული იქნა წარმოებაში არსებული საღნობი მანქანები, ხოლო მეორე ნაწილის ღნობისათვის კი გამოყენებული იქნა ექსპერიმენტული სტენდი. განსაზღვრული იქნა ჩაის მასის საწყისი ტენიანობა.

ექსპერიმენტული სტენდის გაშვებისათვის ჩატარებული მოსამზადებელი სამუშაოების შემდეგ იგი ჩართული იქნა ელქსელში და როდესაც საკანში დამყარებული იქნა მუდმივი ტემპერატურის რეჟიმი დაიწყო მასში ტენიანი ჩაის მასის ჩატვირთვა.

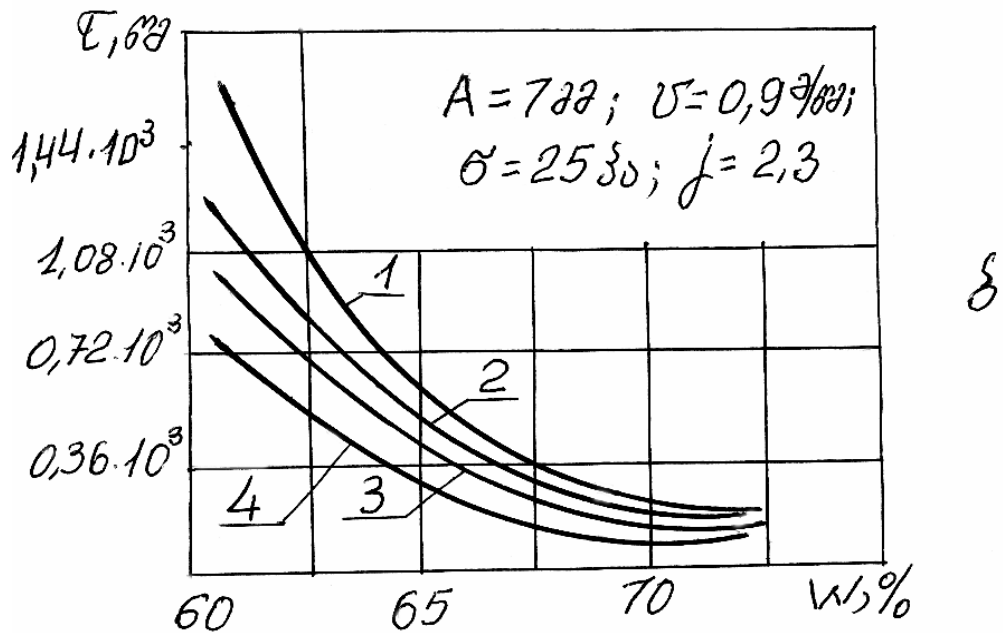
ექსპერიმენტული სტენდის გამოსასვლელში ჰაერის მუდმივი ტემპერატურის მიღწევის მომენტიდან დაფიქსირებულ იქნა: ჩაის მასის ტემპერატურა: ვაფგ შრის სიმაღლე; შრის წინაღობა და ჰაერის ტემპერატურა გასასვლელში. ცდის ჩატარების პროცესში და დამთავრების შემდეგ აღებული იქნა ვიბროლარის სხვადასხვა წერტილებში ნიმუშები და განსაზღვრული იქნა მათი ფარდობითი ტენიანობა.

ექსპერიმენტულ სტენდზე მომღწარი ჩაის მასიდან მიღებული მზა პროდუქციის საცდელი ნიმუშების ხარისხობრივი მაჩვენებლები შედარებული იქნა ჩაის საწარმოებში არსებულ ჩაის საღნობში მომღწარი ჩაიდან მიღებულ მზა პროდუქციის საკონტროლო ნიმუშების ხარისხობრივ მაჩვენებლებთან (ნახ. 30).

ცდის შედეგებიდან (ნახ. 30) ჩანს, რომ რხევის ამპლიტუდის მომატებით მცირდება ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა და ჩაის მასის კრიტიკული ტენიანობის მნიშვნელობა, იზრდება ღნობის მუდმივი სიჩქარის მონაკვეთი. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ რხევის



1. $A = 1$ მმ; 2. $A = 3$ მმ; 3. $A = 5$ მმ; 4. $A = 7$ მმ



ნახ. 30. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჩაის მასის ფარდობით ტენიანობაზე მუშა ორგანოს რხევის სხვადასხვა ამპლიტუდის (ა) და ჰაერის ტემპერატურისას (ბ)
 1. $T = 320\text{K}$; 2. $T = 324\text{K}$; 3. $T = 327\text{K}$; 4. $T = 330\text{K}$;

ამპლიტუდის $A = 3$ მმ-მდე მნიშვნელობისას ჩაის შრეზე ვიბრაციული ზემოქმედება მნიშვნელოვან გავლენას თითქმის არ ახდენს. აორთქლების ინტენსივობის მცირედი გაზრდა უძრავ შრესთან შედარებით შეიმჩნევა ბმული ტენის აორთქლების მოცილების დროს. ეს

აიხსნება იმით, რომ ვიბრაციის აღნიშნული პარამეტრების ზოგიერთი მცირე მნიშვნელობების დროს ჩაის ტენის მასიდან მოცილება თითქმის არ მიმდინარეობს და ვაფგ შრეში პროცესის მიმდინარეობის პირობებში მცირედ განსხვავდება უძრავი შრის პირობებისაგან. ტენის მოცილებით ჩაის ფოთლის მახასიათებლები იცვლება, ხოლო ჩაის მასის გადაადგილების ინტენსივობა კი იზრდება, ხოლო ეს კი თავის მხრივ ხელს უწყობს ღნობის პროცესის სიჩქარის ზრდას.

ჰაერის ტემპერატურის ჩაის მასის ინტენსივობაზე გავლენის კვლევებმა, უჩვენეს, რომ ჰაერის ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის და ჩაის მასის კრიტიკული ტენიანობის შემცირებას. ასე მაგალითად ჩაის საღნობი მანქანაში შესვლის ჰაერის ტემპერატურის ზრდა 320K-დან 330K-მდე იწვევს ჩაის მასის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის 4-12-ჯერ შემცირებას [3]. ჩაის მასის ღნობის პროცესისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ჰაერის ტემპერატურის გავლენას საბოლოო პროდუქციის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. ცნობილია, რომ უძრავი ჩაის შრეში ღნობის დროს ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურაა 318K [3]. მაგრამ ამასთან ერთად ჰაერის ოპტიმალური ტემპერატურა დიდად არის დამოკიდებულია ღნობის მეთოდზე.

ჩაის მზა პროდუქციის ტიტისტერული შეფასების შედეგების მიხედვით ჩანს, რომ უძრავ შრეში მომდნარი ჩაის ხარისხი იწყებს შემცირებას $T_3 = 318K$ ტემპერატურის ზევით, ხოლო ვაფგ შრეში მომდნარი ჩაის ხარისხი არ მცირდება ჰაერის ტემპერატურის გაზრდით $T_3=330K$ -მდე. ჰაერის ტემპერატურის შემდეგი მომატება კი იწვევს ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას. უნდა აღინიშნოს, რომ ვაფგ შრეში მომდნარი ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები უკეთესი იყო, ვიდრე უძრავ შრეში მომდნარი ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები. რაც აიხსნება ვაფგ შრეში ღნობის დროს ჩაის ღუეის ვერტიკალური გადაადგილებით და მასთან თბილი ჰაერის საკონტაქტო ზედაპირის ფართობის გადიდებით.

ჩაის მასის ტემპერატურის ცვლილება ვიბრაციის და ღნობის სხვადასხვა რეჟიმის პარამეტრების ცვლილებამ აჩვენა, რომ ვაფგ მდგომარეობაში ჩაის მასის ტემპერატურის სხვაობა შრის სიმაღლის

მიხედვით არ აღემატება 2K, ხოლო განსხვავება ჩაის მასის და ჰაერის ტემპერატურებს შორის საღნობი მანქანიდან გამოსვლის მომენტში შეადგენდა არაუმეტეს 5-8K.

ჩაის მასის გახურების და ღნობის კინეტიკის კვლევების შედეგებმა აჩვენეს, რომ ჩაის მასის შრეზე ვიბრაციული ზემოქმედება ამცირებს: ღნობის პროცესის ხანგრძლივობას; ჩაის მასის კრიტიკული ტენიანობის სიდიდეს და აღიღებს საღნობი მანქანის მწარმოებლობას, როგორც აორთქლებული ტენის ასევე მომდნარი ჩაის მასის მიხედვით, ხოლო მუშა ზედაპირის კუთრი დაძაბულობა აორთქლებული ტენის მიხედვით იზრდება 18-ჯერ. დადგენილი იქნა, რომ ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე; ტენიანობაზე, ვიბროლარის ვიბრაციის პარამეტრებზე და ჩაის მასის საწყის ტენიანობაზე.

ცდის შედეგების ანალიზის შედეგების მიხედვით გამოყვანილია ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის სინქარის განმსაზღვრელი ემპირიული ფორმულა

$$dW/d\tau = (dW - W_{gr})\tau + A(+1) \quad (80)$$

სადაც dW და dW_{gr} ჩაის მასის საწყისი და კრიტიკული ფარდობითი ტენიანობაა, %-ში;

τ – ჩაის მასის ღნობის ხანგრძლივობა, წმ-ში;

A – რხევის ამპლიტუდა, მმ-ში.

ფორმულა (80) სამართლიანია ცვლადების ზემოთ აღნიშნულ ზღვრებში ცვლილებისას.

ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ანალიზმა გვაჩვენა, რომ ვაფგ შრეში ღნობისას ჩაის მასაზე ვიბრაციის და ჰაერის აღმავალი ნაკადის ერთდროული ზემოქმედებისას ჩაის მზა პროდუქციის საცდელი ნიმუშების ხარისხობრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად აღემატებოდა უძრავ შრეში მომდნარი ჩაის მზა პროდუქციის საკონტროლო ნიმუშების ხარისხობრივ მაჩვენებლებს.

2.3.2. ღნობის პროცესში ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის დინამიკა

ჩაის ფოთლის გადამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ღნობის პროცესის ოპტიმალურ პირობებში წარმართვას. ამჟამად მრეწველობაში გამოიყენება სხვადასხვა მოდიფიკაციის საღნობი დანადგარები. მცირე საწარმოებისათვის არსებული საღნობი მანქანების გაბარიტული ზომების მექანიკურმა შემცირებამ სათანადო შედეგი ვერ გამოიღო, რაც გამოწვეულია იმით, რომ დაირღვა ჰაერის მოძრაობის კანონზომიერება და იგი არაეფექტურად იქნა გამოყენებული. ამასთან, გაიზარდა ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა, რამაც, თავის მხრივ, უარყოფითად იმოქმედა პროდუქციის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე, აქტუალური გაზდა მცირე გაბარიტიანი მაღალეფექტიანი საღნობი მანქანების შექმნა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია ღნობის პროცესში მოსაღნობი ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის დინამიკის შესწავლა და მიღებული შედეგების საფუძველზე საღნობიდან მანქანის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. ჩაის ფოთლის ღნობის პროცესს მრავალი მაშრომი ეძღვნება, რომლებშიც ძირითადად განხილულია თბო- და მასა-გადაცემის პროცესები ჰაერის ჩაის ფოთლის ზედაპირიდან ურთიერთობის პირობებისათვის, ხოლო მოსაღნობი ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის დინამიკა არასაკმარისად არის შესწავლილი და არასრულყოფილია მისი გაანგარიშების მეთოდი.

მომღნარი ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობა წააგავს ფილტრაციის პროცესს. ამ დაშვებიდან გამომდინარე, ზოგიერთი მისი კანონზომიერება შეიძლება გამოყენებულ იქნას ღნობის პროცესის უფრო ღრმად შესასწავლად [21; 30; 31].

ღნობის პროცესში მოსაღნობი ჩაის ფოთლზე მოქმედებს მრავალი ფაქტორი, რომელზეც დამოკიდებულია ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობა, თბო- და მასაგადაცემის პროცესები. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ნორმალურად წარმართვისათვის მნიშვნელოვანი ფაქტორია ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის სინქარე. ეს მაჩვენებელი წარმოადგენს მრავალკომპონენტურ ფუნქციას და მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$V = \frac{P(1-P/G)}{\sigma_0 S_0 \mu}, \quad (81)$$

სადაც P – წნევა საღნობ საკანში, პა;

G – ჩაის მასის დრეკადობის მოდული, კგ/მ²;

σ_0 – ჩაის მასის სტრუქტურული წინააღმდეგობა, 1/მ²;

μ – ჰაერის სიბლანტე, პა, წმ/მ²;

S_0 – ჩაის მასის ფენის სისქე, მ.

ღნობის პროცესის ნორმალურად წარმართვისათვის აუცილებელია ჰაერის მოცულობის რაოდენობის ცოდნა, რომელიც გაივლის მოსაღნობ ჩაის მასაში. მისი გაანგარიშება შესაძლებელია შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$Q = F \sqrt{\frac{2P(1-P/G)t}{\sigma_0 \mu \varepsilon}}, \quad (82)$$

სადაც F ჩაის მასის ჰაერთან შეხების ზედაპირის ფართობია, მ².

ღნობის პროცესში მოსაღნობი ჩაის ფოთლის ფენის წინააღმდეგობა მცირდება და შესაბამისად იზრდება ჰაერის სიჩქარე და ღნობის პროცესის ინტენსივობა. დროის მონაკვეთი, რომლის დროსაც ჩაის მასის წინააღმდეგობა მცირდება, მათემატიკურად შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს

$$\tau = \frac{(H_1^2 - H_2^2)(1-P/G)}{2P\sigma_0\mu\varepsilon}, \quad (83)$$

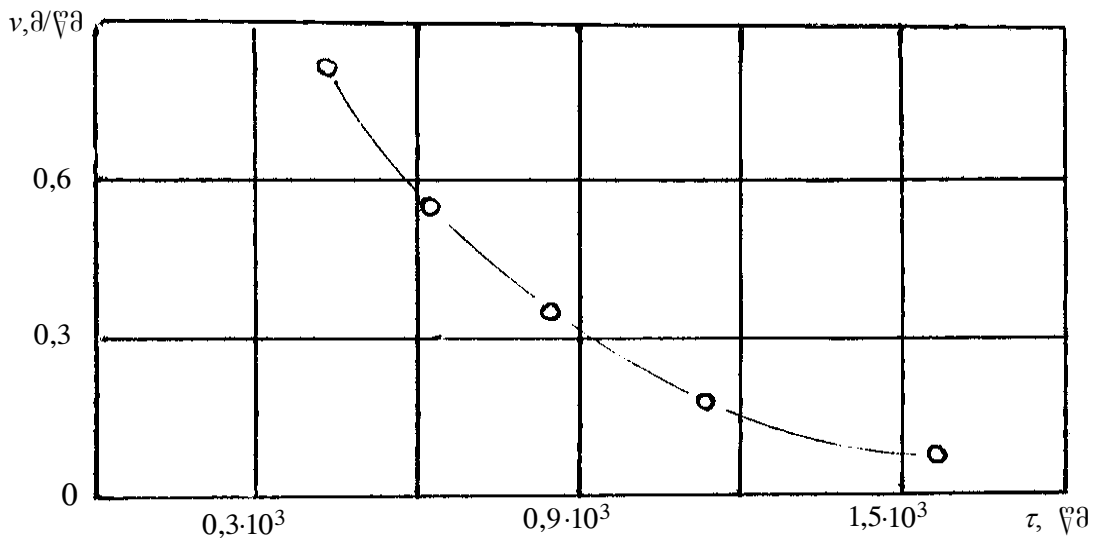
სადაც (H_1-H_2) –ჰაერის მოძრაობისას ჩაის მასის შრის წინააღმდეგობის ცვლილებაა, მ-ში;

ε – ჩაის მასის ფორიანობა, მ³.

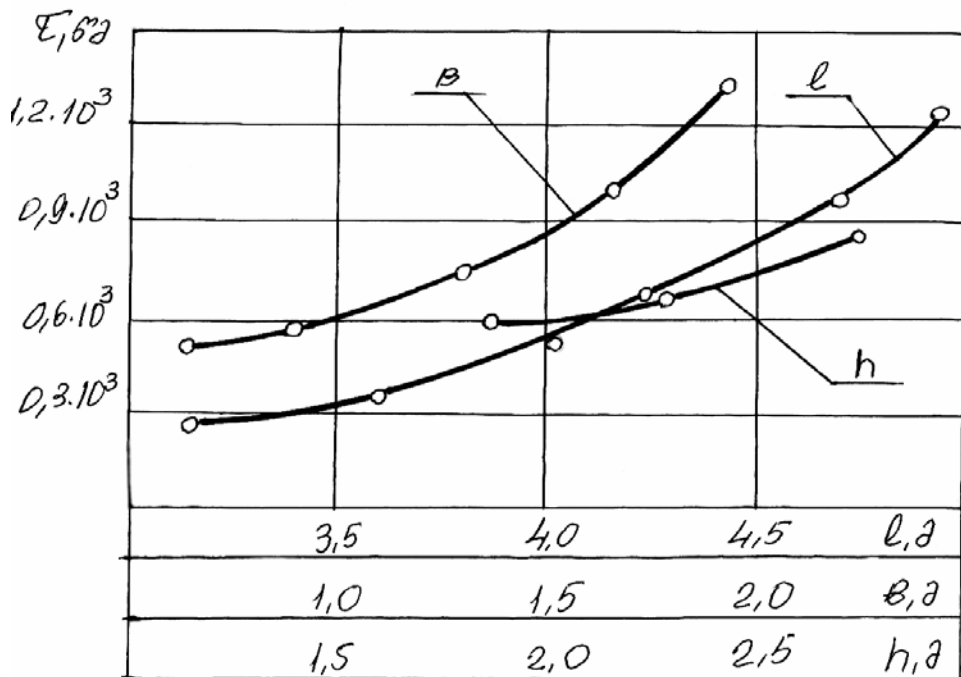
(ნახ. 31)-ზე მოცემულია მოსაღნობი ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის დამოკიდებულება ღნობის დროზე. გრაფიკიდან ჩანს, რომ ფენაში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის მომატებით ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა მცირდება, ანუ ღნობის სიჩქარე იზრდება გარკვეულ ზღვრამდე. მისი შემდგომი მომატებისას ცვლილება უმნიშვნელოა. მაშასადამე, მაღალი სიჩქარის პირობებში დიდია თბური ენერჯიის დანაკარგები.

ჩაის მრეწველობაში არსებული ჩაის საღნობი მანქანების მუშაობის გაანალიზებით დადგინდა, რომ ჩაის მასაში ჰაერის

მოდრაობის სიჩქარე ძალიან დაბალია, რის შედეგადაც იზრდება ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა. აღნიშნულის მიზეზი ხშირად საღნობი საკნის კონსტრუქციული პარამეტრების არასწორი შერჩევაა, რის გამოც ირღვევა ჰაერის განაწილების კანონზომიერება, საღნობ საკანში იქმნება არაერთგვაროვანი წნევა, რაც აძნელებს სასურველი შედეგის მიღებას.



ნახ. 31. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჰაერის მოძრაობის სიჩქარეზე



ნახ. 32. ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება საღნობი საკნის გაბარიტულ ზომებზე

ჰიდროდინამიკისა და აეროდინამიკის კანონებზე დაყრდნობით ჩავატარეთ ექსპერიმენტი და გავიანგარიშეთ ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება საღნობი საკნის გაბარიტულ ზომებზე [12; 21]. (ნახ. 82) ჩანს, რომ საღნობი საკნის გაბარიტული ზომების შემცირების გარკვეულ ზღვრამდე იზრდება ჩაის ფენაში ჰაერის სიჩქარე და შესაბამისად ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა. სხვადასხვა მწარმოებლობის მანქანების დასამზადებლად აუცილებელია შეიქმნას მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მოცემული მწარმოებლობის მიხედვით გავიანგარიშოთ საღნობი მანქანების კონსტრუქციების ოპტიმალური ზომები. აღნიშნულის განსახორციელებლად გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი [1; 32] თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგინდა ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ღნობის პროცესზე ჩაის ღნობის დროს გამოყენებული ტექნოლოგიური პირობების გათვალისწინებით. ეს ფაქტორებია: \bar{x}_1 – ჩაის მასაში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე, \bar{x}_2 – საღნობი საკანის სიგრძე, \bar{x}_3 – საღნობი საკანის სიგანე, \bar{x}_4 – საღნობი საკანის სიმაღლე ოპტიმიზაციის კრიტერიუმად მივიღეთ საღნობი მანქანის მწარმოებლობა. სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის 2^4 ჩატარების შედეგად მივიღეთ გამოსახულება, რომელიც ასახავს მოცემული ფაქტორების გავლენას ოპტიმიზაციის კრიტერიუმზე:

$$Y = 37,156 + 2,135\bar{x}_1 - 2,2825\bar{x}_2 - 2,405\bar{x}_4. \quad (84)$$

მიღებული გამოსახულებით შეიძლება ჩავატაროთ პროცესის ოპტიმიზაცია და მივიღოთ საღნობი საკანის ოპტიმალური პარამეტრები, რაც საშუალებას იძლევა ნაკლები ენერგოდანახარჯების პირობებში ავამაღლოთ პროცესის ეფექტიანობა, პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების შენარჩუნებით.

2.3.3. ვაფგ შრეში ჩაის მასის მოძრაობის პროცესის კვლევა

შავი ბაიხის ჩაის წარმოებაში ერთ-ერთ მეტად ენერგოტევად პროცესს წარმოადგენს ჩაის ღნობის პროცესი. ამავე დროს ჩაის თანაბარი ღნობა და ხარისხი ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორია პროდუქციის საბოლოო ხარისხის მისაღებად.

დღეისათვის ჩაის წარმოებაში გამოყენებული ლენტურ-კონვეიერული საღნობი აგრეგატი სითბოს კონვექციური მიყვანით ხასიათდება მთელი რიგი მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებებით, რომელთა შორის ძირითადია არათანაბარი ღნობა. ეს კი უარყოფითად მოქმედებს ტექნოლოგიური პროცესის შემდეგ ოპერაციებზე და ამცირებს მზა პროდუქციის ხარისხს [19; 33; 34; 35; 36; 37; 38].

ბოლო წლებში ჩაის ნედლეულში მნიშვნელოვნად გაიზარდა უხეში და მოუხეშო ფრაქციის რაოდენობა (30% გათვალისწინებული 8%-ის ნაცვლად). რაც იწვევს 20-30% საღნობი აგრეგატის მწარმოებლობის შემცირებას და ჩაის ფოთლის ღნობის არათანაბრობის გაზრდას [9; 11].

ყოველივე ეს გვაფიქრებინებს ჩაის მასის თბური დამუშავების ისეთი მეთოდის ძიებას, როდესაც ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაციასთან ერთად მიიღება თანაბრად მომდნარი ჩაის მასა [39; 40; 41; 42; 43; 44].

აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა ჩაის დუყების (კვირტი, ფოთოლი, ღერი) და ჩაის მასის თეორიული და ექსპერიმენტალური გზით მოძრაობის პროცესის შესწავლა მოვიბრირე სიბრტყეზე ვიბრაციის ცვალებადი კუთხის და თბილი ჰაერის ქვემოდან შებერვისას [38].

ჩაის მასის მოძრაობის განტოლება ვიბრაციული ღარის ჰარმონიული რეჟიმის დროს ჩაიწერება შემდეგი სახით [14; 45; 46; 47].

$$\varphi = \varphi_0 \sin \omega \tau, \quad (85)$$

სადაც φ – ბარბაცას საწყისი მდგომარეობიდან მობრუნების კუთხეა;

φ_0 – კუთხური ამპლიტუდა ($\varphi_0 = a/l$);

l – მხრეულის სიგრძე;

ω – რხევის ციკლური სიხშირე;

τ – ბარბაცას მობრუნების დრო.

ჩაის დუყის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებებს კოორდინატთა ღერძებზე xoy სისტემაში ექნება შემდეგი სახე

$$m \frac{d^2 s}{dx} = -mg \sin \alpha + ml \varphi_0 \omega^2 \sin \omega \tau \cos(\beta - \varphi) - ml \varphi_0^2 \omega^2 \cos^2 \omega \tau \sin(\beta - \varphi) + T + mg \cos \gamma, \quad (86)$$

$$m \frac{d^2 s}{dy} = -mg \cos \alpha + ml\varphi_0 \omega^2 \sin \omega \tau \sin(\beta - \varphi) +$$

$$+ ml\varphi_0^2 \omega^2 \cos^2 \omega \tau \cos(\beta - \varphi) + N + mg \sin \gamma, \quad (87)$$

ჩაის დუყის მოვიბრირე ზედაპირიდან მოწყვეტის პირობას ექნება შემდეგი სახე

$$\omega > \omega_{\text{კბ}} = \sqrt{\frac{g(\cos \alpha + \sin \gamma)}{a \sin(\beta - \varphi_0)}}, \quad (88)$$

სადაც m – ერთეული ჩაის დუყის მასაა;

T და N – მოვიბრირე სიბრტყის მხები და ნორმალური რეაქციის ძალებია;

β – ვიბრაციის საწყისი კუთხე, α და γ მოვიბრირე სიბრტყის და ჰაერის გამანაწილებელი გისოსების ნახვრეტების დერძების დახრის კუთხე ჰორიზონტალურ სივრტყესთან.

შეიმჩნევა, რომ მოვიბრირე ზედაპირიდან ჩაის დუყის მოწყვეტა და თავისუფალი მოძრაობა შეიძლება მოხდეს დახრილ სიბრტყეზე მხოლოდ ზევით სრიალის შემდეგ. როდესაც მხები და ნორმალური ძალები $T = 0$ და $N = 0$ ჩაის დუყის თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{d^2 s}{dx^2} = -g \sin \alpha + l\varphi_0 \omega^2 \sin \omega \tau \cos(\beta - \varphi) -$$

$$- l\varphi_0^2 \omega^2 \cos \omega \tau \sin(\beta - \varphi) + g \cos \gamma, \quad (89)$$

$$\frac{d^2 s}{dy^2} = -g \cos \alpha + l\varphi_0 \omega^2 \sin \omega \tau \sin(\beta - \varphi) +$$

$$+ l\varphi_0^2 \omega^2 \cos \omega \tau \cos(\beta - \varphi) + g \sin \gamma. \quad (90)$$

თუ მოვიბრირე სიბრტყის ზედაპირიდან ჩაის დუყის მოწყვეტა მოხდა ფარდობითი სრიალის შემდეგ, მაშინ საწყისი პირობა მიიღება (89) და (90) განტოლებების ინტეგრირებით, როდესაც

$$T = Ntg\rho,$$

სადაც ρ ხახუნის კუთხეა და როდესაც $\rho < \alpha$ შესაძლებელია სრიალი ზემოთ და როცა $\rho > \alpha$ შესაძლებელია სრიალი ქვემოთ.

ჩაის დუყის ფრენის შეწყვეტა ანუ მოვიბრირე სიბრტყესთან კონტაქტის მომენტი ხასიათდება განსაზღვრული კუთხით, რომლის

დროსაც $y = 0$. იტერაციული განტოლების ნიუტონის ფორმულის ამოხსნით, ვლემულობთ ჩაის ღუყის ფარდობითი სიჩქარის შესაბამისად პროექციას მოვიბრირე სიბრტყეზე დაცემის მომენტში და მის გასწვრივ გადაადგილებისას.

თუ ჩაის ღუყი გაჩერდება განსაზღვრული სიდიდის ფაზურ კუთხეზე, მაშინ მისი შემდეგი მომატებისას იწყება სრიალი ზემოთ (შესაძლებელი სიმშვიდის პირველი არე).

შემდეგი ცდები ჩატარებული იქნა ჩაის მასის გასაშუალებულ ნიმუშებზე.

ექსპერიმენტული მონაცემებიდან ჩანს (ცხრ. 6), რომ დაწყებული $387^{\circ}25'$ -დან ფაზური სიდიდეები მეორდება: ჩაის მასის ზემოთ სრიალის შემდეგ იწყება თავისუფალი მოძრაობა ზემოთ ($227^{\circ}25'$), შემდეგ სრიალი ზემოთ ($6^{\circ}20'$), შემდეგ კი სრიალი ქვემოთ ($127^{\circ}15'$), შემდეგ თავისუფალი მოძრაობა ზემოთ ($227^{\circ}20'$), სრიალი ზემოთ ($6^{\circ}25'$), სრიალი ქვემოთ ($127^{\circ}35'$) და ციკლი მეორდება 360° -ის შემდეგ.

ცხრილი 6

ჩაის მასის მოძრაობის ფაზური ზომები

ბიჯი	არე	დასაწყისი	ბოლო	
1.	სრიალი ზემოთ	$18^{\circ}40'$	$33^{\circ}20'$	$14^{\circ}40'$
2.	თავისუფალი მოძრაობა ზემოთ	$33^{\circ}20'$	$252^{\circ}20'$	$219^{\circ}10'$
3.	სრიალი ზემოთ	$252^{\circ}30'$	$268^{\circ}20'$	$15^{\circ}50'$
4.	სრიალი ქვემოთ	$268^{\circ}20'$	$386^{\circ}40'$	$118^{\circ}20'$
5.	თავისუფალი მოძრაობა ზემოთ	$387^{\circ}25'$	$614^{\circ}50'$	$227^{\circ}25'$
6.	სრიალი ზემოთ	$615^{\circ}50'$	$621^{\circ}10'$	$6^{\circ}20'$
7.	სრიალი ქვემოთ	$621^{\circ}10'$	$748^{\circ}25'$	$127^{\circ}15'$
8.	თავისუფალი მოძრაობა ზემოთ	$748^{\circ}25'$	$975^{\circ}45'$	$227^{\circ}20'$
9.	სრიალი ზემოთ	$975^{\circ}45'$	$982^{\circ}10'$	$6^{\circ}25'$
10.	სრიალი ქვემოთ	$982^{\circ}10'$	$1109^{\circ}45'$	$127^{\circ}35'$

ანალოგიურად მიიღება იმ შემთხვევებისათვისაც, როდესაც ჩაის მასა ჩერდება აღნიშნული სიდიდის ფაზურ კუთხეზე, ხოლო შემდეგი მისი ცვლილება იწვევს ქვემოთ სრიალს.

ჩაის მასის მოვიბრირე სიბრტყეზე მოძრაობისას განვლილი მანძილის და საშუალო სიჩქარის გამოთვლილი მნიშვნელობები ციკლის დროს მოცემულია ცხრ. 7-ში.

ჩაის მასის მოძრაობისას განვლილი მანძილი და საშუალო სიჩქარე ციკლის დროს

№	ბრუნვის სიხშირე n , ბრ/წთ	კუთხური სიხშირე ω , წმ ⁻¹	განვლილი მანძილი s , მ	მოძრაობის სიჩქარე v , მ/წმ	შენიშვნა
1	220	23,07	0,008	0,032	მოწვევების გარეშე
2	260	27,21	0,016	0,071	მოწვევების გარეშე
3	280	29,31	0,032	0,169	მოწვევებით
4	320	33,49	0,045	0,249	მოწვევებით

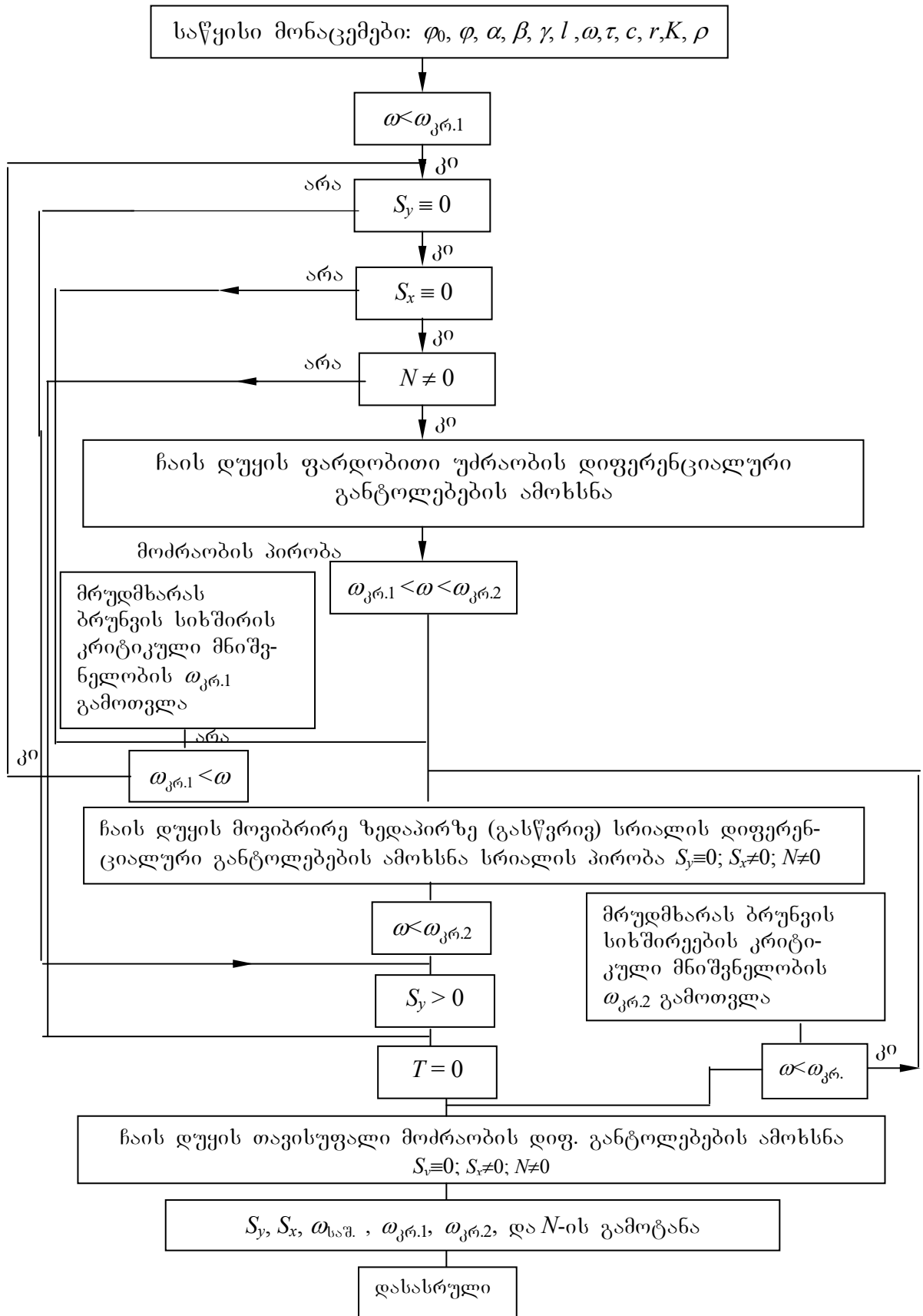
ჩაის დუყის მოძრაობის (ფარდობითი უძრაობა, სრიალი და თავისუფალი მოძრაობა) დიფერენციალური განტოლებების და კრიტიკული სიჩქარეების (სრიალის ქვედა და ზედა ზღვარი) შესაბამისი ბრუნვის სიხშირეების განტოლებების ამოხსნისათვის დავამუშავე ბლოკ-სქემა (ნახ. 33).

ფორმულები გამოყვანილია ჩაის დუყისათვის და არა მთელი მასისათვის, რომელიც ვისოსებზე გადაადგილება შრის გარკვეული სისქით. ბრუნვის სიხშირის საბოლოო კორექტირებისათვის გავითვალისწინეთ კოეფიციენტი K , რომლის მნიშვნელობა დადგენილი იქნა ექსპერიმენტულად და ტენიანობის მიხედვით იცვლება $K=1,4$ -დან $1,8$ -მდე.

2.3.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების გავლენა პროცესის ხანგრძლივობაზე

ჩაის ფოთლის ღნობა რთული ბიოტექნოლოგიური პროცესია. ლიტერატურული წყაროების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ღნობას თან ახლავს დუყებში ქიმიური ცვლილებებიც. ღნობის პროცესის გახანგრძლივებისას იზრდება მშრალი ნივთიერებებისა და ფენოლური ნაერთების დანაკარგები [3].

ვაფვ შრეში ჩაის ფოთლის ღნობის დროს შესაძლებელია ჰაერის შედარებით მაღალი ტემპერატურის გამოყენება, რის შედეგად იზრდება



ნახ. 33. ჩაის დუყის მოძრაობის (ფარდობითი უძრავობა, სრიალი და თავისუფალი მოძრაობა) დიფერენციალური განტოლებების ეგმ-ზე გაანგარიშების ბლოკ-სქემა

პროცესის ინტენსივობა და მცირდება პროცესის ღნობის ხანგრძლივობა ვაფგ მდგომარეობაში გადასვლით თანაბრდება ჩაის მასაში ტენის გადაადგილება და მაღლდება ღნობის ხარისხი.

შავი ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ღნობის რეჟიმზე. თავის მხრივ, ჩაის ფოთლის ღნობის ხარისხი დამოკიდებულია: ფოთოლში ტენის რაოდენობასა და ფორმაზე (ბმული და თავისუფალი ტენი); ჰაერის პარამეტრებზე (ტემპერატურა, სიჩქარე, ფარდობითი ტენიანობა); დაყრილი ფოთლის ფენის სისქეზე; მუშა ორგანოს რხევის პარამეტრებზე (რხევის კანონი, ვიბრაციის ამპლიტუდის სიხშირე, ფარდობითი აჩქარების სიდიდე, ფაზათა ძვრის კუთხე); საღნობი საკნის გეომეტრიულ პარამეტრებზე [1; 3; 19; 28; 30; 38; 48; 49; 50; 51; 52].

აღნიშნულის ანალიზის საფუძველზე შეირჩა ღნობის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების ოპტიმალური ჯგუფი, მათი ცვლილების არეები, ძირითადი დონეები და ვარირების ინტერვალები (ცხრ. 8).

ცხრილი 8

ჩაის ღნობის პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების დონეები, ცვლილების არეები და ვარირების ინტერვალები

ფაქტორები	ფაქტორების აღნიშვნები და განზომილებები	ინდექსები	ფაქტორების ცვლილების არეები	ფაქტორების დონეები	ფაქტორების ვარირების ინტერვალები
ჰაერის ტემპერატურა	$T_{\text{ჰ}}, K$	X_1	320-330	325	5
ჰაერის სიჩქარე	$V, მ/წმ$	X_2	0,6-0,8	0,7	0,1
ჰაერის ტენშემცველობა	$\varphi, გ\text{ტენი}/კგ$	X_3	15-19	17	2
გისოსების კუთრი დატვირთვა	$\sigma, ნ/მ^2$	X_4	20-28	24	4
ვიბრაციის ამპლიტუდა	$A, მმ$	X_5	3-7	5	2
ვიბრაციის სიხშირე	$f, წმ^{-1}$	X_6	20-30	25	5
მოსაღნობი ჩაის საწყისი ფართობითი ტენიანობა	$W, \%$	X_7	76-60	68	8

წინასწარი ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ ჩაის დუყის მახასიათებლები და ჰაერის ნაკადის განაწილება მასაში განსაზღვრავენ ტენის აორთქლების ხარისხს და ვიბრაციული პარამეტრების მნიშვნელობას.

ცდების შედეგად დადგინდა სასაზღვრო პირობები, კერძოდ, მომღწარი ფოთლის ტენიანობა არ უნდა იყოს 60%-ზე ნაკლები, ხოლო ჰაერის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 330K-ს. ექსპერიმენტები ჩატარდა ტექნოლოგიური მოთხოვნების სრული დაცვით [3]. ექსტრემუმის კვლევის ძირითადი საკითხია ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაცია, ღნობის პროცესის მაღალი ხარისხის მიღწევა და პროცესის ხანგრძლივობის მინიმუმამდე შემცირება.

ჩაის ფოთლის ღნობის პროცესის მათემატიკური აღწერისათვის გამოვიყენეთ მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი [32, 53, 54, 55].

ფაქტორული ექსპერიმენტის რეალიზაციის შედეგად მივიღეთ რეგრესიის განტოლება:

$$Y = 0,892 - 0,1425X_1 - 0,04966X_2 + 0,01529X_3 + 0,02116X_4 - 0,00003X_5 - 0,0089X_6 + 0,038785X_7. \quad (91)$$

მიღებული განტოლება (91) წრფივია და მისი ოპტიმალური პირობების გამოკვლევისათვის მიზანშეწონილია ბოქს-უილსონის მეთოდის გამოყენებით.

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების აბსოლუტული მნიშვნელობების და ღნობის არის მნიშვნელობების შედარების მიხედვით გამორიცხული იქნა პროცესზე უმნიშვნელო გავლენის მქონე კოეფიციენტები. გამორიცხვის შემდეგ (91) განტოლებამ მიიღო შემდეგი სახე:

$$Y = 0,892 - 0,1425X_1 - 0,04966X_2 + 0,01529X_3 + 0,02116X_4 - 0,0089X_6 + 0,038785X_7. \quad (92)$$

მოცემული შემთხვევისათვის ეს ნიშნავს, რომ საღნობი მანქანისათვის მუშა ორგანოს რხევის ამპლიტუდის საშუალო მნიშვნელობა შეესაბამება ოპტიმალურ სიდიდეს, რომლის ცვლილება (შემცირება ან გადიდება) თანაბარი ხარისხით ზრდის ან ამცირებს Y -ის მნიშვნელობას.

(92) განტოლებიდან ჩანს, რომ ჩაის ფოთლის ღნობის ხანგრძლივობაზე ყველაზე მეტად მოქმედებს ჰაერის ტემპერატურა X_1 , ჰაერის სიჩქარე X_4 , ფოთლის დატვირთვა გისოსებზე X_4 და ფარდობითი ტენიანობა X_7 .

განტოლებაში (92) ფაქტორების უგანზომილებო სიდიდეების შესაბამისი ნამდვილი სიდიდეების ჩანაცვლებით მიიღება:

$$\tau = 0,892 - 0,1425(T - 323) - 0,04966(\rho V - 0,5) + 0,01529(\varphi - 0,8) + 0,2116(\sigma - 25) - 0,0089(f - 18) + 0,03878(W - 68). \quad (93)$$

რეგრესიის განტოლების ფიზიკური ინტერპრეტაცია იმაში მდგომარეობს, რომ განტოლების კოეფიციენტები დადებითი ნიშნით მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ზრდის ღნობის ხანგრძლივობას, ხოლო კოეფიციენტის უარყოფითი მნიშვნელობა ამცირებს ღნობის ხანგრძლივობას.

ჰაერის ტემპერატურა T_3 შეზღუდულია დასაშვებ $T_3=230K$ ტემპერატურამდე, ხოლო ჰაერის სიჩქარე $T_3 = 0,9$ მ/წმ-მდე.

ჰაერის სიჩქარის შემდგომმა მატებამ შეიძლება გამოიწვიოს ჩაის დუყის მკვეთრი წატაცება და შედეგად კი კოეფიციენტის უარყოფითი გავლენა ღნობის პროცესზე. გამოკვლევის პროცესში დუყის წატაცება შეადგენდა ჩაის მასის 1-3%-ს.

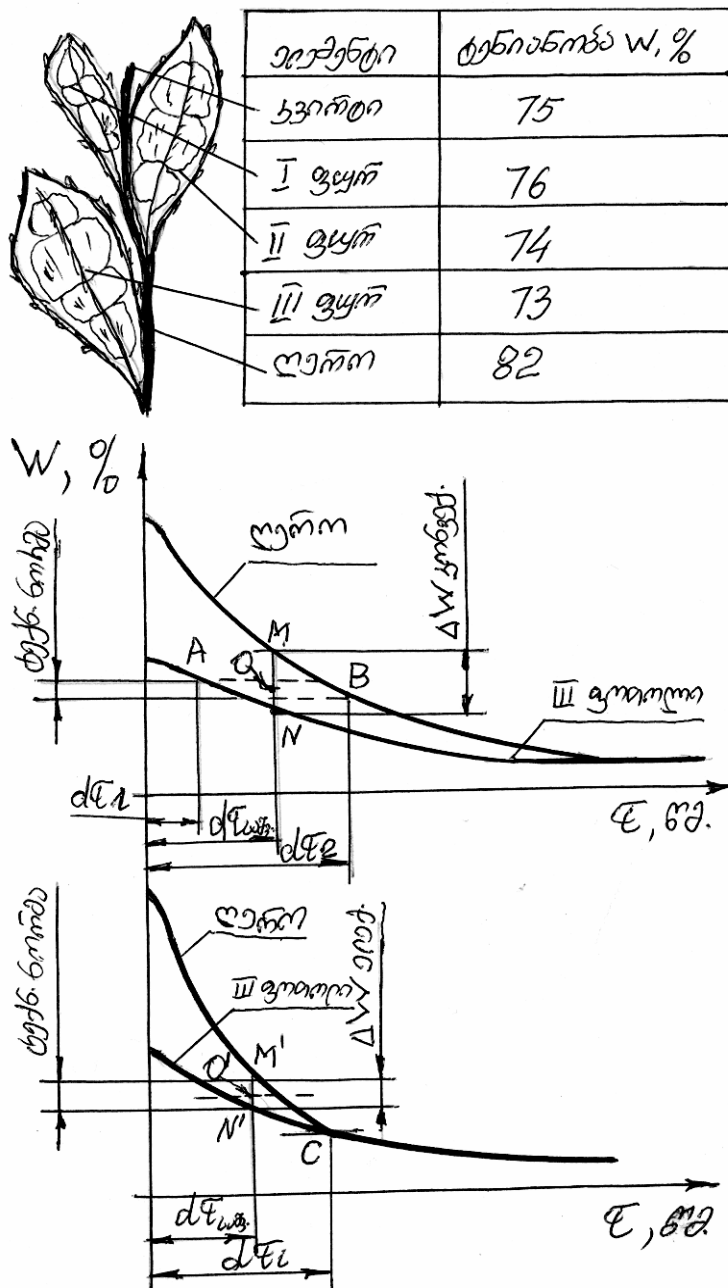
გისოსებზე ჩაის ფოთლის დატვირთვა შეზღუდული იყო არევით და ჰიდროდინამიკის პროცესით.

ღნობის პროცესის ფიზიკური მოდელის რეგრესიის განტოლების ადეკვატურობაზე შემოწმებისათვის გამოყენებულ იქნა ფიშერის კრიტერიუმი, რის საფუძველზეც დადგინდა, რომ მიღებული რეგრესიის განტოლება გამოსაკვლევის პროცესის ადეკვატურია და შეიძლება მისი გამოყენება ჩაის ფოთლის ღნობის პროცესის ოპტიმიზაციისათვის.

მიღებული რეგრესიის განტოლების გამოყენებით შესაძლებელია ფაქტორების სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ჩაის მასის ღნობის ხანგრძლივობის ზუსტი მნიშვნელობის გამოთვლა.

2.3.5. ჩაის ღუეების თანაბარი ღნობის დაჩქარებული მეთოდი

მოკრეფილი ჩაის მასა შედგება ერთმანეთისაგან ტენიანობით განსხვავებული ღუეებისაგან (კვირტები, ღეროები, ფოთლები) (ნახ. 34, ა). თანაბარი ღნობის მისაღწევად, ჩაის პირველადი გადამუშავების ტექნიკური ნორმების შესაბამისად, მოითხოვება მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ღუეის ცალკეული ელემენტების ტენიანობათა შორის სხვაობა.



ნახ. 34. ჩაის ღუეის ელემენტების ფარდობითი ტენიანობის ცვლილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე

ჩაის გარე სითბოს წყაროების დახმარებით დამუშავების შემთხვევაში ჩაის ღუყების ცალკეული ელემენტები, რომლებიც მოხვედრილია მოსაღნობი მასის ზედაპირზე, იმყოფებიან ერთგვაროვან ტემპერატურულ პირობებში. ცხელი ჰაერის ნაკადი მოსაღნობი ჩაის მასის ზედაპირთან შეხების შედეგად კარგავს თბური ენერგიის ნაწილს და მასის სიღრმეში გადაადგილებისას უკვე ნაკლები ინტენსივობით ახდენს ზემოქმედებას.

იმის გამო, რომ ჩაის მასა ხასიათდება დაბალი თბოგამტარობის კოეფიციენტით, ზედაპირზე განლაგებული ფოთლები უფრო სწრაფად განიცდიან ღნობას, ვიდრე მათ ქვემოთ განლაგებულნი. ამიტომ ჩაის მასის სიღრმეში განლაგებული ღუყებისა და ცალკეული ფოთლების მიერ ღნობისათვის საჭირო ტემპერატურის მიღწევის მომენტში შესაძლებელია ჩაის მასის ზედაპირზე მყოფი ღუყების ზედმეტად გადაღნობას ჰქონდეს ადგილი. ცხადია, რომ ასეთ პირობებში პროცესის ხანგრძლივობა და ღნობის თანაბრობა დამოკიდებულია ჩაის ღუყის თბოგამტარობაზე.

პროფესორ ი.ა. ხოჭოლავას მონაცემების მიხედვით ღეროს ღნობისათვის საჭიროა მეტი დრო, ვიდრე ღუყის დანარჩენი ელემენტებისათვის. ეს აიხსნება ერთის მხრივ ღეროს დიდი ტენიანობით, მეორეს მხრივ კი აორთქლების ნაკლები ზედაპირით.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ჩაის ღუყების შემადგენელი ნაწილების განსხვავებული ტენიანობისა და მცირე თბოგამტარობის გამო, ჩაის მასის თანაბარი ღნობის მიღწევა სითბოს გარე წყაროების გამოყენებით თითქმის შეუძლებელია.

ჩაის ღუყის მაღალი სიხშირის დენის გამოყენებით ღნობის შემთხვევაში გაცხელების პროცესი მიმდინარეობს მნიშვნელოვნად განსხვავებულად. მაღალი სიხშირის დენის ელექტრულ ველში ჩაის ფოთლის ელემენტების ყოველი ატომი გადაიქცევა სითბოს დამოუკიდებელ წყაროდ და გამოასხივებს თბურ ენერგიას, რის გამოც ჩაის მასის გაცხელების პროცესი ადარაა დამოკიდებული ისეთ ხელისშემშლელ პარამეტრზე, როგორცაა თბოგამტარობა [56, 57].

ჩაის მასის მოცულობის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს ხვედრითი სიმძლავრე გამოისახება ცნობილი დამოკიდებულებით

$$N_0 = 0,555E^2 f \epsilon g d \cdot 10^{-12}, \text{ კგ/სმ}^3 \quad (94)$$

სადაც E – ჩაის მასაში ელექტრული ველის დაძაბულობაა, კვ/სმ;

f – ელექტრული ველის ცვლილების სიხშირეა, ჰც;

ϵ – მასის დიელექტრიკული შეღწევადობაა;

gd – დიელექტრული დანაკარგების კუთხის ტანგენსია.

როგორც ფორმულიდან ჩანს, სიმძლავრე დამოკიდებულია ჩაის მასის დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე ϵ , დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსზე gd , ელექტრული ველის დაძაბულობაზე E და რხევის სიხშირეზე f .

ნამრავლს (ϵgd) უწოდებენ დანაკარგების ფაქტორს, რომელიც არ წარმოადგენს არამუდმივ სიდიდეს, ხოლო რიცხვითი მნიშვნელობა, ელექტრული ველის პოლარობის ცვლილების სიხშირის გარდა, დამოკიდებულია ჩაის მასის ტენიანობაზე. მცირე ტენიანობის შემთხვევაში დანაკარგების ფაქტორს. აქვს მცირე მნიშვნელობები და პირიქით, მნიშვნელოვანი ტენიანობის პირობებში იგი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ამიტომ ჩაის მასაში სითბოს სახით გამოყოფილი ხვედრითი აქტიური სიმძლავრე ინტენსიურად გამოიყოფა უფრო ტენიან ელემენტებში და პირიქით. შესაბამისად, უფრო ტენიანი ელემენტები შედარებით უფრო ინტენსიურად ცხელდებიან და მათი ღნობა უფრო სწრაფად მიმდინარეობს იმ მომენტამდე, როდესაც დანაკარგების ფაქტორები გათანაბრდება, ანუ ადგილი აქვს რელექციურ გაცხელებას.

დასასრულს შეიძლება ითქვას, რომ ჩაის მასაში შემავალი დუყების კვირტებს, რომლებსაც მეტი ტენიანობა აქვთ, ვიდრე ღეროებს – ცხელდებიან უფრო ინტენსიურად, ამიტომ მათი ღნობის სიჩქარე $dw/d\tau$ მეტია ნაკლები ტენიანობის მქონე ელემენტების ღნობის სიჩქარესთან შედარებით. ეს მოვლენა დადებითად მოქმედებს ღნობის პროცესზე, რადგან განაპირობებს ცალკეული ელემენტების ტენიანობათა შემდგომი შემცირების პროცესი გრძელდება ერთი მრუდის გასწვრივ.

რაც შეეხება ღნობის ტემპერატურას, ცნობილია, რომ ჩაის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ფორმირება, რომელიც დაკავშირებულია ფერმენტული ბიოქიმიური გარდაქმნების ნორმალურ მიმდინარეობასთან,

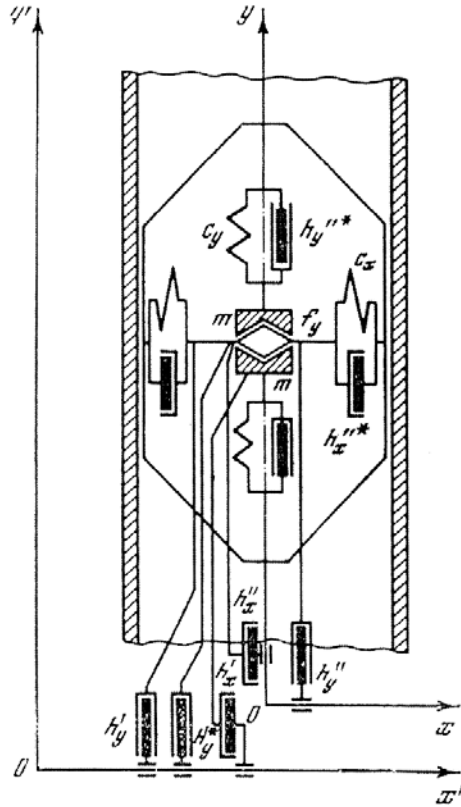
იგი ძირითადად დამოკიდებულია ჩაის დუყების გაცხელების ტემპერატურაზე. მაღალი სიხშირეებით გაცხელებაზე მომუშავე მრავალი ავტორი აღნიშნავს, რომ მაღალსიხშირული გაცხელება იძლევა ჩაის მთელ მოცულობაში ტემპერატურის ერთდროულ და თანაბარ მომატების საშუალებას, რაც სამართლიანია სიხშირეების საშუალო ტალღიან მეტრულ დიაპაზონამდე. მაღალსიხშირული მეთოდის გამოყენებისას გაცხელების პროცესი მომენტალურად წყდება მუშა კონდენსატორზე ძაბვის შეწყვეტისთანავე. მაღალი სიხშირის დენის ველში ჩაის ფოთლის ღნობისას, ტემპერატურის რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს მდოვრედ ჰაერის ტემპერატურიდან ჩაის ღნობის ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდემდე იზოლირებულ ელექტროდსა და ჩაის მასას შორის მანძილის ცვლილების გზით. აღნიშნული მანძილის მნიშვნელოვანი გადიდებით მცირდება ელექტრული ველის ზემოქმედების ინტენსივობა, მცირდება გაცხელების ტემპერატურა და ჩაის საწყისი ტენიანობიდან ტექნოლოგიურ ნორმამდე დაყვანისათვის საჭირო დრო ისეთივე ხდება, როგორც ბუნებრივი ღნობისათვის არის საჭირო [56; 57]

ჩაის დუყის თანაბარი ღნობის მისაღწევად, თბური დამუშავების ხანგრძლიობის შესამცირებლად და მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ასამაღლებლად საკვებით მისაღებია მაღალი სიხშირის დენის ელექტრული ველის ენერჯის გამოყენება.

ზემოთაღნიშნული მეთოდი კიდევ უფრო მეტი ეფექტურობით შეიძლება იქნას გამოყენებული ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის დროს, ვიდრე უძრავ შრეში ღნობისას გამოყენებული ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები შედარებით დაბალი ტემპერატურების (305-315K) ნაცვლად გამოყენებული უფრო მაღალი ტემპერატურები (325-230K) მნიშვნელოვნად ამცირებს პროცესის ხანგრძლიობას.

2.3.6. ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მოდელი

ჩაის მასის ფიზიკურ-მექანიკური, თბოფიზიკური და აეროდინამიკური თვისებების მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე დამუშავებული იქნა ვაფგ შრის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელი (ნახ. 35).



ნახ. 35. ვაფგ შრის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელი

წარმოდგენილი მოდელი ასახავს ჩაის მასის შრეებს შორის მიმდინარე პროცესებს, გამოხატავს მოვიბრირე ზედაპირთან ურთიერთქმედების კანონზომიერებებს, ითვალისწინებს რეალურ ძალებს. კედლებისა და გარემოს ზემოქმედებას და ჩაის მასის მოვიბრირე ზედაპირთან ურთიერთქმედების ხანგრძლივობას [53; 54; 55; 58].

მოდელში m მასის მქონე ჩაის მასის მონოფენის დეფორმაციის მოდელირება ხდება დრეკადი ელემენტებით, რომელთა სიხისტის კოეფიციენტებია c_x და c_y ; ამ მონოფენის დეფორმაციის პროცესში წარმოქმნილი პისტერეზისული დანაკარგების მოდელირება ხდება დემპფერებით, რომელთა სიბლანტის კოეფიციენტებია h_x და h_y ; ჩაის მასის ინერციული მახასიათებლები გამოისახება დაყვანილი მასით m . მასალის შეუქცევადი დეფორმაციების მოდელირება ხდება მშრალი ხახუნის ელემენტით, რომლის კოეფიციენტია f_y . ეს კოეფიციენტი ითვალისწინებს მასალის შემკვრივებას. მოვიბრირე ზედაპირზე ნორმალური რეაქციის სიდიდე მივიღოთ დრეკადი ელემენტის c_x დეფორმაციის პროპორციულად, ხოლო ტანგენციალური რეაქცია

დრეკადი ელემენტის c_y დეფორმაციის პროპორციული. გარდა შინაგანი ძალებისა, მოდელში გათვალისწინებულია გარე ძალების ზემოქმედებაც, რომლებიც წარმოშობილია ჩაის მასაზე ვიბრაციის და ჰაერის ნაკადის ზემოქმედებით. თუ გავითვალისწინებთ ტურბულენტურ რეჟიმს, ზემოთ აღნიშნული წინააღმდეგობები შეგვიძლია მივიღოთ ჩაის მასის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარის მეორე ხარისხის პროპორციულად.

განვიხილოთ ვაფგ შრის ერთმასიანი დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელის მოძრაობის საერთო შემთხვევა, რომელიც წარმოიქმნება რხევების ელექტრომაგნიტური აღმგზნების დახმარებით. ეს უკანასკნელი წარმოქმნის რხევებს, რომლებიც მიმართულია ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი მუშა ზედაპირის მიმართ β კუთხით.

შემოვიღოთ კოორდინატთა ორი სისტემა: ერთი მოძრავი xoy სისტემა, რომელიც ხისტადაა დაკავშირებული მოვიბრირე მუშა ზედაპირთან, მეორე კი უძრავ $x'o'y'$ სისტემა, რომლის y' ღერძი ემთხვევა რხევის მიმართულებას.

მუშა ზედაპირის გადაადგილებების გეგმილები x' და y' უძრავი სისტემის კოორდინატთა ღერძებზე იქნება

$$\begin{aligned} x' &= \cos(\alpha + \beta)S; \\ y' &= \sin(\alpha + \beta)S, \end{aligned} \tag{95}$$

სადაც $S = A \sin \omega t$.

მაშინ x' და y' გეგმილები ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\begin{aligned} x' &= \cos(\alpha + \beta)A \sin \omega t; \\ y' &= \sin(\alpha + \beta)A \sin \omega t. \end{aligned} \tag{96}$$

ვაფგ შრის ერთმასიანი დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელის ფარდობითი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებებს მოძრავი საკოორდინატო ღერძებზე ექნებათ შემდეგი სახე:

დრეკადი დეფორმაციის ეტაპზე

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -m\ddot{x}' - c_x x - h_x^* \dot{x} \\ m\ddot{y} &= -m\ddot{y}' - mg - c_y y - h_y^* \dot{y} - h_y^* (\dot{y}' + \dot{y}) \end{aligned} \tag{97}$$

სრიალის ეტაპზე

$$m\ddot{y} = -m\ddot{y}' - mg - \text{sign}(\dot{y})fN_x - h_y^* (\dot{y}' + \dot{y}). \tag{98}$$

თავისუფალი მოძრაობის ეტაპზე

$$\begin{aligned}
m\ddot{x} &= -m\dot{x}' - h_x''(\dot{x})^2 - [h_x'(\dot{x}'^2 + \dot{x}^2)]K \\
m\ddot{y} &= -m\dot{y}' - mg - [h_y''(\dot{y})^2 - h_y'(\dot{y}'^2 + \dot{y}^2)]K.
\end{aligned}
\tag{99}$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები

$$\begin{aligned}
P_x^2 &= \frac{c_x}{m}; & P_y^2 &= \frac{c_y}{m}; \\
2n_x''^* &= \frac{h_x''^*}{m}; & 2n_y''^* &= \frac{h_y''^*}{m}; \\
2n_x'^* &= \frac{h_x'^*}{m}; & 2n_y'^* &= \frac{h_y'^*}{m},
\end{aligned}$$

სადაც P_x და P_y არის x და y დერძების მიმართულებით ჩაის მასის შრის მოდელის რხევის საკუთარი სისწირეები; $n_x''^*$ და $n_y''^*$ არის x და y დერძების მიმართულებით გადაადგილებისადმი შინაგანი წინააღმდეგობებით განპირობებული ჩაის მასის შრის მოდელის დემპფირების კოეფიციენტები; $n_x'^*$ და $n_y'^*$ არის x და y დერძების მიმართულებით გადაადგილებისადმი გარეგანი წინააღმდეგობებით განპირობებული ჩაის მასის შრის მოდელის დემპფირების კოეფიციენტები.

თუ (96) გამოსახულებას ჩავსვამთ (97), (98) და (99) განტოლებებში, მცირე გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ განტოლებათა სისტემას, რომელიც აღწერს ჩაის მასის ვაფგ შრეში მოძრაობას.

დრეკადი დეფორმაციის ეტაპზე

$$\dot{x} + 2n_x''^* \dot{x} + P_x^2 x = A\omega^2 \sin \omega t \cos(\alpha + \beta); \tag{100}$$

$$\begin{aligned}
\ddot{y} + (2n_y''^* + 2n_y'^*)\dot{y} + P_y''^2 y &= A\omega^2 \sin \omega t \sin(\alpha + \beta) - \\
- 2n_y'^* y A\omega \cos \omega t \sin(\alpha + \beta) - g.
\end{aligned}
\tag{101}$$

სრიალის ეტაპზე

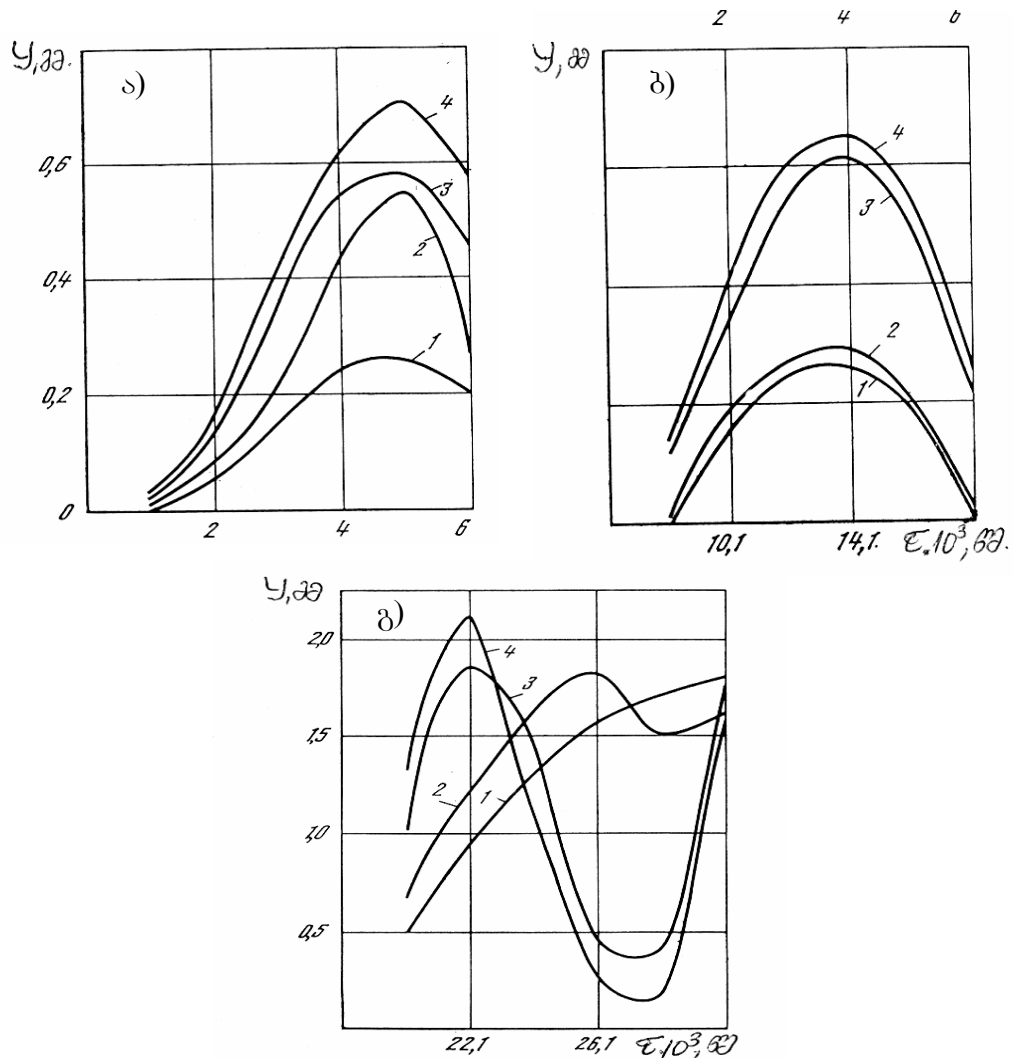
$$\begin{aligned}
\ddot{y} + 2n_y'^* \dot{y} &= A\omega^2 \sin \omega t \sin(\alpha + \beta) - 2n_y'^* A\omega \cos \omega t \sin(\alpha + \beta) - \\
- g - \text{sign}(\dot{y}) f_y \frac{N_x^*}{m}.
\end{aligned}
\tag{102}$$

თავისუფალი მოძრაობის ეტაპზე

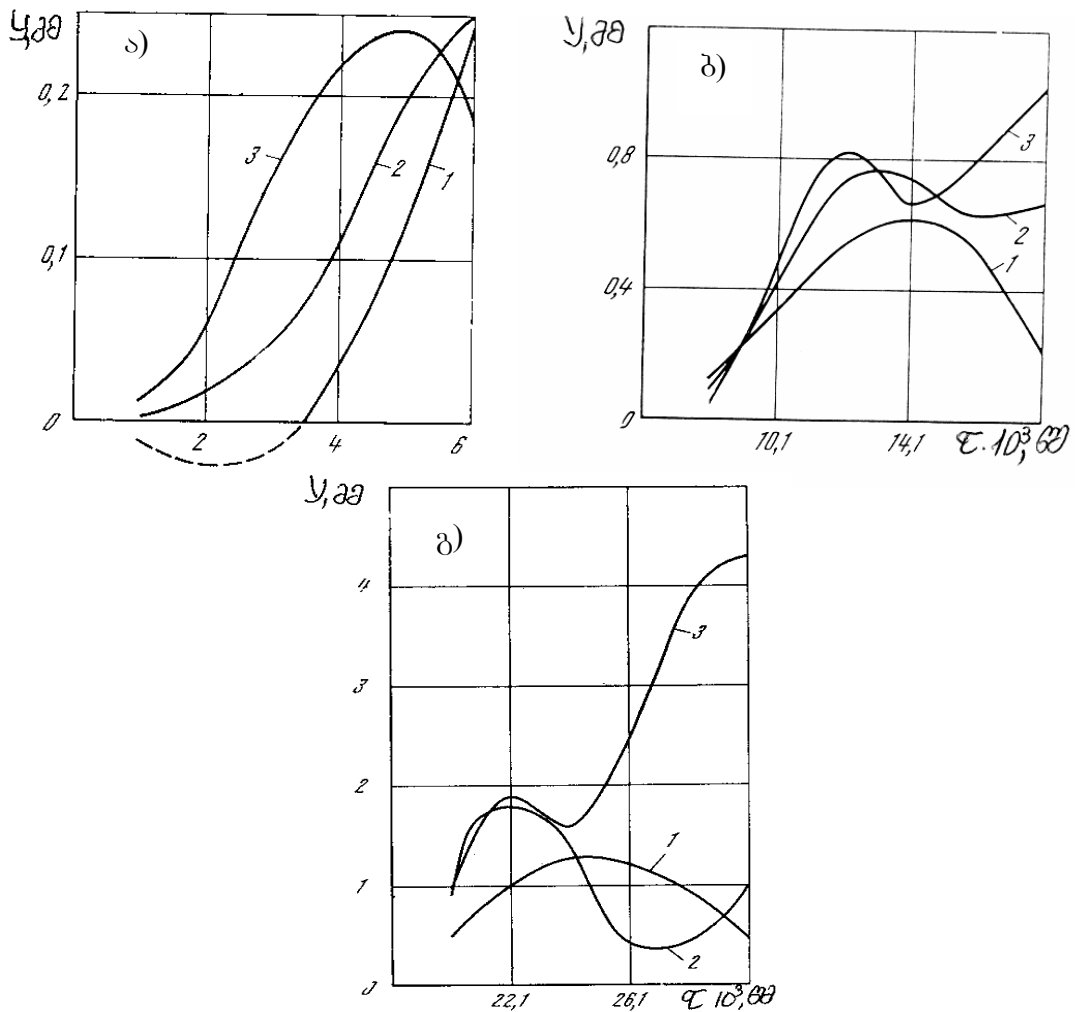
$$\begin{aligned}
\ddot{x} + (2n_x''^* + 2n_x'K')\dot{y}^2 &= A\omega^2 \sin \omega t \cos(\alpha + \beta) - \\
- 2n_x' A^2 \omega^2 \cos^2 \omega t \cos^2(\alpha + \beta)K,
\end{aligned}
\tag{103}$$

$$\ddot{y} + (2n_y'' + 2n_y'K')\dot{y}^2 = A\omega^2 \sin \omega t \sin(\alpha + \beta) - 2n_y' A^2 \omega^2 \cos^2 \omega t \sin^2(\alpha + \beta)K' - g. \quad (104)$$

მიღებული დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა საშუალებას იძლევა რხევის პარამეტრების (ამპლიტუდა, სიხშირე, ვიბრაციის კუთხე, მოვიბრირე ზედაპირის დახრის კუთხე) მნიშვნელობებზე სხვადასხვა დიაპაზონებისათვის ჩაის მასის თვისებებისა და ნაყარი მასის მოცემული პირობების გათვალისწინებით, განისაზღვროს ჩაის მასის გადაადგილების დროისაგან დამოკიდებულება x და y ღერძების მიმართულებით. ამოხსნის შედეგების საფუძველზე აგებულია შესაბამისი მრუდები. ნახ. 36 და ნახ. 39-ზე მოყვანილია ჩაის მასის y



ნახ. 36. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და რხევის ამპლიტუდაზე (1 - $A = 1$ მმ; 2 - $A = 3$ მმ; 3 - $A = 5$ მმ; 4 - $A = 7$ მმ), დრეკადი დეფორმაციის (ა), სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას

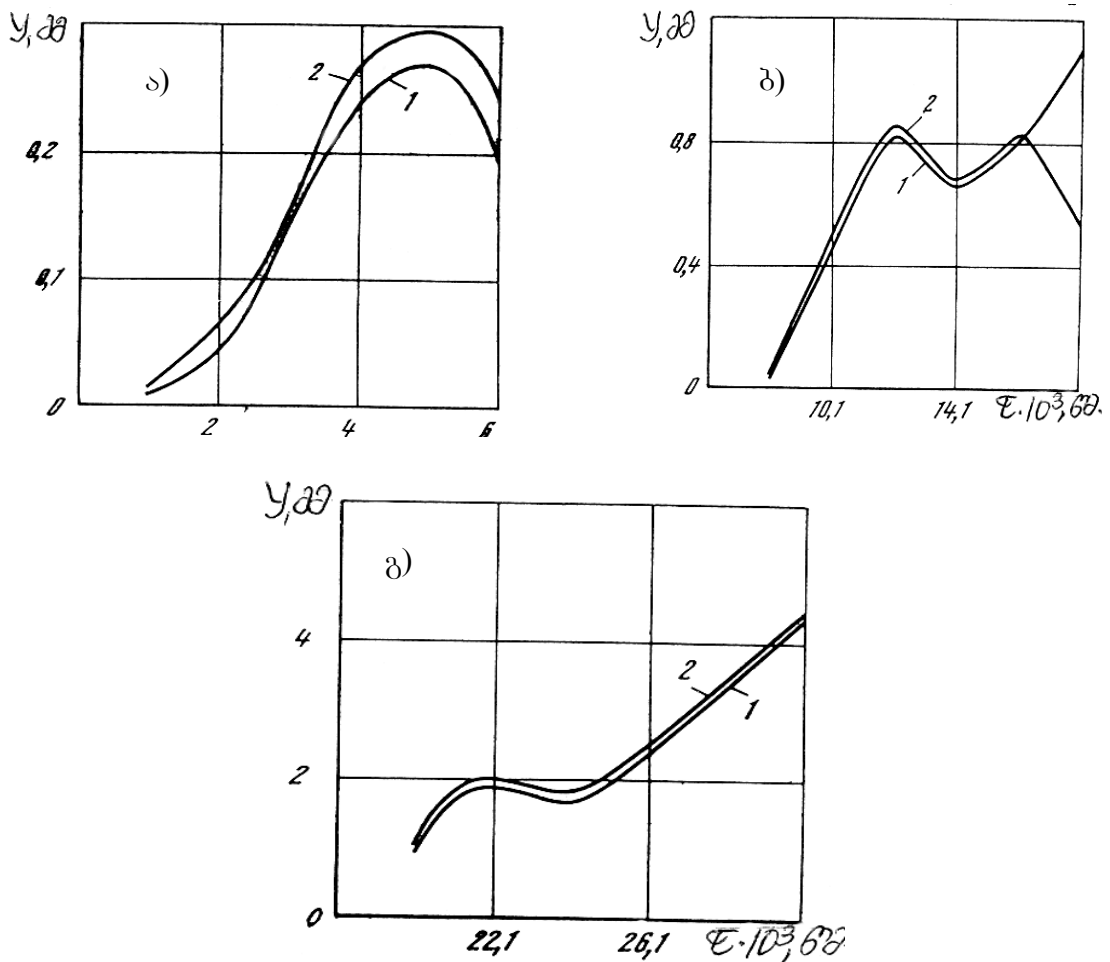


ნახ. 37. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და რხევის სიხშირეზე (1 - $f = 50$ ჰე; 2 - $f = 100$ ჰე; 3 - $f = 150$ ჰე) დრეკადი დეფორმაციის (ა), სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას

დერძის მიმართულებით გადაადგილების დროისაგან დამოკიდებულების მრუდები $y = f(\tau)$ შემდეგი ეტაპებისათვის: დრეკადი დეფორმაცია (ა), სრიალი (ბ), თავისუფალი მოძრაობა (გ). ნახ. 38-ზე ნაჩვენებია $y = f(\tau)$ დამოკიდებულება ვიბრაციის სხვადასხვა კუთხის შემთხვევაში $\beta = 45^\circ$ და 90° (შესაბამისად, მრუდები 1 და 2).

მოყვანილი გრაფიკების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მოვიბრირე ზედაპირის რხევის სიხშირის ცვლილების პირობებში ჩაის მასის შრის ინტენსიურ გადაადგილების ადგილი აქვს თავისუფალი მოძრაობის ეტაპზე, ამასთან როდესაც რხევის ამპლიტუდა $A > 1$ მმ. მასალის გადაადგილება მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს 0,002 წმ-ის

განმავლობაში, შემდეგ ხდება მკვეთრი შემცირება და 0,005 წმ-ის შემდეგ ჩაის მასას აქვს მინიმალური გადაადგილება, ამის შემდეგ კი კვლავ იწყება შრის ინტენსიური გადაადგილება. შრის გადაადგილებაში ორი ექსტრემუმის არსებობა, როგორც ჩანს, შეიძლება აიხსნას ჩაის მასის გარშემო ტურბულენტური სივრცის შექმნით. ჩაის მასის გადაადგილების ხასიათი რხევის ამპლიტუდის ცვლილებაზე არაა დამოკიდებული დრეკადი დეფორმაციისა და სრიალის ეტაპებზე, ასევე შეინიშნება ექსტრემალური მნიშვნელობა, მაგრამ გადაადგილების ინტენსივობა მნიშვნელოვნად მცირეა თავისუფალი მოძრაობის ეტაპთან შედარებით.



ნახ. 38. ჩაის მასის ვერტიკალური გადაადგილების დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე და ვიბრაციის კუთხის მნიშვნელობაზე (1 - $\beta = 45^\circ$; 2 - $\beta = 90^\circ$) დრეკადი დეფორმაციის (ა), სრიალის (ბ) და თავისუფალი მოძრაობის (გ) ეტაპებისას

გამოკვლევის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ ვაფგ-ის პროცესში მასალის გადაადგილებას აქვს ექსტრემალური ხასიათი, ჩაის მასის ინტენსიური გადაადგილება შეინიშნება თავისუფალი მოძრაობის ეტაპზე, აგრეთვე, ჩაის მასის ექსტრემალური გადაადგილების მნიშვნელობები იხრება ვიბრაციის პარამეტრების გადიდების მიმართულებით.

მეთხე თავის დასკვნა

ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის პროცესის კინეტიკის და ვიბრაციული გადაადგილების კანონზომიერების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების ანალიზის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:

- ჩაის მასის ღნობის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა (ტმდტ) დამოკიდებულია ღნობის მეთოდზე. ცდებით დადგენილი იქნა, რომ უძრავ შრეში ღნობის ტმდტ ($[T]_{\text{უძრ.შრ.}}=318\text{K}$) მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვაფგ შრეში ღნობის ტმდტ-ზე ($[T]_{\text{ვაფგ.შრ.}}=330\text{K}$);
- ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია: ჰაერის ნაკადის პოტენციალზე (ტენშემცველობა და ტენიანობა), ტემპერატურაზე, რაოდენობაზე, სიჩქარეზე; ჩაის დუყის (კვირტი, ფოთლები, ღერო) საწყის ტენიანობაზე, აგებულებაზე, ტენის კავშირზე და ვიბრაციის პარამეტრებზე (რხევის ამპლიტუდა და სიხშირე);
- ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას მისი ხანგრძლივობა მცირდება 4-12-ჯერ და შესაბამისად მანქანის კუთრი მწარმოებლობაც იზრდება (მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების შენარჩუნებით), როდესაც: ჰაერის ტემპერატურა იზრდება 230K-მდე; რხევის ამპლიტუდა იზრდება 0-დან 7 მმ-მდე; რხევის სიხშირე იზრდება 20-დან 30 რად/წმ-მდე; ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობა მცირდება 75-დან 60%-მდე;
- ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის ხარისხი მნიშვნელოვნად უმჯობესდება უძრავ შრეში ღნობასთან შედარებით. ჩაის მასის ტემპერატურის

სხვაობა შრის სიმაღლის მიხედვით 2K-ს არ აღემატება. მუშა ზედაპირის კუთრი დაძაბულობა აორთქლებული ტენის მიხედვით გაიზარდა 18-ჯერ;

- ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის შედეგად ვაფგ შრეში ჩაის ღნობისას გამოყვანილია: სიჩქარის განმსაზღვრელი ემპირიული ფორმულა; ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის განმსაზღვრელი რეგრესიის განტოლება; ღუყის მოვიბორე სიბრტყეზე მოძრაობის (ფარდობითი უძრაობის სრიალის, ფრენის) დიფერენციალური განტოლებები და ზედაპირიდან მოწყვეტის კრიტიკული სიჩქარეების განტოლებები პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების მიხედვით;
- მიღებულია მოვიბორე ზედაპირზე ჩაის მასის განვლილი მანძილის და გრძივი სიჩქარის მნიშვნელობების დამოკიდებულება ვიბრაციის პარამეტრებზე ერთი ციკლის დროს;
- დამუშავებულია ჩაის მასის ვაფგ შრეში ღნობის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური მოდელი. მიღებულია დრეკადი დეფორმაციის, სრიალის და თავისუფალი მოძრაობებისას დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემები, რომელთა ამოხსნით შესაძლებელია რხევის პარამეტრების (ამპლიტუდა, სიხშირე, ვიბრაციის კუთხე, მოვიბორე ზედაპირის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე) მნიშვნელობების განსაზღვრა აღნიშნული დიაპაზონისათვის;
- მაღალი სიხშირის დენის წყაროს გამოყენება ვაფგ შრეში ღნობისას კიდევ უფრო ზრდის ღნობის და ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხს.

2.4. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების რეალიზაცია და ალტერნატიული თბური წყაროების ეფექტურობა

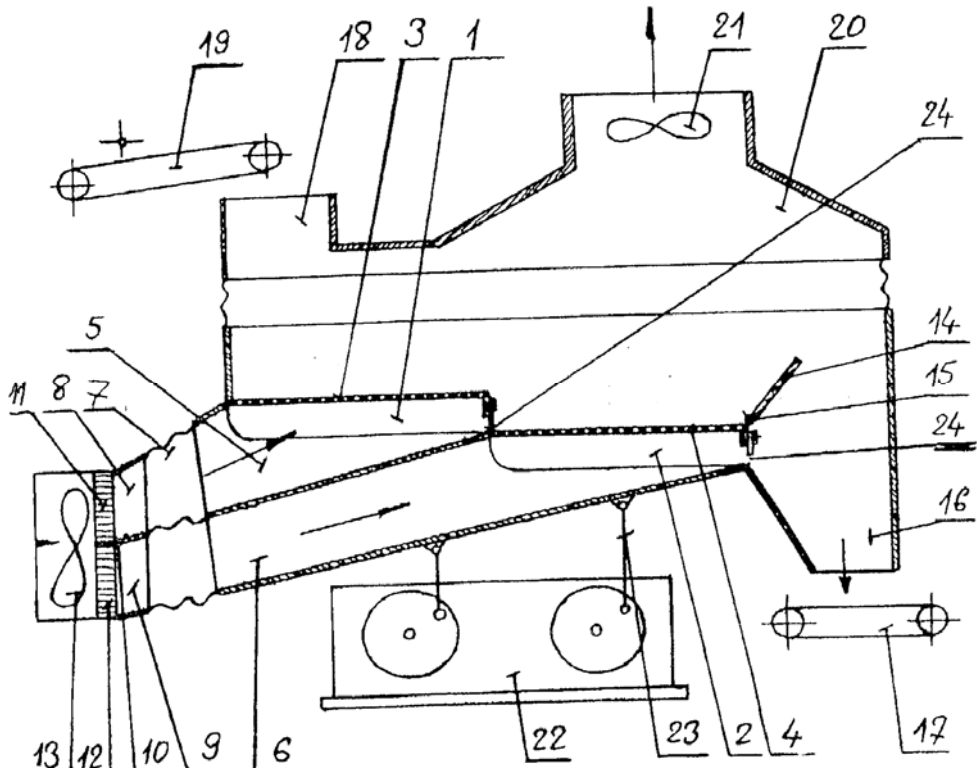
2.4.1. ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანის ზოგიერთი პარამეტრების დასაბუთება

თანამედროვე მოთხოვნებს უფრო მეტად პასუხობს ვაფგ შრეში ჩაის ღნობა, ჩაის მასაზე ვიბრაციის და თბილი ჰაერის ნაკადის ერთდროული მოქმედებით [19].

ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის და საღნობი მანქანის მახასიათებლის საწარმოო პირობებში დაზუსტებისათვის ჩატარებული კვლევების და ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე დამუშავებული იქნა ჩაის საღნობი საცდელი მანქანის ნიმუში (ნახ. 39), რომელიც შეიცავს ერთმანეთთან დაკავშირებულ ორ ჩარჩოს. ჩარჩოები ჩაის მასის გადაადგილების მიმართულებით დადმავალ საფეხურებად არიან განლაგებული და აღჭურვილი არიან ჰაერგამანაწილებელი ბადეებით. თითოეულ ბადეს აქვს ინდივიდუალური ჰაერის მიმყვანი არხი, რომლებიც ბრეზენტისაგან დამზადებული ელემენტებით უკავშირდებიან სტაციონალურ კოლოფებს. ერთმანეთისაგან ტიხარებით გამოყოფილი თითოეული კოლოფის შიგნით მოთავსებულია გამახურებელი ელემენტები [4; 14; 32; 39; 47; 53; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66].

ამავე დროს კოლოფები გაერთიანებული არიან და მათში მოთავსებულია ერთი საერთო ვენტილატორი. ჩაის მასის გადაადგილების მიმართულებით ბადის ბოლოში განლაგებულია რეგულირებადი, სიმაღლის მქონე შემზღუდველი, რომელიც სახსრულად არის დაკავშირებული ბადის ჩარჩოსთან. შემზღუდველის მეორე თაროზე მოთავსებულია გამშრალი ჩაის გამომტვირთი ხვიშირა, რომლის ქვეშაც განლაგებულია მზა პროდუქციის გამომტანი ტრანსპორტიორი. ჩაის გადაადგილების მიმართულებით პირველი ბადის თავზე განლაგებულია ჩაის ჩამტვირთი ხვიშირა. ბადეების თავზე მდებარეობს გამწოვი ვენტილატორი. ჩარჩოები სახსრულად არიან დაკავშირებული ვიბრაციულ ამძრავთან. ჩარჩოს ყოველი საფეხურის ძირში მოთავსებულია რეგულირებადი კვეთის მქონე ნახვრეტი, რომლის საშუალებითაც წინა ბადის ჰაერმიმყვანი არხი

უკავშირდება ჩაის მასისათვის განკუთვნილ მომდევნო სადინარს, გადაადგილების მიმართულებით დაღმავალი საფეხურები კლებადი სიმაღლისაა.



ნახ 39. ჩაის საღნობი საცდელი მანქანის მუშაობის პრინციპული სქემა
 1, 2 – ჩარჩოები; 3, 4 – ბადეები; 5, 6 – ჰაერსადინარები;
 7 – დრეკადი ელემენტი; 8, 9 – კოლოფები; 10 – ტიხარი;
 11, 12 – გამახურებელი ელემენტები; 13 – შემწოვი ვენტილატორი;
 14 – ზღურბლი; 15 – სახსარი; 16 – გამომტვირთი ხვიშირა; 17 – გამომტანი ტრანსპორტიორი; 18 – ჩამტვირთავი ხვიშირა; 19 – მკვებავი ტრანსპორტიორი; 20 – ნამუშევარი ჰაერის შემკრები; 21 – გამწოვი ვენტილატორი; 22 – ამძრავი, 23 – ბარბაცები; 24 – სარეგულირებელი ნახვრეტი.

მანქანის მუშაობის პრინციპი შემდეგია: ჩამტვირთავი ტრანსპორტიორიდან ჩაი მიეწოდება ჯერ მანქანის მკვებავ ხვიშირაში, შემდეგ კი ჩაის გადაადგილების მიმართულებით პირველ ბადეზე. ჩარჩოების რხევის შედეგად ბადეზე მოთავსებული ჩაის დუყები იწეებენ რხევით მოძრაობას. ერთდროულად იწეება ჰაერის მიწოდება გამახურებელი ელემენტების გავლით კოლოფებში, სადაც ხდება ჰაერის გაცხელება საჭირო ტემპერატურამდე. ცხელი ჰაერი მიმყვანი არხებით მიეწოდება შესაბამის ჰაერგამანაწილებელ ბადეებს. რხევითი მოძრაობის თანადროულად ბადის ქვევიდან მიწოდებული ცხელი ჰაერი იწვევს

მოსაღნობი ჩაის გადაყვანას ვაფგ მდგომარეობაში. ჩაის მასა თავდაპირველად ავსებს ჯერ პირველ ბადეს მთელ სიგრძეზე, ხოლო შემდეგ გადადის მეორე ბადეზე, სადაც მიმდინარეობს ჩაის ნაწილაკების ინტენსიური ღნობის პროცესი. ამასთან, შემზღუდველისაკენ გადაადგილებასთან ერთად ჩაის მასა თანდათან განიცდის ღნობას ცხელი ჰაერის ზემოქმედებით ტენის არინების ხარჯზე.

მომღნარი ჩაის მასა გამომტვირთი ხვიშირიდან მიეწოდება გამომტან ტრანსპორტიორს. ნამუშევარი ჰაერი ჩაის მასიდან აორთქლებულ ტენთან ერთად ვენტილატორის დახმარებით გაიწოვება ციკლონში.

ცდებისათვის გამოყენებული იქნა მოუმღნარი ჩაის მასა. ჩაის საცდელი პარტია იყოფოდა ორ თანაბარ ნაწილად, რომელთაგან ერთი ნაწილის გადამუშავებული იყო წარმოებაში არსებულ ტექნოლოგიურ ხაზზე, როგორც საკონტროლო პარტიის ნიმუში, ხოლო მეორე ნაწილი კი საცდელი საღნობი მანქანის გამოყენებით, როგორც საცდელი პარტიის ნიმუში, შავი ჩაის გადამუშავების მოქმედი ტექნოლოგიური ინსტრუქციების სრული დაცვით. ჩატარებული იყო მზა პროდუქციის საკონტროლო და საცდელი ნიმუშების ტიტვისტერული და ტექნოლოგიური ანალიზები.

საღნობი საცდელი მანქანა გამოცდილი იყო შემდეგი პარამეტრების დროს: ღარის რხევის სიხშირე $n = 250$ ორმაგი სვლა/წთ; მრუდმხარა ექსცენტრისიტეტი $e = 25$ მმ; ღარის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან $3-5^\circ$; რხევის ამპლიტუდა $A = 7$ მმ; ფარდობითი აჩქარება $j = 2,2-2,4$; გისოსების დატვირთვა $G/F = 24$ კგ/მ². ბადის დიამეტრით 0,5-1,5 მმ. ცოცხალი კვეთის ფართობი 27,3%, ჰაერის აღმავალი ნაკადის ტემპერატურით 320-330K, სიჩქარით $v = 0,7-0,9$ მ/წმ.

ვაფგ და უძრავ შრეებში საღნობი მანქანების გამოცდის მონაცემების (ცხრ. 9 და ცხრ. 10) მიხედვით ნათლად ჩანს, რომ ჩაის მზა პროდუქციის საცდელი ნიმუშების ყველა ხარისხობრივი მაჩვენებლები გაუმჯობესებულია საკონტროლო ნიმუშების ხარისხობრივ მაჩვენებლებთან შედარებით.

ვაფგ შრეში მომღნარი ჩაის ფოთლის ღნობის ხარისხი 2,5-3,0%-ით აღემატება უძრავ შრეში მომღნარ ჩაის ფოთლის ღნობის ხარისხს.

ცხრილი 9

საცდელი და საკონტროლო ნიმუშების ფარდობითი ტენიანობის და ტანინის რაოდენობის, მექანიკური შემადგენლობის და ტიტვისტერული ბალური შეფასებების მნიშვნელობები

№	გამოსაცდელი ნიმუშის დასახელება	ჩაის ხარისხი	ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობა W, %		ტანინის რაოდენობა, %		მომდნარი ჩაის მასის შემადგენლობა, გრ-ში			ტიტვირტერული შეფასება ბალებში			
			მოუმდნარი	მომდნარი	მოუმდნარ ღუქებში	მომდნარ ღუქებში	ნორმალურად მომდნარი	მოუმდნარი	გადამდნარი	პარგანი სახე	გამონახარში	არომბტი	გემო
1	საცდელი	II	74,2	62,3	16,7	15,8	97,66	1,86	0,8	2,42	2,58	3,1	3,25
2	საკონტროლო	II	74,2	62,2	16,7	15,6	95,10	4	0,9	2,25	2,41	2,92	2,98

ცხრილი 10

საცდელი და საკონტროლო ნიმუშების ფარდობითი ტენიანობის და ტემპერატურის, ღნობის ხანგრძლივობის და მზა პროდუქციის ტიტვისტერული ბალური შეფასებების მნიშვნელობები

№	გამოსაცდელი ნიმუშის დასახელება	ჩაის ხარისხი	ჩაის მასის ფარდობითი ტენიანობა W, %		ჩაის მასის ტემპერატურა T, K	ღნობის ხანგრძლივობა τ, წმ	ჩაის მზა პროდუქციის ტიტვისტერული ბალური შეფასება			
			მოუმდნარი	მომდნარი			ნაყენი	არომბტი	გემო	გამონახარში
1	საცდელი	II	70,3	63,1	315-325	1440	3,0	3,5	3,25	2,75
2	საკონტროლო	II	70,3	63,2	310-315	7200	2,75	3,25	3,0	2,5

ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა უძრავ შრეში ღნობის პროცესის ხანგრძლივობასთან შედარებით მნიშვნელოვნად 7200 წამიდან შემცირდა 1440 წამამდე.

ვაფგ შრეში ჩაის ღნობის არათანაბრობა ტენიანობის მიხედვით შეადგენდა 1,05-1,1%, ხოლო უძრავ შრეში ღნობისას კი 4,8-6,5%-ს.

2.4.2. ჩაის მასის ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაციაზე ჰაერის ტენშემცველობის მოქმედება

თანამედროვე პირობებში ჩაის ღნობისათვის გამოიყენება კონვექციური მეთოდი ჩაის მასაში $T=330-340K$ ტემპერატურის მქონე თბილი ჰაერის შებერვით [19].

ღლისათვის ჩაის ფაბრიკებში ჰაერი ცხელდება არაეკონომიურ კალორიფერებში. მათში პრაქტიკულად შეუძლებელია ჰაერის ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის და წყლის ორთქლის პარციალური წნევის რეგულირება. ეს განაპირობებს ჩაის მასის ზედმეტად გამოშრობას, რის შედეგადაც იკარგება მასში ტანინის მნიშვნელოვანი რაოდენობა [13].

ტემპერატურის პირობებში ღნობა მიმდინარეობს 27-30 °C-ის განმავლობაში. მაგრამ ჩაის სხვადასხვა სინაზის მქონე განსხვავებული ნაწილაკების ღნობის ხარისხი სხვადასხვაგვარია და აღნიშნული უთანაბრობა განაპირობებს ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხის შემცირებას.

დადგენილია, რომ მაღალი ტემპერატურები უარყოფითად მოქმედებს მზა პროდუქციის ხარისხზე. უმაღლეს ბალურ შეფასებას აღწევს ჩაის მასა, რომელიც გამშრალია 330-335K ტემპერატურის მქონე ატმოსფერული ცხელი ჰაერით [22].

ასეთი ტემპერატურით ღნობა დადებითად მოქმედებს ჩაის ხარისხზე, თუმცა დაბალი ტემპერატურის პირობებში ჰაერის ტენშემცველობა მცირეა, რაც მკვეთრად ამცირებს ღნობის პროცესის ინტენსივობას და მნიშვნელოვნად ზრდის მის ხანგრძლიობას, თუმცა ამავდროულად მცირდება სითბოს დანაკარგებიც.

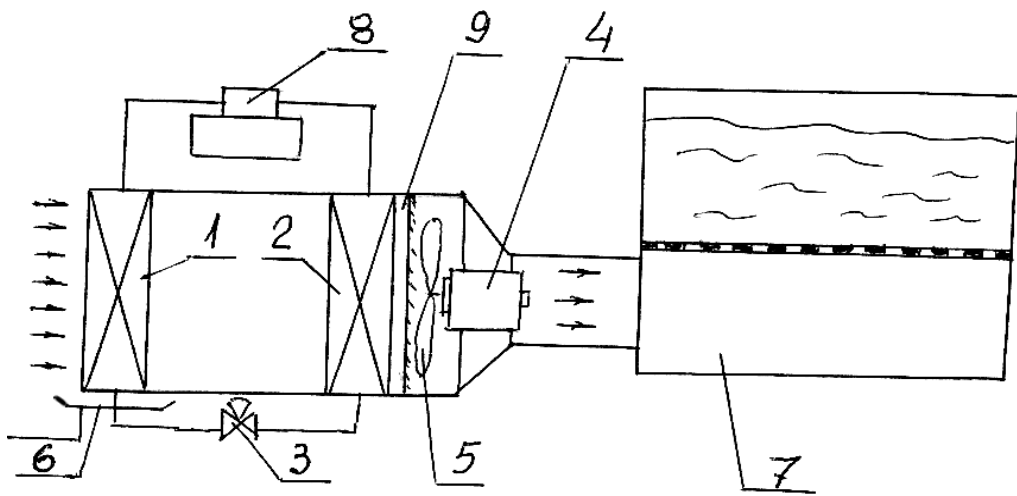
აქედან გამომდინარე, მიზანშეწონილია გაიზარდოს ჰაერის ტენშემცველობა მისი ფარდობითი ტენიანობის და წყლის ორთქლის პარციალური წნევის შემცირებას ხარჯზე, ანუ მისი ხელოვნური შეშრობის გზით [15].

ღნობისათვის გამოყენებულ ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევის შემცირება შეიძლება განხორციელდეს ჰაერის გატარებით სხვადასხვა ტენის მშთანთქმელ ნივთიერებებში, კონდენსაციით, ან მასში არსებული ტენის გამოყინვით.

საწარმოო პირობებში ჩაის ღნობისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს ჰაერი, რომელიც გაშრება და შემდეგ გათბება მაცივარ დანადგარში. შრობის აღნიშნული მეთოდი ენერგოდანახარჯების თვალსაზრისით მნიშვნელოვნად ეკონომიურია თბურ მეთოდებთან შედარებით.

აღნიშნული მეთოდი ხორციელდება შემდეგნაირად. 297K ტემპერატურის, 75% ფარდობითი ტენიანობის და 14 გ/კგ. ტენშემცველობის მქონე ატმოსფერულ ჰაერი ცივდება მაცივარი დანადგარის საორთქლებელში 278-280K ტემპერატურამდე. ამავე დროს მცირდება ჰაერის ტენშემცველობა 5,5 გ/კგ-მდე. ტენის ჭარბი რაოდენობა დაკონსირდება და კონდენსატის სახით გამოიყვანება დანადგარის საორთქლებლის ძირიდან. გამომშრალი ჰაერი ცხელდება 330-335K ტემპერატურამდე მაცივარი დანადგარის კონდენსატორში, შედეგ კი ასეთი მახასიათებლების ჰაერი მიეწოდება მოსაღნობ ჩაის მასაში.

ლაბორატორიულ პირობებში ღნობა ხდებოდა სპეციალურ ჰაერის მექანიკურ შემშრობში (ნახ. 40) [15; 17].



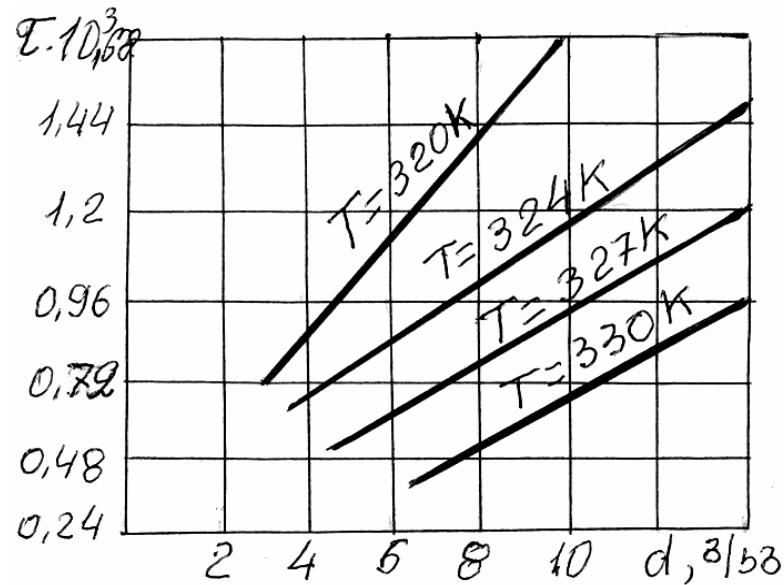
ნახ. 40. ჰაერის მექანიკური გამომშრობის მუშაობის პრინციპული სქემა

ატმოსფერული ჰაერის ნაკადი კომპრესორის 8 და საორთქლებელის 1, გავლისას კარგავს ტენს. გამოყოფილი ტენი ჩამოედინება შემგროვში 6. ჰაერის ნაკადი კონდენსატორში 8 გავლის დროს თბება, რომელიც შემდეგ ვენტილატორით 5 მიწოდება საშრობ საკანში 7.

ცდები ტარდებოდა OBB-14 მოდელის ჰაერის მექანიკურ შემშრობზე, რომლის მწარმოებლობა შეადგენს 520 მ³/სთ.

საორთქლებელში აორთქლების ტემპერატურის რეგულირება ხდებოდა თერმომარეგულირებელი ვენტილის 3 დახმარებით, ხოლო კონდენსაციის ტემპერატურის რეგულირება კონდენსატორის გასასვლელში განლაგებული უალუზის 9 საშუალებით.

ნახ. 41-ზე წარმოდგენილია ჩაის ღნობის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჰაერის ტენშემცველობაზე სხვადასხვა ტემპერატურების პირობებში.



ნახ. 41. ჩაის მასის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება ჰაერის ტენშემცველობაზე

ჰაერის გაცხელების წინ მისი შემორობა 5,5 გ/კგ ტენშემცველობამდე ამაღლებს ღნობის პროცესის მამოძრავებელ ძალას – საშუალო სხვაობა უშუალოდ ჩაის ფოთლის ზედაპირთან ჰაერის შრის ტენშემცველობასა და ვენტილირებად ჰაერს შორის 2-ჯერ არის გაზრდილი. ნახ. 41-დან ჩანს, რომ ჰაერის ტენშემცველობის შემცირება შესაბამისად ამცირებს ღნობის ხანგრძლივობას, განსაკუთრებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში.

საწარმოო პირობებში ჰაერის გასაშრობად შეიძლება გამოყენებული იქნას ცენტრალური კონდიციონერები, რომლებთან მიერთებულია საორთქლებლები და კონდენსატორები.

თანამედროვე საშრობ აგრეგატებში შემაჯავლი ატმოსფერული ჰაერის ტენშემცველობა შეადგენს 14 გ/კგ, ხოლო საშრობი საკნიდან გამომავალი ჰაერის ტენშემცველობა კი შეადგენს – 20 გ/კგ. ჩაის

ტენშემცველობა (ჰაერის ზედაპირული ნაჯერი ფენა) დასაწყისში შეადგენს 18,7 გ/კგ, ხოლო ბოლოში 32 გ/კგ. პროცესის საშუალო ლოგარითმული მამოძრავებელი ძალა შეადგენს 7,8 გ/კგ.

გამომშრალი ჰაერით ღნობის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ჰაერის ტენშემცველობა ტოლია 5,5 გ/კგ, საბოლოო – 11,5 გ/კგ. ჩაისათვის საწყისი ტენშემცველობა შეადგენს 18,7 გ/კგ, ხოლო საბოლოო – 32 გ/კგ. საშუალო მამოძრავებელი ძალა ტოლია 16,6 გ/კგ.

მაცივარი დანადგარის გამოყენების შემთხვევაში ღნობის პროცესის სიჩქარე და საღნობი მანქანის მწარმოებლობა იზრდება 2,13-ჯერ.

2.4.3. ჩაის საღნობი მანქანის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის გაანგარიშების ვაფგ მეთოდის პირობებში

ჩაის მრეწველობის რეაბილიტაციის ერთ-ერთი მიმართულებაა ფერმერული მეურნეობებისათვის მცირე მწარმოებლობის რაციონალური კონსტრუქციის მოწყობილობების დამუშავება, რაც მოცემულ ეტაპზე დარგის განვითარების დადებით შედეგს იძლევა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ამაღლებისა და ბაზრის გარკვეული სეგმენტის მოთხოვნათა შესწავლის თვალსაზრისით. ღნობის პროცესის ეფექტიანობის ასამაღლებლად, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე, შემოთავაზებულია ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობის მეთოდი და რაციონალური ვიბრო საღნობი მანქანების ახალი კონსტრუქცია. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე ჩატარდა ღნობის პროცესის ენერგეტიკული ანალიზი და ჩამოყალიბდა ენერგოდანახარჯების გაანგარიშების მეთოდიკა [6; 41; 58; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73].

ვიბროსაღნობ მანქანაში ღნობის პროცესში ენერგია იხარჯება: ჩაის მასის ტრანსპორტირებაზე; დეფორმაციაზე; მუშა ორგანოს გადაადგილებაზე ვიბროტრანსპორტირების დროს დეფორმირებული ჩაის მასის წინააღმდეგობის გადალახვისათვის.

ჩაის მასა ვიბროსაღნობ მანქანაში განიცდის დრეკად დეფორმაციას და გადაადგილდება მოვიბრირე ზედაპირზე. სიმძლავრე,

რომელიც საჭიროა ჩაის მასის ტრანსპორტირების, დეფორმაციისა და მუშა ორგანოზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალების გადალახვისათვის, გამოითვლება ფორმულით:

$$N_1 = (K_x X + C_x X), \quad (105)$$

სადაც $K_x X$ – დრეკადი კავშირების ძალა, ნ;

x – ვიბრაციით გამოწვეული დრეკადი დეფორმაციის შედეგად ჩაის მასის გადაადგილების სიდიდე მუშა ზედაპირზე, მ;

$C_x X$ – ბლანტი წინააღმდეგობის ძალა, ნ;

$$C_x = Q / j;$$

C_x – ჩაის მასის სიბლანტე, პა. წმ;

Q – ძერის დაძაბულობა, ნ/მ² $Q = F / Sh$;

F – მუშა ზედაპირზე მოქმედი ძალა, ნ;

h – ვიბროლარის სიმაღლე, მ;

V – ჩაის მასის საშუალო მოცულობითი სიჩქარე, მ³/წმ;

S – ვიბროლარის ფართობი, მ²;

j – სიჩქარის გრადიენტი, წმ⁻¹;

h_1 – შრის სიმაღლე, მ;

V – გადაადგილების საშუალო სიჩქარე მთლიანი ციკლის განმავლობაში, მ/წმ;

$$V = V_x K_1;$$

V_x – ეტალონის სიჩქარე, მ/წმ;

K_1 – ჩაის ფოთლის ტრანსპორტირების კოეფიციენტი $K_1 = 0,7$.

X ვიბრაციის შედეგად ჩაის ფოთლის დეფორმაციის სიჩქარე, მ/წმ.

მოცემული გამოსახულებების და მნიშვნელობების გათვალისწინებით შესაძლებელია საკმაო სიზუსტით გავიანგარიშოთ სიმძლავრე.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ვერტიკალური დეფორმაციის შედეგად ჩაის მასის შემჭიდროვების და შეუქცევადი დეფორმაციის წინააღმდეგობის გადალახვისათვის, გამოითვლება ფორმულით:

$$N_2 = (K_y y + C_y \dot{y}) V, \quad (106)$$

სადაც $(K_y y + C_y \dot{y})$ ძალა, რომელიც მოქმედებს პერპენდიკულარული მიმართულებით, ახდენს ჩაის მასის ფორმირებას და

შემჭიდროვებას, ცდილობს გამოიწვიოს შეუქცევადი დეფორმაციები, δ

$K_y y$ – დრეკადი კავშირების ძალა, ნ;

$C_y \dot{y}$ – ბლანტი წინააღმდეგობის ძალა, ნ;

y – დეფორმაციის შედეგად ჩაის მასის გადაადგილება ვერტიკალურად, მ;

\dot{y} – დეფორმაციის შედეგად ჩაის მასის ვერტიკალურად გადაადგილების სიჩქარე, მ/წმ;

(106) ფორმულაში მოცემული წევრები გამოანგარიშება ზემოთ მოცემული მეთოდის საშუალებით.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა სრიალის ხახუნის ძალების წინააღმდეგობის გადალახვისათვის, გამოითვლება ფორმულით:

$$N_3 = \mu_x (K_y y + C_y \dot{y}) V, \quad (107)$$

სადაც $\mu_x (K_y y + C_y \dot{y})$ მამოძრავებელი ძალა, რომელიც მეტია სტატიკურ ხახუნის ძალაზე და იწვევს ჩაის მასის სრიალს მოვობრივ ზედაპირზე პირდაპირი და უკუმიმართულებით;

μ_b – ხახუნის კოეფიციენტი.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა პლასტიკური წინააღმდეგობის ძალების გადალახვისათვის, გამოითვლება ფორმულით:

$$N_4 = \mu_x K_x (X_0 + y t g \beta), \quad (108)$$

სადაც X_0 საწყისი დრეკადი დეფორმაცია, მ; $t g \beta$ – მასის გამკვრივების კოეფიციენტი.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ვიბროსაღნობში ჩაის მასის გადაადგილებისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$N_5 = 9,8 B h S n \mu \beta \psi L, \quad (109)$$

სადაც B – ვიბროლარის სიგანე, მ;

h – თაროს სიმაღლე, მ;

S – გადაადგილება მოცემული პარამეტრების პირობებში, მ;

n – ვიბრაციის სიხშირე, ჰც;

μ – ხახუნის კოეფიციენტი;

β – ჩაის მასის სიმკვრივე, კგ/მ³;

ψ – თაროს შევსების კოეფიციენტი, $\psi = 0,7$;

L – ვიბროლარების ჯამურ სიგრძე, მ.

ელექტროძრავის მოთხოვნილი სიმძლავრე კი გამოითვლება ფორმულით:

$$N_{\text{კ.ძრ.}} = N_{\text{ჯამ.მექ.}} / \eta, \quad (110)$$

სადაც $N_{\text{ჯამ.მექ.}}$ – წინააღმდეგობის ძალების გადალახვისათვის დახარჯული ჯამური სიმძლავრე, ვტ;

η – გადაცემის მქკ.

მოცემული ენერგეტიკული ანგარიში წარმოადგენს ვიბროსაღნობში ჩაის მასის ღნობის მიახლოებით ანგარიშს, რადგან ყველა იმ ფაქტორის გათვალისწინება, რომელიც მოქმედებს პროცესზე, პრაქტიკულად თითქმის შეუძლებელია. ვიბროსაღნობის ოპტიმალური კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური პარამეტრების შერჩევისათვის გამოვიყენეთ მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი, რისთვისაც ჩატარდა სრული ფაქტორული ექსპერიმენტი 2^4 , რომლის განხორციელებისათვის შეირჩა ფაქტორები, რომლებიც ახდენენ გავლენის ღნობის პროცესზე [12; 32].

\bar{X}_1 – ვიბრაციის სიხშირე, \bar{X}_2 – ამპლიტუდა, \bar{X}_3 – შრის სიმაღლე; \bar{X}_4 – ჰაერის სიჩქარე; ოპტიმიზაციის კრიტერიუმად მივიღეთ $N_{\text{ბგ}}$ (ხვედრითი ენერგოდანახარჯები), სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის რეალიზაციის შედეგად მივიღეთ გამოსახულება, რომელიც ასახავს ფაქტორების დამოკიდებულებას ოპტიმიზაციის კრიტერიუმთან:

$$N_{\text{ბგ}} = 0,8 + 0,048\bar{X}_1 + 0,065\bar{X}_2 + 0,065\bar{X}_3 + 0,0931\bar{X}_4 + 0,0475\bar{X}_3\bar{X}_4. \quad (111)$$

მოცემული გამოსახულების საშუალებით შესაძლებელია ჩატარდეს ოპტიმიზაცია, რის შედეგადაც მიიღება ვიბროსაღნობის ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული პარამეტრების მნიშვნელობები მინიმალური ენერგოდანახარჯებით, მაქსიმალურად მომდნარ ფოთლის პირობებში.

2.4.4. ჩაის მასის ღნობის პროცესისათვის მზის ენერჯის გამოყენება

ჩაის მასის გადამუშავების სეზონი ემთხვევა მზის რადიაციის ინტენსიფიკაციის პერიოდს. მზის რადიაციის გამოყენება მიზანშეწონილია

შედარებით დაბალი ტემპერატურიანი თბური დამუშავების ისეთი პროცესისათვის, როგორცაა ჩაის ღნობა [74]. ღნობის პროცესზე იხარჯება დიდი რაოდენობის დიზელის საწვავი ან მაზუთი. გამჭვირვალე საკანში მზის სხივებით გამთბარი ჰაერი ვენტილატორის საშუალებით მიეწოდება ჰაერგამანაწილებელს, რომელიც გისოსებს შორის არსებულ ღარების გავლით აღმავალი ნაკადის სახით მიეწოდება მოვიბრირე ჩაის მასას (ნახ. 42).

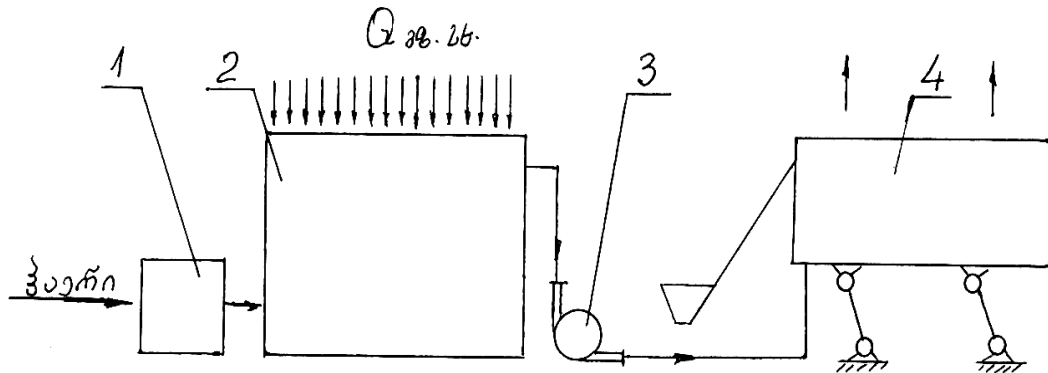
გისოსების ცოცხალი კვეთის ფართობი გამოითვლება ფორმულით

$$F = \frac{\sigma}{\rho_a \cdot v_a}, \quad (112)$$

სადაც σ – ჩაის მასის ღნობისათვის საჭირო ჰაერის რაოდენობაა, კგ/წმ;

ρ_a – ატმოსფერული ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³;

v_a – ჩაის მასაში გამავალი ჰაერის სიჩქარე მ/წმ.



ნახ. 42. ჰელიოსაღნობი დანადგარის მუშაობის პრინციპული სქემა

1 – ადსორბერი; 2 – ჰელიოჰაერგამაცხელებელი;

3 – ვენტილიატორი; 4 – საღნობი საკანი

გისოსების რაოდენობა n შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებიდან

$$n = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (113)$$

სადაც l – გისოსებს შორის მოთავსებული საჰაერო ღარის სიგრძეა;

b – საჰაერო ღარის სიგანე. საკნიდან ნამუშევარი ჰაერი გაიწოვება ვენტილიატორით ატმოსფეროში.

გაწოვის ძალა გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta p = gh(\rho_3 - \rho'_3), \quad (114)$$

სადაც h – სიმაღლეა; ρ_3 – საკანში შემავალი ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³;

ρ'_3 – ნამუშევარი ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³.

თბილი ჰაერის ტემპერატურა გამოითვლება ფორმულით

$$T_1 = T_0 + \frac{Q_p}{\omega C_3}, \quad (115)$$

სადაც T_0 არის ჰაერის ტემპერატურა სადნობ საკანში შესვლისას, K;

C_3 – ჰაერის კუთრი თბოტევადობა, კჯ/(კგ.K);

Q_p – ჰაერგამახურებელში მზის სხივებიდან აკუმულირებული სითბო გამოითვლება ფორმულით

$$Q = F\varphi(1-z)q_p, \quad (116)$$

სადაც F – გამჭვირვალე ზედაპირის ფართობია, მ²;

φ – გამჭვირვალე ზედაპირის გამტარებლობის კოეფიციენტი, მინის და პოლიეთილენის აფსკიდან $\varphi = 0,8-0,85$;

z – ზედაპირის ალბედო, $z = 0,3-0,5$.

q_p – ზედაპირზე მოსული რადიაცია (საქართველოს პირობებისათვის $q_p = 600-600$ ვტ/მ²).

ექსპერიმენტი ჩატარებული იყო (1,8×0,4×0,5 მ) გაბარიტული ზომების მინის საკანში აღჭურვილი გისოსებიანი იატაკით, რომელზეც მოთავსებული იყო ჩაის მასა, მზის თბური ენერჯის შედეგად ჰაერის ტემპერატურა საკანში გაიზარდა (8-12)K-ით, რაც უზრუნველყოფს ჩაის მასის ნორმალური ღნობის პროცესის ინტენსიფიკაციას.

რამდენადაც წლის ზაფხულის პერიოდში მაღალია ჰაერის ტენშემცველობა (რაზედაც მნიშვნელოვლად არის დამოკიდებული ღნობის პოტენციალი) მიზანშეწონილია ჰაერის გამოშრობა, ჰაერის ტენშემცველობის შემცირებით შეიძლება მნიშვნელოვნად გავზარდოთ ღნობის ინტენსივობა ადსორბენტის შრეში.

ჰაერის გატარებით მასში არსებული წყლის ორთქლი ადსორბენტის კაპილარულ ღარებში აირის მდგომარეობიდან გარდაიქმნება თხევად მდგომარეობაში და ხდება ჰაერის შეშრობა. ადსორბციის დროს კაპილარებში ტენის კონდენსირებისას პარალელურად მიმდინარეობს კუთრი სითბოს გამოყოფა და ზედაპირის ოდნავ დასველება.

ადსორბციის სრული კუთრი სითბო შეადგენს 2920 კჯ/კგ, მისგან დაახლოებით 420 კჯ/კგ შეადგენს ზედაპირის ოდნავ დასველების კუთრი სითბოს, რომელიც იხარჯება ადსორბენტის გახურებაზე, ხოლო აორთქლების სითბო 2500 კჯ/კგ გამოიყენება ჰაერის გახურებაზე.

ადსორბენტის შრიდან გამოსვლის შემდეგ გამშრალი ჰაერის ტემპერატურა განისაზღვრება თბური ბალანსის განტოლებით

$$(d_1 - d_2)z \cdot 10^3 = C_3(T_2 - T_1), \quad (117)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{(d_1 - d_2)z \cdot 10^3}{C_3}, \quad (118)$$

სადაც T_1 – ჰაერის ტემპერატურათა ადსორბენტის შრიდან გამოსვლის მომენტში, K;

d_1 და d_2 – ჰაერის ტენშემცველობა შესაბამისად ადსორბენტის შრეში შესვლის და შრიდან გამოსვლის მომენტებში, გ/კგ;

z_1 – აორთქლების ფარული სითბო, კჯ/კგ;

C_3 – ჰაერის კუთრი თბოტევადობა, კჯ/(კგ. K).

მზის რადიაციის გამოყენებით მიღებული მოსალოდნელი წლიურ ეკონომიკური ეფექტიანობა ერთი საღნობი მანქანისათვის შეადგენს 8600 ლარს [74].

2.4.5. თერმული წყლების გამოყენების ეფექტურობა ჩაის მასის საღნობი მანქანების თბომომარაგებისათვის

მანქანების თბომომარაგების რაციონალიზაცია ხელს უწყობს ჩაის მასის ღნობის პროცესის ტექნიკური ღონის ამადლებას.

ჩვენს მიერ დამუშავებული კომპლექსური სქემების გამოყენებით შესაძლებელია საწვავის ეკონომიის მიღწევა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე დამუშავებულია საღნობი მანქანის თბომომარაგების სქემა ბრომ-ლითიუმისანი აბსორბციული მანქანების გამოყენებით თერმული წყლების სითბოს ხარჯზე.

თერმული წყალი ტემპერატურით 345K გამოიყენება ჰაერის გასათბობად 235K ტემპერატურამდე. გაცხელებული ჰაერი კი ვენტილატორით მიეწოდება ჩაის საღნობ მანქანას.

თბომომარაგების კომპლექსური სქემის გამოყენების მიზნით დამუშავებული იქნა ჩაის საღნობი აგრეგატის საცდელი ნიმუში თერმული წყლების სითბოს გამოყენებით [75].

ჩაის საღნობი დანადგარის საცდელი ნიმუშის დამუშავება და საწარმოო პირობებში გამოცდა ისახავდა შემდეგ მიზნებს:

- ჩაის ფაბრიკის ტექნოლოგიური მოწყობილობის სხვადასხვა რეჟიმებში მუშაობის პირობებში თბოტექნიკური, აეროდინამიკური, ჰიდრავლიკური და ენერგო-ეკონომიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტულად განსაზღვრა წყალჰაერიანი ჰაერგამაცხელებლებისათვის, რომლებიც წარმოადგენენ შემოთავაზებული სქემის ძირითად ელემენტს;
- საჭირო ტემპერატურულ-ტენიანობითი პირობების შექმნის შესაძლებლობისა და შენარჩუნების ხარისხის განსაზღვრა ჰაერგამაცხელებლებში ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმალურად წარმართვისათვის.

დანადგარი გამოიცადა საწარმოო პირობებში საღნობი მანქანის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების პირობებში ჩაის გადამუშავების სეზონის განმავლობაში.

კვლევის პროცესში ჩატარდა რამოდენიმე საწარმოო გამოცდა, რომელთა განმავლობაშიც თბომომარაგების სისტემის ყველა რეჟიმული პარამეტრები იცვლებოდა ფართო საზღვრებში.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად მიღებულია ყველა საჭირო თბოტექნიკური და ენერგო-ეკონომიკური მახასიათებლები ჩაის საღნობი მანქანის თბომომარაგების სისტემების პროექტირებისათვის და აღნიშნული სისტემების დანერგვისათვის საჭირო კონკრეტული რეკომენდაციები:

გარდა ამისა, ჩატარებული იქნა ცდების სერია ჩაის საღნობი მანქანის სხვადასხვა რეჟიმებში მუშაობისას ჰაერის ოპტიმალური პარამეტრების დასადგენად.

საღნობი მანქანის გეოთერმული თბომომარაგების ეფექტურობის გამოვლენის მიზნით გადამუშავებული იქნა ჩაის მწვანე მასის ერთი და იმავე ხარისხის მქონე პარტიები თბომომარაგების არსებული და შემოთავაზებული სქემების მიხედვით, ერთსა და იმავე საღნობი მანქანაზე. შემოთავაზებული სქემით ღნობის შემთხვევაში დაცული იყო ავტორის მიერ მიღებული ჰაერის ოპტიმალური პარამეტრები.

ცდის შედეგები ჩაის ღნობის თანაბრობის თვალსაზრისით მოყვანილია ცხრ. 11-ში.

ცხრილი 11

№	თბომომარაგების არსებული სქემა			თბომომარაგების შემოთავაზებული სქემა		
	ნორმალურად მომღნარი	მოუმღნარი	ზედმეტად მომღნარი	ნორმალურად მომღნარი	მოუმღნარი	ზედმეტად მომღნარი
1.	79,3	8,7	12,0	85,6	8,8	5,6
2.	78,1	9,5	12,4	86,1	9,6	4,3
3.	85,6	6,4	8,1	87,7	7,8	4,5
4.	87,3	5,8	6,9	89,4	6,8	3,8
5.	88,0	6,4	5,6	89,9	6,9	3,2
6.	87,1	5,8	7,1	89,5	7,7	2,8

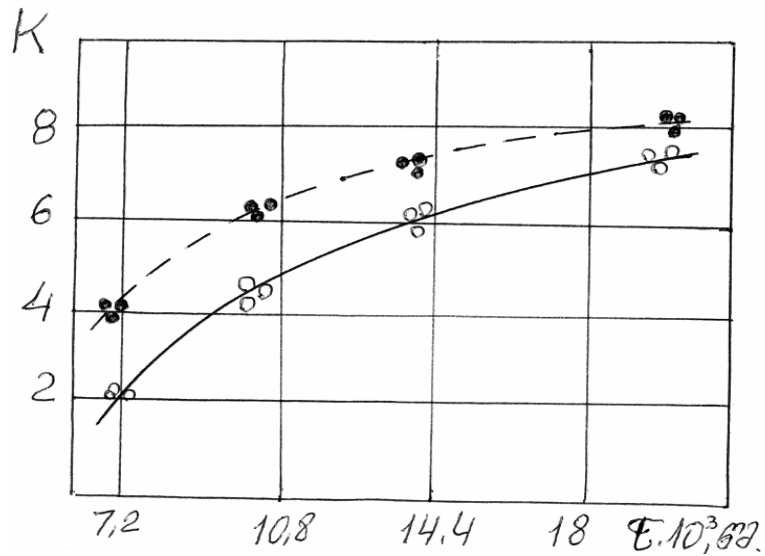
როგორც ცხრ. 11-დან ჩანს, საღნობი მანქანის თბომომარაგების შემოთავაზებული ვარიანტი ხასიათდება ნორმალურად მომღნარი ფრაქციების უკეთესი თანაფარდობით. მოუმღნარი ფრაქციების რაოდენობით არსებული და შემოთავაზებული ვარიანტები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ხოლო ზედმეტად მომღნარი ფრაქციების რაოდენობის მიხედვით შემოთავაზებული ვარიანტი გაცილებით უკეთესია არსებულ ვარიანტთან შედარებით.

ეს გაუმჯობესება, როგორც ჩანს განპირობებულია ღნობის პროცესში ტენის გადატანის სიჩქარის რეგულირების შესაძლებლობით მანქანის თბომომარაგების შემოთავაზებული სქემის პირობებში.

ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებულია ღნობის თანაბრობის კოეფიციენტის K , ღნობის პროცესის ხანგრძლივობისაგან τ დამოკიდებულების გრაფიკები (ნახ. 43). აქვეა დატანილი მრუდი, რომელიც შეესაბამება პროცესის ენერგომომარაგების არსებულ სქემებს.

წარმოდგენილი სქემიდან ნათლად ჩანს, რომ ღნობის თანაბრობის კოეფიციენტი შემოთავაზებული თბომომარაგების სქემის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად მაღლაა.

ეკონომიკური ეფექტურობის დადგენის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს ის გარემოება, რომ არსებულთან შედარებით თბომომარაგების შემოთავაზებული სქემა:



ნახ. 43. ჩაის მასის ღნობის თანაბრობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე

- ითვალისწინებს საქართველოში დეფიციტური მაზუთის საწვავის შეცვლას გეოთერმული წყლებით;
- უზრუნველყოფს ჩაის მასის თერმული დამუშავების საჭირო ტექნოლოგიური რეჟიმების ზუსტი დაცვის შესაძლებლობას;
- მკვეთრად აუმჯობესებს ჩაის ფაბრიკისა და გარემოს სანიტარულ-ჰიგიენურ მდგომარეობას;
- შესაძლებელს ხდის მიღებული იქნას სიცივე, რომლის ხარჯზეც შესაძლებელია ფაბრიკაში გადასამუშავებლად შემოსული ჩაის ფოთლის ცივად შენახვა მზა პროდუქციის ხარისხის გაუარესების გარეშე;
- მარტივად და სრულად ახორციელებს ფაბრიკის საამქროებში ჰაერის კონდიციონირებას, რაც ქმნის პროდუქციის ხარისხის შენარჩუნების და სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების გაუმჯობესების შესაძლებლობას, და შესაბამისად ამაღლებს შრომის მწარმოებლობას.

2.4.6. ვაფე შრეში ჩაის საღნობი მანქანის გაანგარიშების და კონსტრუირების საფუძვლები

ჩაის საღნობი მანქანების კონსტრუირების და გაანგარიშებისათვის შედგენილი საპროექტო მოცემულობა უნდა შეიცავდეს შემდეგ საწყის მონაცემებს:

- ჩაის მასის საწყისი ფარდობითი ტენიანობა ღნობის წინ W_1 ;
- ჩაის მასის საბოლოო ფარდობითი ტენიანობა ღნობის შემდეგ W_2 ;
- ჩაის მასის საწყისი ტემპერატურა ღნობის წინ T_{h1} ;
- ჩაის მასის საბოლოო ტემპერატურა ღნობის შემდეგ T_{h2} ;
- ჩაის მასის გახურების ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა $T_{ტმდტ}$;
- ჰაერის საწყისი ტემპერატურა ღნობის წინ $T_{ჰ,1}$;
- ჰაერის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა $T_{ჰტმდტ}$.

ჩაის მასის კუთრი ტევადობის ($C_{ჩ}$), თბოგამტარობის ($\lambda_{ჩ}$) და ტემპერატურაგამტარობის ($a_{ჩ}$) კოეფიციენტების მნიშვნელობები ღნობის წინ და ღნობის შემდეგ.

ჩაის საღნობი მანქანის გაანგარიშება ჩვეულებრივ იწყება საღნობი საკნის გაანგარიშებით, რომელიც შედგება შემდეგი ძირითადი ეტაპებისაგან: ღნობის მეთოდის შერჩევა, ასაორთქლებელი ტენის რაოდენობის განსაზღვრა; ვაფგ შრის წარმოქმნის და არსებობის პირობების დადგენა; ჩაის მასის მოვიბრირე სიბრტყის მიმართ ფარდობითი გადაადგილების შესაბამისი რხევის კრიტიკული სიხშირეების განსაზღვრა; საღნობი მანქანის მწარმოებლობის, ჰაერის ხარჯის და ღნობის პროცესის ხანგრძლივობის გაანგარიშება; საღნობი მანქანის ძირითადი კვანძების გაბარიტული ზომების და ძრავის მოთხოვნილი სიმძლავრის განსაზღვრა:

1. ჩაის მასიდან ასაორთქლებელი ტენის რაოდენობა განისაზღვრება ცნობილი გამოსახულებით [50; 53].

$$W = q_1(W_{1j} - W_{2j}) / (100 - W_{2j}) = q_2(W_{1j} - W_{2j}) / (100 - W_{1j}) \quad (119)$$

ასაორთქლებელი ტენის რაოდენობა მოსაღნობი ჩაის ერთ კილოგრამზე იქნება

$$\begin{cases} W / q_1 = (W_{1j} - W_{2j}) / (100 - W_{2j}), \\ W / q_2 = (W_{1j} - W_{2j}) / (100 - W_{1j}). \end{cases} \quad (120)$$

2. ჩაის მასის უძრავი შრის ვაფგ მდგომარეობაში გადასვლის დასაწყისი და შრის არსებობის მდგრადობის პირობები განისაზღვრება (2.47), (2.48) და (2.43) ფორმულებით ლიტერატურიდან [1].

3. ფარდობითი მოძრაობის (სრიალის) და მოწყვეტის (ფრენის) ფაზური კუთხეების შესაბამისი რხევის კრიტიკული სიხშირეების მნიშვნელობები განისაზღვრება (88) გამოსახულებით.

4. ჩაის მასის სრიალის და ფრენის პირობები და ფარდობითი მოძრაობის საშუალო სიჩქარის სიდიდეები განისაზღვრება (86), (87), (89), (90) დიფერენციალური განტოლებებით.

5. ჩაის მასის გახურებისათვის ($T_{ჩ,2} = 320-330K$ -მდე) და თავისუფალი და ბმული წყლის რეჟიმებში ღნობისას საჭირო ჰაერის რაოდენობა (σ) განისაზღვრება (2.37), (2.38), (2.39) და (2.40) ფორმულებით ლიტერატურიდან [1].

6. σ -ს ჯამური მნიშვნელობის მიხედვით განისაზღვრება ჰაერის მასური და მოცულობითი ხარჯები

$$\begin{cases} L_{გაბ} = q_2 \sigma \\ L_{გაც} = L_{გაბ} \gamma_3 K \end{cases} \quad (121)$$

სადაც γ_3 არის ჰაერის კუთრი წონა,

K – კოეფიციენტი ითვალისწინებს ჰაერის ხარჯის მოცულობით დანაკარგებს.

7. ჩაის მასის საღნობი მანქანის კუთრი მწარმოებლობა ჩაის მზა პროდუქციის მიხედვით განისაზღვრება ექსპერიმენტის დაგეგმვის და კვლევის ჩატარების მათემატიკური მეთოდიკით მიღებული (4.4), (4.6), (4.8), (4.10), (1.12) და (4.14) რეგრესიის განტოლებებით. მუშა ორგანოს რხევის ჰარმონიული რეჟიმისას ლიტერატურიდან [1].

მშრალი ნივთიერების დანაკარგების გათვალისწინებით მწარმოებლობის საანგარიშო განტოლებები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{cases} q_1 = l_1 q_2 (100 - W_{2j}) / (100 - W_{1j}) \\ q_2 = l_1 q_1 (100 - W_{1j}) / (100 - W_{2j}) \end{cases} \quad (122)$$

სადაც l არის მასალის შენარჩუნების კოეფიციენტი. ჩაის ღნობისას $l_1=0,993$ ანუ მშრალი ნივთიერების დანაკარგი იქნება $1-l_1 = 1 - 0,993 = 0,007$ (0,7%) [1].

8. ჩაის ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ექსპერიმენტის დაგეგმვის და კვლევის ჩატარების მათემატიკური მეთოდიკით მიღებული რეგრესიის განტოლებებით (91; 92; 93). ღნობის

პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით მუშა ორგანოს რხევის ჰარმონიული რეჟიმისას [12].

9. ჰაერგამანაწილებელი გისოსის რაციონალური კონსტრუქციის შერჩევის მეთოდის მოცემულია ლიტერატურაში [76]. ჰაერგამანაწილებელი გისოსების ფართობი კი შეიძლება განისაზღვროს (121) განტოლების მიხედვით

$$F_{\text{გის.}} = L_{\text{მოც.}} / V_{\text{ა}} \cdot \quad (123)$$

გისოსის სიგანის b -ს შერჩევის შემდეგ განისაზღვრება მისი სიგრძე

$$l = F_{\text{გის.}} / b \cdot \quad (124)$$

10. ჰაერის მოცულობითი ხარჯის და გისოსის გაბარიტული ზომების მიხედვით მოვიბრირე ზედაპირზე ჩაის მასის ფარდობითი გადაადგილების მოთხოვნილი სიჩქარე იქნება

$$V_{\text{ჩ.მოთ.}} = 1/\tau \cdot \quad (125)$$

11. უძრავი შრის სიმაღლე მოცემული მწარმოებლობის დროს იქნება

$$h_0 = q_1 / \gamma_{\text{ჩ.}} b V_{\text{ჩ.მოთ.}} \cdot \quad (126)$$

სადაც $\gamma_{\text{ჩ.}}$ არის ჩაის მასის მოცულობითი წონა

12. ვაფგ შრის სიმაღლე ნაკლები უნდა იყოს შრის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები სიმაღლის სიდიდეზე იგი განისაზღვრება ლიტერატურიდან [76].

13. საღნობი მანქანის მკვებავი და გამომტვირთავი დოზატორების ხვირებიდან ჩამოდინების ნახვრეტის ზომები იანგარიშება (3.16), (3.17) და (3.18) რეგრესიის განტოლებებით ლიტერატურიდან [1].

14. მუშა ორგანოს რხევის შერჩეული ოპტიმალური პარამეტრების დროს ჩაის მასის თავისუფალი მოძრაობის პირობებში მნიშვნელოვნად მცირდება ხახუნის წინააღობაზე დახარჯული სიმძლავრე. ჩაის მასის ვიბრაციული დამუშავებისათვის საჭირო მოთხოვნილი სიმძლავრე განისაზღვრება დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მოდელის საშუალებით მიღებული (5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6) ფორმულებით ლიტერატურიდან [1; 54]

**2.4.7. ჩაის ღნობის ვაფგ მეთოდის დ ვიბრაციული საღნობი
მანქანის გამოყენებით მოსალოდნელი ეკონომიკური
ეფექტიანობის განსაზღვრა**

ვაფგ მეთოდით ჩაის ღნობისას შემცირდა პროცესის ხანგრძლივობა 2-6 საათიდან 20-27 წუთამდე, რამაც გამოიწვია მანქანის მწარმოებლობის გაზრდა 4,5-ჯერ, მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესებასთან ერთად.

აღტერნატიული სითბოს წყაროს (მზის სხივები, თერმიული წყლები) გამოყენებით გაუმჯობესდა საამქროების და გარემოს სანიტარულ-ჰიგიენური მდგომარეობა, შემცირდა მზა პროდუქციის თვითღირებულება და გაუმჯობესდა საღნობი დანადგარის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.

ვიბრაციული საღნობი მანქანის ღირებულება მნიშვნელოვნად ნაკლებია ჩაის წარმოებაში გამოყენებულ კონვეიერული ტიპის საღნობი მანქანის ღირებულებაზე. ასევე გაცილებით ნაკლებია მანქანის გაბარიტული ზომები შესაბამისად მის მიერ დაკავებული ფართობი, წონა, ენერგო და ლითონტევადობა. გამარტივდა მანქანის ექსპლუატაცია, შემცირდა მანქანის მომსახურებით დაკავებული ტექნიკური პერსონალის რაოდენობა.

ზემოდ აღნიშნულის გამო მნიშვნელოვნად შემცირდა პროდუქციის თვით ღირებულება.

მხოლოდ მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესებით და მანქანის მწარმოებლობის გაზრდით პროდუქციის ერთი კგ-ის ღირებულება შემცირდა მინიმუმ 0,5 ლარით.

ერთი ჩაის საღნობი მანქანის მიერ გამოშვებული მზა პროდუქციის რაოდენობა სეზონზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q = 3600 \cdot \tau \cdot 150 \cdot b h v \gamma \psi / \eta k = 3600 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,58 / 4 \cdot 1,8 =$$
$$= 454 \text{ ტონა მზა პროდუქცია/წელიწადში}$$

სადაც τ არის დღე-ღამეში სამუშაოს საათების რაოდენობა ($\tau = 10$ სთ);

b – მუშა ზედაპირის სიგანე ($b = 2$ მ); h არის შრის სიმაღლე ($h = 0,2$ მ);

ν – მოვიბრირე ზედაპირზე ჩაის მასის გადაადგილების სიჩქარე
($\nu = 0,01$ მ/წმ);

γ არის მოძღნარი ფოთლის კუთრი მოცულობითი მასა ($\gamma = 200$
კგ/მ³);

ψ არის შევსების კოეფიციენტი ($\psi = 0,58$); η – ჩაის მასიდან მზა
პროდუქციის გამოსავლიანობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა
($\eta = 3,93$); k – უთანაბრობის კოეფიციენტი ($k = 1,8$).

წარმოების წლიური შემოსავლის ნამატი იქნება

$$344000 \cdot 0,5 = 177000 \text{ ლარი.}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ნამატი შემოსავლის 18% უნდა
გადარიცხული იქნეს ბიუჯეტში, მაშინ სუფთა მოგება იქნება

$$C = \frac{177000}{1,18} = 150000 \text{ ლარი/წელიწადში.}$$

ეკონომიური ეფექტიანობა დარგობრივი ნორმატიული კოეფიციენტის
 $E_6 = 0,33$ [1] მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით

$$\Theta = C_i - E_6 K_i = 177000 - 0,33 \cdot 88500 = 150250 \text{ ლარს.}$$

დამატებითი კაპიტალური დაბანდების გამოსყიდვის ვადა
განისაზღვრება ფორმულით

$$T = K_i / C_i = 88500 / 150200 = 0,59 \text{ წელი.}$$

დასკვნა

1. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას უძრავ შრეში ღნობასთან შედარებით გაუმჯობესდა ჩაის მზა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები. მნიშვნელოვნად შემცირდა ღნობის პროცესის ხანგრძლივობა, გაიზარდა საღნობი მანქანის კუთრი მწარმოებლობა, შემცირდა: გაბარიტული ზომები, ენერგო და ლითონტევადობა, მქკ-ის მნიშვნელობა, გამარტივდა მანქანის ექსპლუატაცია და ღნობის პროცესის რეჟიმების ავტომატური რეგულირება.
2. ჩაის საღნობი მანქანის საცდელი ნიმუში მისაღებია ჩაის ღნობისათვის, საწარმოო პირობებში ხანგრძლივი გამოცდისათვის.
3. დადგენილ იქნა ვაფგ შრის არსებობის სასაზღვრო პირობები.
4. ჩაის მასის ვაფგ შრეში ვიბრაციული გადაადგილებისათვის შერჩეული იქნა მუშა ორგანოს რხევის ოპტიმალური პარამეტრები.
5. მუშა ორგანოს რხევის ცვალებადი კუთხისათვის გამოყვანილ იქნა ჩაის დუყის ფარდობითი უძრაობის, სრიალის და ფრენის დიფერენციალური განტოლებები;
6. გამოყვანილ იქნა დუყის და ჩაის მასისათვის მოვიბრირე ზედაპირზე სრიალის დაწყების და მოწყვეტის შესაბამისი კუთხური სისწირების კრიტიკული მნიშვნელობები და სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობების განმსაზღვრელი ფორმულები.
7. ექსპერიმენტით დადგენილ იქნა ჩაის მასის ზოგიერთი ფიზიკო-მექანიკური, თბოფიზიკური და ჰიდროაეროდინამიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება ღნობის პროცესზე მოქმედი ფაქტორების ცვლილებებზე.
8. დამუშავებულ იქნა აფრიანობის სიჩქარის განმსაზღვრელი ექსპერიმენტული სტენდი;
9. ექსპერიმენტით მიღებული იქნა: შრის წინაღობის სიდიდის დამოკიდებულება ჰაერის სიჩქარის, რხევის ამპლიტუდის, კუთრი დატვირთვის და რხევის აჩქარების სიდიდეებზე; ჩაის მასის აფრიანობის სიჩქარის სიდიდის დამოკიდებულება ტენიანობაზე, შრის სისქეზე, ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე.

10. დამუშავებული იქნა ჩაის საღებო მანქანის საცდელი ნიმუში, რომელზედაც მიღებული იქნა ჩაის მასის მდგრადი ვაფგ შრე, მუშა ორგანოს რხევის ჰარმონიული რეჟიმისას.
11. დადგენილ იქნა, რომ მუშა ორგანოს ვიბრაციული რხევის რეჟიმი, ამპლიტუდის და რხევის სიხშირის მნიშვნელობები ზრდა იწვევს ვაფგ შრის სტრუქტურის და არევის პროცესის (სიმაღლის მიხედვით) გაუმჯობესებას.
12. ჩაის მასაზე ვიბრაციის და ჰაერის აღმავალი ნაკადის ერთდროული ზემოქმედება აუმჯობესებს ვაფგ შრის მდგრადობის პირობებს, იწვევს მის თანაბარ არევას და ამცირებს მრუდმხარას კრიტიკული ბრუნვის სიხშირის მნიშვნელობებს.
13. ვაფგ მდგომარეობაში იზრდება შრის ფორიანობა და მცირდება მისი წინაღობის სიდიდე.
14. ვაფგ შრეში ჩაის მასის ღნობისას ჰაერის ტექნოლოგიურად მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურის სიდიდე 318 -დან გაიზარდა 330 -მდე, ხოლო ჰაერის აღმავალი სიჩქარე კი 0.5-0.6 მ/წმ-დან 1,38 მ/წმ-მდე, გისოსებზე პირველსაწყისი დატვირთვა 0,28 კგ-დან შემცირდა 0,22 კგ-მდე. რის შედეგადაც მნიშვნელოვნად გაიზარდა ტენის გადაცემა ზედაპირის ერთეული ფართობიდან და შემცირდა ჰაერისა და სითბოს კუთრი დანახარჯები.
15. დადგენილია ღნობის სიჩქარის სიდიდის დამოკიდებულება, ჩაის მასის ფიზიკო-მექანიკურ, თბოფიზიკურ, აეროდინამიკურ თვისებებზე, ჰაერის ნაკადის და მუშა ორგანოს ვიბრაციის პარამეტრების მახასიათებლებზე.
16. ღნობის ხანგრძლივობის განსაზღვრისათვის გამოყვანილია რეგრესიის განტოლებები, პროცესზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით.
17. ჩაის მასის ვიბრაციული დამუშავების და ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენისათვის შერჩეული დრეკა-ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მოდელი. დამუშავებულია ეგმ-ზე გაანგარიშების ბლოკ-სქემა. გამოყვანილია ძრავის მოთხოვნილი სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულები.

18. ალტერნატიული სითბოს წყაროს (მზის სხივები, თერმიული წყლები) გამოყენებით გაუმჯობესდა ჩაის საღნობი ფაბრიკების და გარემოს სანიტარულ-ჰიგიენური მდგომარეობა, შემცირდა მზა პროდუქციის თვითღირებულება, გაუმჯობესდა პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები და საღნობი დანადგარის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.
19. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების და საწარმოო პირობებში ჩაის საღნობი მანქანების ნიმუშის გამოცდის შედეგების მიხედვით დამუშავებულია ჩაის საშრობი მანქანების გაანგარიშების და კონსტრუირების საფუძვლები.
20. ვაფგ მეთოდით ღნობის ერთი ცალი ვიბრაციული მანქანის (მწარმოებლობით $Q = 0,2$ ტ.მზა პროდუქცია/სთ) დანერგვით მიღებული მოსალოდნელი წლიური ეკონომია შეადგენს 150 ათას ლარს

გამოყენებული ლიტერატურა

1. მეგრელიძე თ.ი. ჩაის შრობის პროცესის კვლევა და საშრობი მანქანების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საფუძვლების დამუშავება. სადოქტორო დისერტაციის ავტორეფერატი. თბილისი: 2002, 30 გვ.
2. რევიშვილი თ.ო. Технологическая схема и линия для переработки сравнительно огрубевшего и грубого чайного листа. Сб. "Чай, культура и производство". Тбилиси: 1979, № 1(37), с. 20-25.
3. Хочолава И.А. Технология чая. М.: Пищепромиздат, 1977, 275 с.
4. Джомарджидзе Г.С. Модернизация и технологического оборудования механизация ПРТС работ на чайных фабриках. Обзорная информация. Тбилиси: ГрузНИИНТИ. 1985. Серия пищевая промышленность, 76 с.
5. რევიშვილი თ.ო., გეგეჩორი გ.შ. Получение белковой биомассы твердофазной ферментацией из отходов чайных концентратов. Реферативный сб. "Чай". 1988, №1(83). С. 24-26.
6. მეგრელიძე თ.ია., დომიანიძე კ.ა., გვაჩლიანი ვ.ვ., გუგულაშვილი გ.ლ., ხაბაძე უ.პ. Способ производства черного чая. М.: А. с. № 1380716 (СССР). А 23 F 3/00. Заявка № 4032857 27.11.85. Оpub. 15.03.88.
7. მეგრელიძე თ.ია., გვაჩლიანი ვ.ვ., დომიანიძე კ.ა., გუგულაშვილი გ.ლ. Устройство для сушки чая. М.: А. с. № 1276327 (СССР) А 23 F 3/00. Заявка № 3893571. 12.05.85. Оpub. 15.12.86.
8. Хоперия Р.М., Девдариани Д.Г., Шенгелия Э.И. Прогрессивная технология переработки чайного сырья с различным механическим составом и физикомеханическими показателями. Тбилиси.: ГрузНИИНТИ. 1985. 47 с.
9. ძნელაძე ნ.ზ., რევიშვილი თ.ო., ძნელაძე ზ.ი. სხვადასხვა სახის შავი ჩაის რაციონალური ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება. კრებული „ჩაი, კულტურა და წარმოება“. ოზურგეთი-ანასეული. 2002, № 1-2, გვ. 67-75.
10. Shneider B., Megrelidze T. Pressure generation during the drying of a porous Half-Space. Trans of the GTU. 2002, N2(441). p. 23-27.
11. Какалავილი А.Н., Попиашвили Н.В., Барабадзе И.И., Муштаев В.И. Некоторые вопросы гидродинамики и кинетики сушки чая в виброкипящем слое. Сб. "Чай, культура и производство", 1973, № 1 (9). с. 77-87.
12. შებლაძე ზ.ლ. ჩაის ფოთლის ღნობის პროცესის ფაქტორების გავლენა მის ხანგრძლივობაზე. ჩაი, კულტურა და წარმოება, 2007, № 1-2, გვ. 21-25.
13. Megrelidze T.I. Effect of Active Basic Factor of Tea Drying Process on Mashine Productivity. Bulletin of the Academy of Scieverces of Georgian, 1999. N 2 (159). p. 294-295.
14. მეგრელიძე თ.ია., შუბლაძე ჰ.ლ., დოლიძე ბ.ვ. Исследование движения зеленого чайного листа в виброаэропсевдоожиденном слое. Georgian Engineering News. 2007, 3, 07, с. 130-132.
15. მეგრელიძე თ.ია., Колесков Ю.Д. К вопросу применения холодильной установки для сушки чая. Труды Грузинского технического университета. 2002, № 2(441), с. 148-151.
16. Vilchted Kh., Megrelidze T. The research of a possibility of control by thermal processes of tea using a discrete method of control. Trans of the Georgian technical university, 2002, N2(441). p. 136-138.

17. Жвания Г.Г., Почхидзе И.Ш., Мазанишвили Г.З. Применение тепловой установки для завяливания чайного листа. Труды Грузинского политехнического института, 1984. №2(234), с. 53-56.
18. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Коэффициент внешнего и внутреннего статического трения полуфабриката и готовой продукции чая. Сб. "Чай, культура и производство", 1973, № 1 (19). с.107-112.
19. მეგრელიძე თ.ი., შუბლაძე ზ.დ., დოლიძე ბ.ზ., გალოგრე ლ.ჯ. ვიბროაეროვსეკვლოვითხვევადებულ შრეში ჩაის ღნობის პროცესის და საღნობის მანქანის ზოგიერთი პარამეტრების დადგენა. სამეცნიერო-ტექნიკური უფროსი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“. 2007. №2, გვ. 31-35.
20. დოლიძე ზ.ბ., ჭოლაძე ი.დ. საღნობი ჩაის ფოთლის ფენის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის ანალიზი. „ჩაი; სუბტროპიკული კულტურა და წარმოება“. 2002, გვ. 47-51.
21. დოლიძე ბ.ზ., ჭოლაძე ი.დ. საღნობ მანქანაში ჩაის მასის შრის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის განსაზღვრა. კრებული „ჩაის, სუბტროპიკული კულტურა და მრეწველობა“. 2003, გვ. 95-96.
22. Megrelidze T.I. Effect of Active Basis factors of Tea Drying Process on machine Productivity. Bulletin of the Georgian. Academy of sciences. Tbilisi Metzniereba. 1999, №2 (159), p. 294-295.
23. Мегрелидзе Т.Я. Исследование удельной теплоемкости скрученного чая в зависимости от влажности и температуры. Инженерные новости Грузии. 1998, № 2(6). С. 68-70.
24. Мегрелидзе Т.Я. Исследование температуропроводности скрученного чая в зависимости от влажности и температуры. Инженерные новости Грузии. 1998, № 3(7). с. 102-103.
25. Мегрелидзе Т.Я. Исследование удельной теплоемкости скрученного чая в зависимости от влажности и температура. Инженерные новости Грузии. 1998, № 2(6), с. 68-70.
26. Мегрелидзе Т.Я. Исследование температуропроводности скрученного чая в зависимости от влажности и температура. Инженерные новости Грузии. 1998, № 3(7), с. 102-103.
27. Мегрелидзе Т.Я. Экспериментальное исследование теплофизических характеристик чайной массы с учетом влажности. Научно-теоретический журнал. Вестник международной академии холода, 2001, Выпуск № 4, с. 16-17.
28. Мегрелидзе Т.Я., Шубладзе З.Л., Долидзе Б.З., Галогре Л.Дж. Исследование скорости витания зеленого чайного листа. Georgian Engineering News, 2007, № 3'07, с. 133-135.
29. Платунов И.С., Буравой С.Е., Курупкин В.В., Петров Г.С. Теплофизические измерения и приборы. Л.: Машиностроение, Л.О., 1986, 256 с.
30. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М: "Химия", 1987, 496 с.
31. Эджибия Л.В., Кекенадзе Д.Г. К вопросу об определении скоростей витания частиц полуфабриката чая. Сб. "Чай, культура и производство", 1972, № 1 (17). с. 69-77.
32. Дерней И. Производство быстрорастворимых продуктов. (Перевод с венгерского). М.: Легкая и пищевая промышленность. 1983, – 184 с.
33. Мегрелидзе Т.Я. Исследование скорости сушки скрученного чая в виброаэрокипящем слое. Инженерные новости Грузии, 1998, № 3(7). с. 63-64.

34. Мегрелидзе Т.Я. Исследование скорости движения скрученной чайной массы на вибрирующей плоскости. Инженерные новости Грузии, 1998, № 3(7). с. 60-62.
35. Долидзе Б.З. Метод инженерного расчета качества завяливания и скручивания чайного листа. НИИЧСКИГП, 2002, с.104-106.
36. Мегрелидзе Т.Я. Исследование закономерности процесса вибротранспортирования частицы чая при бигармоническом режиме колебаний. Тезисы докладов международной конференции по динамике и прочности машин, 1999. с. 68-70.
37. Мегрелидзе Т.Я. Исследование динамического поведения частицы с отрывом на вибрирующей плоскости с переменным углом вибрации. Проблемы прикладной механики, 2000, № 1. С. 76-80.
38. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. Л: "Химия", 1979, 271 с.
39. Гришин М.А., Атаназевич В.И., Семенов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. (Справочник). М: ВО "Агропромиздат", 1989, 215 с.
40. Залнус И.Л., Тамарин А.И., Забродский С.С. Исследование теплообмена и гидродинамики вибропсевдооживленного слоя. Минск: Наука и техника. 1968, 5, 121 с.
41. Кац З.А., Рысин А.П. Сушка пищевых продуктов в виброкипящем слое (обзор). М: Пищевая промышленность, 1972, 137 с.
42. Ковенский Г.И. Влияние колебаний на качество вибропсевдооживленного слоя полимеров. Минск, "Наука и техника", 1970, 208 с.
43. Куцакова В.Г., Богатырев А.Н. Интенсификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов. М., Агропромиздат. 1987, 235 с.
44. Кршеминский В.С., Попов Н.Я. Сушка семян трав. М: "Космос", 1984, 103 с.
45. Жвания Г.Г., Агамирзян Л.С. Исследование движения частицы без отрыва на вибрирующей плоскости с переменным углом вибрации. Научные труды ГПИ им. В.И. Ленина, 1984, № 9 (279), с. 104-109.
46. Жвания Г.Г. Исследования движения частицы с отрывом на вибрирующей плоскости с переменным углом вибрации. Тбилиси: Научные труды ГПИ им. В.И. Ленина, 1985, № 2 (284), с.14-18.
47. Мегрелидзе Т.Я., Домианидзе К.А., Гвачлиани В.В., Гугулашвили Г.Л. Устройство для перемешивания чая. М: А. с. № 1342471 (СССР). А23 F3/00. Заявка № 3998591 30.12.85. Оpub. 07.10.87.
48. Мегрелидзе Т.Я., Шубладзе З.Л., Долидзе Б.З., Галогре Л.Дж. Исследование скорости витания зеленого чайного листа. Georgian Engineering News. 2007, № 3'07, с. 133-135.
49. Мегрелидзе Т.Я. Исследование гидродинамики и кинетики сушки чая виброаэропсевдооживленном слое при переменных параметрах воздуха. Труды Грузинского технического университета. 2002, № 2(441), с. 29-32.
50. Мегрелидзе Т.Я. Расчет вибрационной чаесушильной виброаэропсевдооживленном слое. Труды Грузинского технического университета, 2002, №2(441), с. 33-39.
51. Таварткиладзе Я.М., Яшвили Р.Я. Статистический метод анализа кинетики процессов сушки. Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств. Материалы всесоюзной научной конференции ПАХТ. 1985, часть 5. с. 33-34.
52. Харевава Г.И. Еще раз о температурном режиме сушки чая. Бюл. ВНИИЧП, 1969, № 1. с. 43-46.

53. Гинзбург А.С. Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: Агропромиздат. 1985, 336 с.
54. Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Талейник М.А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность. 1977, 278 с.
55. Технологическое оборудование пищевых производств. Азаров Б.М., Аурих Х., Дичев С.И. и др. Ред. редакцией Азарова Б.М. М.: ВО "Агропромиздат", 1988, 463 с.
56. Лалашвили Т.Я., Надирашвили Ш.Ш., Чоговадзе В.Г., Челидзе В.С. Скоростной способ равномерной завяливания чайного листа. Сб. Чай, культура и производство, 1975, № 2(24), с.12-17.
57. Рогов И.А. Электрические методы обработки пищевых продуктов. М.: Агропромиздат. 1988, 272 с.
58. Мачихин Ю.А., Горбатов А.В., Максимов А.С., Косларов К., Чойшнер Х.Д. Реометрия пищевого сырья и продуктов. Справочник (Под ред. Мачихина Ю.А.). М.: Агропромиздат. 1990, 271 с.
59. Горяжа В.Т., Матвиенко П.С., Феник В.Л. Использование вторичных энергоресурсов пищевых производств. Киев: Техника, 1982, 183 с.
60. Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л., Гвачлиани В.В. Теплообменник. М: А.с. № 1195173 (СССР). F 28 Д11/04. Заявка № 3754945 20.06.84. Оpub. 30.11.85.
61. Мегрелидзе Т.Я., Домианидзе К.А., Гвачлиани В.В., Гугулашвили Г.Л. Теплообменник. М: А. с. № 1231356 (СССР). F 26 В17/22 Е28 Д15/02. Заявка №3827023 20.12.84. Оpub. 15.05.86.
62. Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л., Гвачлиани В.В., Домианидзе К.А., Мачавариани Э.С. Гелиотеплообменник. М: А. с. № 1343234 (СССР). F 28 F21/06, F24 J2/26 Заявка № 4072351 28.05.86. Оpub. 07.10.87.
63. Мегрелидзе Т.Я., Домианидзе К.А., Чохели Д.Н., Гвачлиани В.В., Гугулашвили Г.Л. Теплообменник. М: А. с. № 1334032 (СССР). F 28 Д12/04. Заявка №4003925 02.01.86. Оpub. 30.08.87.
64. Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л., Гвачлиани В.В., Домианидзе К.А., Чхаидзе Б.Ш., Капанадзе Б.Г. Солнечный тепловой коллектор. М: А. с. №1456716 (СССР). F24 Д 2/10. Заявка № 4070811 28.05. 86. Оpub. 07.02.89.
65. Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Д., Гвачлиани В.В., Хабаидзе У.П. Исследование коэффициента температуропроводности кобикормов в зависимости от температуры. Сб. научных трудов ГПИ им. В.И.Ленина, 1987, № 8(320), с. 39-42.
66. Мегрелидзе Т.Я. Исследование граничной зоны истечения скрученного чая из шелевых бункеров. Инженерные новости Грузии, 1998, № 2(6), с. 71-72.
67. Аношин И. М. Теоретические основы массообменных процессов пищевых производств. М: "Пищевая промышленность." 1970, 342 с.
68. Гвачлиани В.В., Домианидзе К.А., Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л. Устройство для термообработки чая. М: А. С. № 1561937(СССР). А 23 F 3/00. Заявка № 4194216. 16. 02. 87. Оpub. 07. 05. 90.
69. Мегрелидзе Т.Я., Гвачлиани В.В., Скверчак В.Д., Гугулашвили Г.Л. Устройство для термообработки зеленого чайного листа. М: А. с. № 1353403. (СССР). А 23 F3/00. Заявка № 3900214 27.05.85. Оpub. 23.11.87.
70. Мегрелидзе Т. Я., Гвачлиани В. В., Домианидзе К. А., Гугулашвили Г. Л. Устройство для сушки чая. М: А. с. № 1276327 (СССР). А 23 F3/00. Заявка № 3893571 12.05. 85. Оpub. 15.12.86.

71. Мегрелидзе Т.Я., Гвачлиани В.В., Скверчак В.Д., Гугулашвили Г.Л. Устройство для сушки чая. М: А. с. № 1358893 (СССР). А 23 F3/00. Заявка №3751152 13.06.84. Оpub. 15.12.87.
72. Мегрелидзе Т.Я., Гвачлиани В.В., Гугулашвили Г.Л., Домианидзе К.А., Гугулашвили Э.Г. Сушилка для сыпучих материалов. М: А. с. № 1728602 (СССР). F 26 В 3/28. Заявка № 4841225 28.05.90. Оpub. 23.04.92.
73. Мегрелидзе Т.Я., Гвачлиани В.В., Гугулашвили Г.Л., Домианидзе К.А., Гугулашвили Э.Г. Сушилка для сыпучих материалов. М: А. с. № 1815557 (СССР). Заявка № 4935879 12.05.91. Оpub. 15.05.93.
74. Ревшвили К.В., Харебава Л.М. Использование солнечной энергии при завяливании чайного листа. Сб. «Чай, культура и производство». 1988, № 2(84), с. 21-25.
75. Чоговадзе Г.И., Жоржолиани И.И. Эффективность использования терминальных вод для комплексного энергоснабжения чайных фабрик. Сборник Чай, культура и производство, 1976, № 3(28), С. 27-35.
76. Шахова Н.А. Конструирование и расчет аппаратов с псевдооживленным слоем. М: МИМХМ, 1978, 83 с.
77. Дорри, Эмери, Молт. Скорость сушки частиц древесины, при продольном переносе массы. Труды Американского общества инженеров - механиков. (Перевод с английского). М: Мир. 1985, Теплопередача, Т. 107. № 1, с. 9-16.