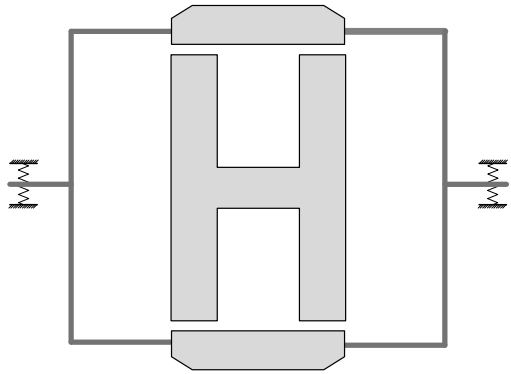
გელა ჯავახიშვილი
ალექსანდრე დიდებულიძე
ვიქტორ ზვიადაური

უკუშქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრომამრავი სოფლის მეურნეობაში

(მეთოდური რეკომენდაცია)



თბილისი
2025

გელა ჯავახიშვილი
ალექსანდრე დიდებულიძე
ვიქტორ ზვიადაური

უკუშქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრომამძრავი სოფლის მეურნეობაში
(მეთოდური რეკომენდაცია)

თბილისი
2025

UDK (უაკ) 633.2.031, 621.31

621.313.13
ჯ-145

ავტორები:

გელა ჯავახიშვილი – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს უნივერსიტეტის პროფესორი

ალექსანდრე დიდებულიძე – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მთავარი აკადემიკოს-მდივანი

ვიქტორ ზვიადაური – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მანქანათა დინამიკის განყოფილების უფროსი

რეცენზენტი:

ედიშერ მიდელაშვილი – ტექნიკის დოქტორი, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის პროფესორი

რედაქტორი:

ზაურ ფუტკარაძე – ტექნიკის დოქტორი, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი

საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა „აგრო“

ISBN 978-9941-8-7802-2

სარჩევი

წინასიტყვაობა 5
1. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები 10
1.1 უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთფაზა ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მუდმივი დენის შემაგნიტებით 10
1.2. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მიმდევრობით შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით 13
1.3 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მაგნიტური გამტარი 16
1.4. ენერგიის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ორტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში 21
1.5 უკუქცევით-წინსვლით ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმები 31
2. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ამძრავის გამოყენება სასოფლო სამეურნეო დანადგარებში 39
2.1. მარცვლეული კულტურების უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროდამხარისხებელი 39
2.2 კაკლის ვიბრაციული დამხარისხებელი 43
2.3. რძის საწველი აპარატი ერთტაქტიანი უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ვიბროამძრავიანი ვაკუუმტუმბოთი 55
2.4. ორტაქტიანი უკუქცევით წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ჩაძირვის ტუმბო 59
2.5. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ ტრანსპორტიორი 63

2.6. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი დოზატორი 72
2.7. ცვლადი მუშა რეჟიმის მქონე ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ-ტრანსპორტიორი 78
2.8. შეკავშირებადი ხასიათის ფხვიერი მასალების დახარისხების და ტრანსპორტირების ინოვაციური ვიბრაციული მოწყობილობა 80
ლიტერატურა 87

წინასიტყვაობა

ვიბრაციულმა ტექნოლოგიებმა ფართო გამოყენება მოიპოვეს მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, ვინაიდან მათი საშუალებით ხერხდება ტექნოლოგიური პროცესების მნიშვნელოვანი ინტენსიფიკაცია. აღნიშნული ტექნოლოგიების ეფექტიანობა მეტწილად განისაზღვრება ვიბრაციული მანქანების ტექნიკური მახასიათებლებით, რაც განაპირობებს ამ პერმანენტულად გარდამავალ ელექტრომექანიკურ რეჟიმში მოძრაობის ცვალებადი სიჩქარით მომუშავე მანქანების სისტემატურ სრულყოფას, თანაც ვიბროამძრავების ტექნიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება მიიღწევა როგორც ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტების შემუშავებით, ასევე თანამედროვე მართვის სისტემების გამოყენებით.

ვიბროამძრავი, რომლის შემსრულებელ ელემენტებში გამოიყენება ელექტრომაგნიტური ველის ენერგია, ძალის კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით (იძულებითი ძალის ფარდობა აქტიურ მასასთან) მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მექანიკური ამძრავის შემსრულებელ ელემენტებს, ხვედრითი ძალის სიდიდით (მოთხოვნილი სიმძლავრის ფარდობა იძულებით ძალაზე) ელექტროჰიდრავლიკურ გარდამქმნელებს, თუმცა ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის შემსრულებელი ელემენტები მაინც რჩებიან კონკურენტუნარიანებად და ავიწროებენ სხვა სახის შემსრულებელ ელემენტებს ვიბროტექნოლოგიის მთელ რიგ სახეებში, რაც გამოწვეულია კონსტრუქციის და მონტაჟის შედარებით სიმარტივით, კარგი მართვით და მაღალი საიმედოობით.

შეიძლება გამოვყოთ ვიბროელექტროამძრავის შემსრულებელი ელემენტების ხუთი ტიპი:

1. ელექტრომექანიკური დებალანსური, ასინქრონული და სინქრონული ამძრავით;
2. ელექტროდინამიკური;
3. ელექტრომაგნიტური: ინდუქციური განივი ნაკადით; ელექტრომაგნიტომექანიკური; ინდუქტორული;
4. მაგნიტოსტრიქციული;
5. პიეზოელექტრული.

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა-დანადგარების ზომის და სიმძლავრის დაპაზონი საკმაოდ ფართოა, სხვადასხვაგვარია მათი დანიშნულება და კონსტრუქცია. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა-დანადგარების კონსტრუქციები არცთუ ისე რთულია, მაგრამ მათი ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია ზუსტად იქნეს განსაზღვრული მათი პარამეტრები, რაც შეიძლება გაკეთდეს ამ მანქანა-დანადგარების და მათ მიერ შესრულებული ტექნოლოგიური პროცესების დინამიკის კვლევის საფუძველზე.

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავების ძირითად ღირსებად ითვლება, ვიბრაციის ამპლიტუდის რეგულირების შესაძლებლობა და სიმარტივე მოწყობილობის მუშაობისას; ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მოწყობილობის მწარმოებლურობის მართვის ავტომატურ სისტემაში ჩართვის შესაძლებლობა; საიმედოობა და ხანგამძლეობა, რაც გამოწვეულია ვიბროამძრავში მოხახუნე წყვილების არარსებობით; ერთ ვიბროდანადგარში ერთდროულად რამოდენიმე ვიბროამძრავის გამოყენების შესაძლებლობა სინქრონიზაციის უზრუნველსაყოფად, ყო-

ველგვარი დამატებითი ზომების მიღების გარეშე, რადგან ვიბროამძრავები მუშაობენ სინქრონულად, როდესაც ისინი იკვებებიან საერთო ქსელიდან.

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები გამოიყენება შემდეგ სფეროებში: ვიბროტექნოლოგია, აქტიური ვიბრო-დამცავი სისტემები, ვიბროშერევა, ვიბროტრანსპორტირე-ბა, ვიბროდოზირება, ვიბროდიაგნოსტიკა, საყოფაცხოვრე-ბო დანიშნულებით და სხვა.

თანამედროვე პერიოდში იწარმოება სხვადასხვა ტიპის და დანიშნულების ელექტრომაგნიტური ვიბროამ-ძრავები, რაც აიხსნება კონრეტულ შემთხვევაში მათი გამოყენების თავისებურებით. აქედან გამომდინარე ყველა არსებული ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი შეიძლება კლასიფიცირდეს შემდეგანაირად:

1. მოქმედების პრინციპით: ერთტაქტიანი და ორტაქტიანი;
2. მოქმედების ხასიათით: დარტყმითი და რეზონანსული;
3. დრეკადი სისტემის კონსტრუციული შესრულების მიხედვით;
4. შესრულების მიხედვით: ღია, დაცული, ჰერმეტული და ფეთქებადსაშიში;
5. მოძრავი ნაწილების რხევითი მოძრაობის ტრაექტორიის მიხედვით: წრფივი მოძრაობის მცირე და დიდი სვლით, კუთხით რხევითი, ხრახნული მოძრაობის;
6. კვების მიხედვით: რეაქტიული, მუდმივი დენის შემაგნიტებით, იმპულსური.

სოფლის მეურნეობაში ზოგიერთი ტექნოლოგიური პროცესი შეიძლება შესრულებული იქნეს მხოლოდ ვიბრა-

ციის გამოყენებით, ხოლო მისი გამოყენება ზოგიერთ ტექნოლოგიურ პროცესში კი იწვევს მნიშვნელოვან ინტენსიფიკაციას და ხარისხობრივი მაჩვენებლების ამაღლებას.

სასოფლო სამეურნეო წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესში გამოყენებული რხევითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავებით აღჭურვილი მანქანა-დანადგარებისადმი წაყენებული ტექნიკური მონაცემები მოყვანილია ცხრილში 1, საიდანაც ნათლად ჩანს, რომ ამ ტიპის მექანიზმებისათვის აუცილებელია ისეთი ვიბროამძრავები, რომლებიც უზრუნველყოფენ 3 ... 350 ჰც სიხშირის რხევებს, 0,2 ... 50 მმ წრფივ ამპლიტუდებს, 2 ... 10^4 მ/წმ^2 აჩქარებებს და 10 კვტ-მდე სიმძლავრეს, ამასთან საკმარისია მხოლოდ რხევის სიხშირისა და ამპლიტუდის რეგულირება.

საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის ელექტროტექნიკის და ელექტროამძრავის კათედრაზე დამუშავდა ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა-დანადგარები, რომელთა კონსტრუქციული, ელექტრული და მაგნიტური სქემები, მუშაობის პრინციპი, აგრეთვე, რ.დვალის მანქანათა მექანკის ინსტიტუტში დამუშავებული ვიბრაციული ტექნოლოგიური მანქანა-მოწყობილობის ზოგიერთი კონსტრუქცია განხილულია წარმოდგენილ რეკომენდაციაში.

საქართველოში სოფლის მეურნეობის წარმოების ზრდის პარალელურად, მიზანშეწონილია შემუშავდეს მეცნიერულ მიღწევებზე დაფუძნებული კომპლექსურ ღონისძიებათა ეროვნული პროგრამები, რომელიც ხელს შეუწყობს სასოფლო სამეურნეო წარმოებისათვის და გადამუშავებისათვის მანქანა-დანადგარების წარმოების შექმნას და განვითარებას.

ცხრილი 1.

სასოფლო სამეურნეო ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენებული ვიბრაციული მანქანა-დანადგარებისადმი წაყენებული ტექნიკური მონაცემები

ტექნო-ლოგიური პროცესი	რხევის პარამეტრები				მასა	სიმძლავრე
	სიხშირე	ამპლიტუდა	აჩქარება	რხევის კანონი		
	ჰც	მმ	მ/წმ^2	-	კგ	კვტ
დახა-რისხება	10-50	1-5	5-500	ჰარმო-ნიული	10-100	1-10
ლეწვა	25-50	5-10	10^2-10^4	შემთხვე-ვითი	10-100	1-10
ხვნა	10-20	10-25	40-400	შემთხვე-ვითი	10-100	1-10
ხილის კრეფა	3-10	5-25	2-100	შემთხვე-ვითი	10-100	1-10
ტრანსპორ-ტირება	5-350	0,5-50	10-100	პოლიჰარ-მონიული	1-100	0,4-1
დაქუც-მაცება	25-100	5-500	5-500	შემთხვე-ვითი	0,1-100	0,4-1
შრობა	25-100	15-300	15-300	შემთხვე-ვითი	0,1-100	0,1-0,8

1. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები

1.1 უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთფაზა ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მუდმივი დენის შემაგნიტებით

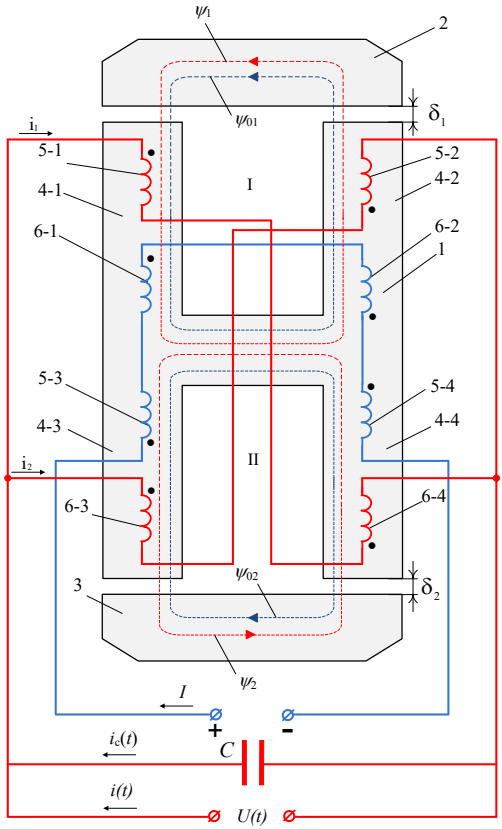
უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთფაზა ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მუდმივი დენის შემაგნიტებით (ნახ. 1.1.1) შედგება H-ის ფორმის ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლებისაგან აკრეფილი გულარასაგან (1), ორი ერთმანეთთან ხისტად დაკავშირებული ერთნაირი ზედა (2) და ქვედა (3) ღუზისაგან. გულარას ერთ ზედა გრძივ ღეროზე (4-1) მოთავსებულია ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭა (5-1) და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭა (6-1); ანალოგიურად, მოპირდაპირე ზედა გრძივ ღეროზე (4-2) მოთავსებულია ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭა (5-2) და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭა (6-2). შესაბამისად გულარას ქვედა გრძივ ღეროებზე (4-3) და (4-4) მოთავსებულია თითო ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭა (5-3), (5-4) და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭები (6-3), (6-4). ვიბროამძრავის ცვლადი დენის მომჭერების პარალელურად ჩართულია კონდენსატორი (9). მუდმივი დენის გრაგნილების მომჭერებზე (10) და (11) ჩართულია მიმდევრობით მიერთებული მუდმივი დენის გრაგნილების კოჭები (6-3) (6-1), (6-2), (6-4), ხოლო ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭები (5-1), (5-2), (5-3), (5-4) ჩართულია ორ პარალელურ შტოდ (7) და (8) მომჭერებს შორის, თანაც შეერთებულნი არიან ჯვარედინად, კერძოდ გულარას ერთ

ზედა ღეროს (4-1) კოჭა (5-1) მიერთებულია საწინააღმდეგო მხარეს მდებარე ქვედა ღეროს (4-4) კოჭა (5-4)-თან, ხოლო გულარას მეორე ზედა ღეროს (4-2) კოჭა (5-2) მიერთებულია ასევე მისი საწინააღმდეგო ქვედა ღეროს (4-3) კოჭა (5-3)-თან. გულარას ზედა ღეროების (4-1) და (4-2) კოჭები და (5-1) და (6-1), აგრეთვე (5-2) და (6-2) დახვეულია თანხვდენილად, ხოლო ქვედა ღეროების (4-3) და (4-4) კოჭები (5-3) და (6-3), აგრეთვე (5-4) და (6-4) დახვეულია შემხვედრად.

ვიბროამძრავი მუშაობს შემდეგნაირად: ცვლადი დენის მომჭერებზე (7, 8) ძაბვის მიწოდებისას წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც ერთნაირი ძალით მიიზიდავს ორივე ღუზას (2, 3), რის გამოც ადგილი არა აქვს ძრაობას. მუდმივი დენის გრაგნილების მომჭერებზე (10, 11) ძაბვის მიწოდება იწვევს მუდმივი ნაკადის წარმოქმნას და პირველ და ყველა კენტ ნახევარპერიოდში ზედა ღუზის (2) მიზიდვას გულარასთან (1), ხოლო მეორე და ყველა ლუწ ნახევარპერიოდში მიიზიდება ქვედა ღუზა (3), რის შედეგადაც წარმოიქმნება ჰარმონიული რხევები ცვლადი დენის სიხშირით.

ვიბროამძრავის შესრულება ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭების (5) ჯვარედინა შეერთებით უზრუნველყოფს, მიუხედავად საჰაერო ღრეჩოების და შესაძლო არათანაბრობისა, პარალელური შტოების ჯამური ინდუქტივობები უცვლელნი და პრაქტიკულად ერთნაირები რჩებიან დროის ნებისმიერ მომენტში, ხოლო აქედან გამომდინარე, დენები ორივე პარალელურ შტოში და აგრეთვე, ერთმანეთის ტოლი იქნებიან და მათ შორის ადგილი არ ექნება ძვრის კუთხეს, რის გამოც ქსელიდან მოთხოვნილი ჯამური დენის ამპლიტუდა იქნება

მაქსიმალური და პარალელური შტოების დენები არ ქმნიან ერთმანეთის საწინააღმდეგო ძალებს, რაც ზრდის ვიბრო-ამძრავის ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს.



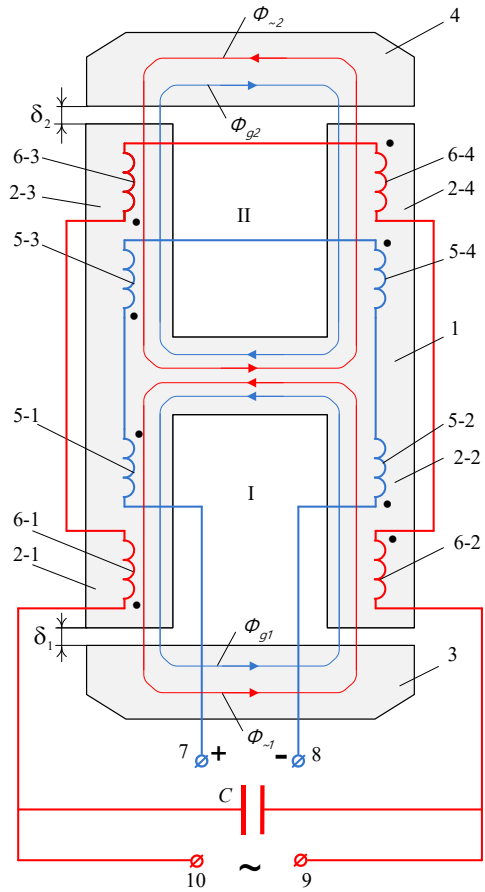
ნახ. 1.1.1 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი ჯვარედინად შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით (პატენტი [1]).

ასეთი სქემით ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის შესრულება ზრდის მისი მუშაობის მდგრადობას და თა-

ვიდან აცილებს დამატებით შრომატევად გაწყობებს; იზრდება აგრეთვე სიმძლავრის კოეფიციენტი რეაქტიული სიმძლავრის კონდენსატორის საშუალებით კომპენსაციის გამო, ხოლო კონდენსატორის ტევადობის რეგულირებით მიიღწევა ელექტრომაგნიტური რეზონანსი; იგივე ეფექტი შეიძლება მიღწეული იქნეს აგრეთვე შემაგნიტების რეგულირებით მუდმივი ტევადობის პირობებში.

1.2. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მიმდევრობით შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით

მუდმივი დენის შემაგნიტებიანი ორტაქტა ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მიმდევრობით შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი (ნახ. 1.2.1) შეიცავს H–ის ფორმის მართკუთხა გულარს (1), ქვედა (2-1, 2-2) და ზედა (2-3, 2-4) ღეროებს და ორ ერთმანეთთან ხისტად დაკავშირებულ ქვედა (3) და ზედა (4) ღუზას. გულარის ქვედა და ზედა ღეროებზე მოთავსებული, როგორც მუდმივი (5-1, 5-2, 5-3, 5-4) ისე ცვლადი დენის (6-1, 6-2, 6-3, 6-4) გრაგნილები შეერთებულია მიმდევრობით. გულარის (1) ზედა (2-3, 2-4) ღეროების გრაგნილები (5-3 და 6-3, 5-4 და 6-4) დახვეულია შემხვედრად, ხოლო ქვედა (2-1, 2-2) ღეროების გრაგნილები (5-1 და 6-1, 5-2 და 6-2) – თანხვდენილად. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მუდმივი დენის მომჭერებზე (7, 8) მიერთებულია მუდმივი დენის წყარო, ხოლო ცვლადი დენის მომჭერების (9, 10) პარალელურად ჩართულია კონდენსატორი (11).



ნახ. 1.2.1 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მიმდევრობით შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით (პატენტი [5]).

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მუშაობს შემდეგნაირად: ცვლადი დენის მომჭერებს (9, 10) მიეწოდება რა ცვლადი სინუსოიდური ძაბვა, ცვლადი დენის გრაგნილები (6-1, 6-2, 6-3, 6-4) I და II მაგნიტურ კონტურებში

წარმოიქმნიან ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც ერთნაირი ძალით მიიზიდავს ორივე ღუზას (3, 4) და, თუ მუდმივი დენის გრაგნილებში (5-1, 5-2, 5-3, 5-4) დენი არ გაივლის, ადგილი არ ექნება ღუზების მოძრაობას. მუდმივი დენის მომჭერებზე (7,8) ძაბვის მიწოდება იწვევს მუდმივი მაგნიტური ნაკადის წარმოქმნას და ყველა კენტ ნახევარპერიოდში გულარის ქვედა (2-1, 2-2) ღეროები I მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ქვედა ღუზას (3), რადგან მუდმივი დენის გრაგნილებით (5-1, 5-2) წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადის (Φ_{g1}) და ცვლადი დენის გრაგნილებით (6-1, 6-2) წარმოქმნილი ნაკადის ($\Phi_{\sim 1}$) მიმართულება I მაგნიტურ კონტურში ერთმანეთს ემთხვევა, ჯამური მაგნიტური ნაკადი ტოლია $\Phi_{jam1} = \Phi_{\sim 1} + \Phi_{g1}$. ამ პერიოდში გულარის ზედა (2-3, 2-4) ღეროებზე მუდმივი (5-3, 5-4) და ცვლადი დენის (6-3, 6-4) გრაგნილებში წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადები, შესაბამისად Φ_{g2} და $\Phi_{\sim 2}$ ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული და II მაგნიტურ კონტურში ჯამური მაგნიტური ნაკადი ტოლი იქნება $\Phi_{jam2} = \Phi_{\sim 2} - \Phi_{g2}$.

ყველა ლუწ ნახევარპერიოდში გულარის ზედა ღეროები (2-3, 2-4) II მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ზედა ღუზას (4), რადგან მუდმივი დენის გრაგნილებით (5-3, 5-4) წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადის (Φ_{g2}) და ცვლადი დენის გრაგნილებით (6-3, 6-4) წარმოქმნილი ნაკადის ($\Phi_{\sim 2}$) მიმართულება II მაგნიტურ კონტურში ერთმანეთს ემთხვევა, ჯამური მაგნიტური ნაკადი ტოლია $\Phi_{jam2} = \Phi_{\sim 2} + \Phi_{g2}$. ამ პერიოდში გულარის ქვედა (2-1, 2-2

ღეროებზე) მუდმივი (5-1, 5-2) და ცვლადი დენის (6-1, 6-2) გრაგნილებში წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადები, შესაბამისად Φ_{g1} და $\Phi_{\sim 1}$, ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული და I მაგნიტურ კონტურში ჯამური მაგნიტური ნაკადი ტოლი იქნება $\Phi_{jam1} = \Phi_{\sim 1} - \Phi_{g1}$. ამრიგად წარმოიქმნება ჰარმონიული რხევები.

იმის გამო, რომ აღნიშნულ სქემაში მუდმივი დენის უცვლელობის დროს, ცვლადი დენის გრაგნილების ინდუქციურობა არაა დამოკიდებული საჰაერო ღრეჩოების (δ_1) და (δ_2) სიდიდის ცვლილებაზე, გაადვილებულია ელექტრომაგნიტური ფერორეზონანსის მიღწევა, რაც საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად ამაღლდეს ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მუშაობის ენერგეტიკული მაჩვენებლები და გაიოლდეს მისი ექსპლუატაცია.

1.3 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მაგნიტური გამტარი

სასოფლო სამეურნეო წარმოებაში ფართოდ გამოიყენებული მანქანა-დანადგარების, რომელთა მუშა ორგანოები ასრულებენ უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობას, აღჭურვილია სერიული წარმოების ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავებით, რომელებიც შეიცავენ П ან Н-სებური ფორმის მართკუთხა გულარს, რომლის ღეროებზე მოთავსებულია კვების წყაროსთან მიერთებული დენის გრაგნილები და ღუზას (ღუზებს).

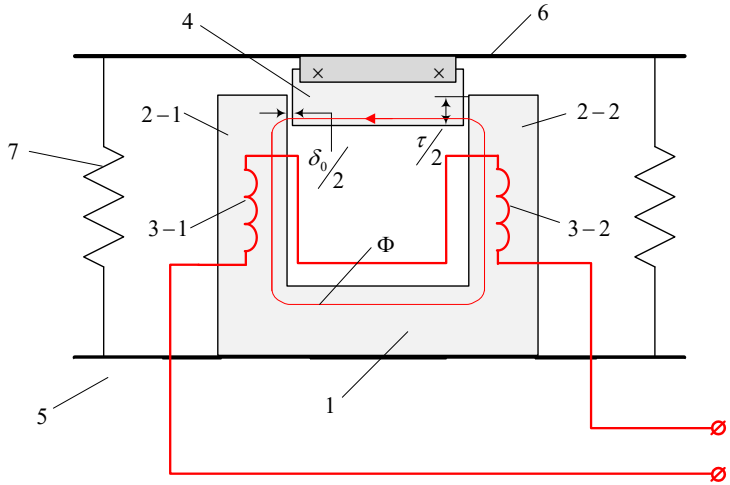
ცნობილი მაგნიტური გამტარებით აღჭურვილი ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები, როგორც წესი მუ-

შაობენ მექანიკური რეზონანსის სიახლოვეს. იმის გამო, რომ რეზონანსის დროს გადაადგილების ამპლიტუდა საგრძნობლად იზრდება, ამიტომ საჰაერო ღრეჩოს სიმცირის გამო ადგილი აქვს ღუზის და გულარის ურთიერთშეჯახებას, რაც თავის მხრივ იწვევს ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მუშაობის რეჟიმის არამდგრადობას, საექსპლუატაციო და ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუარესებას.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მაგნიტური გამტარებით აღჭურვილი ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავების მუშაობა შესაძლებელია მექანიკური რეზონანსის შემთხვევაში. ამ დროს შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს გადაადგილების მაქსიმალური მნიშვნელობა. ეს კი თავის მხრივ ზრდის ამ ვიბრომძრავების გამოყენების შესაძლებლობას ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესებში, სადაც საჭიროა უკუქცევით-წინსვლითი გადაადგილების დიდი ამპლიტუდა.

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი, მაგნიტური გამტარის შესრულების პირველ ვარიანტში (ნახ.1.3.1), შეიცავს Π-სებური ფორმის მართკუთხა გულარს (1), რომლის ღეროებზე (2-1, 2-2) მოთავსებულია, კვების წყაროსთან არსებული სქემით მიერთებული დენის გრაგნილები (3-1, 3-2), და ღუზას (4), რომელიც განთავსებულია გულარის ღეროებს (2-1, 2-2) შორის საჰაერო ღრეჩოთი ($\delta_0/2$) და გააჩნია უკუქცევით-წინსვლითი რხევითი მოძრაობის შესაძლებლობა. გულარი (1) ხისტად დამაგრებულია ქვედა სადგარზე (5), ხოლო ღუზა (4) ზედა სადგარზე (6), რომელიც დრეკადი ელემენტების (7) საშუალებით დაკავშირებულია გულარის (1) სადგართან (5).

ღუზის სიგრძე გულარის ღეროებს (2-1, 2-2) შორის მანძილზე ნაკლებია.



ნახ.1.3.1 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი П-სებური ფორმის მაგნიტური გამტარით (პატენტი [9]).

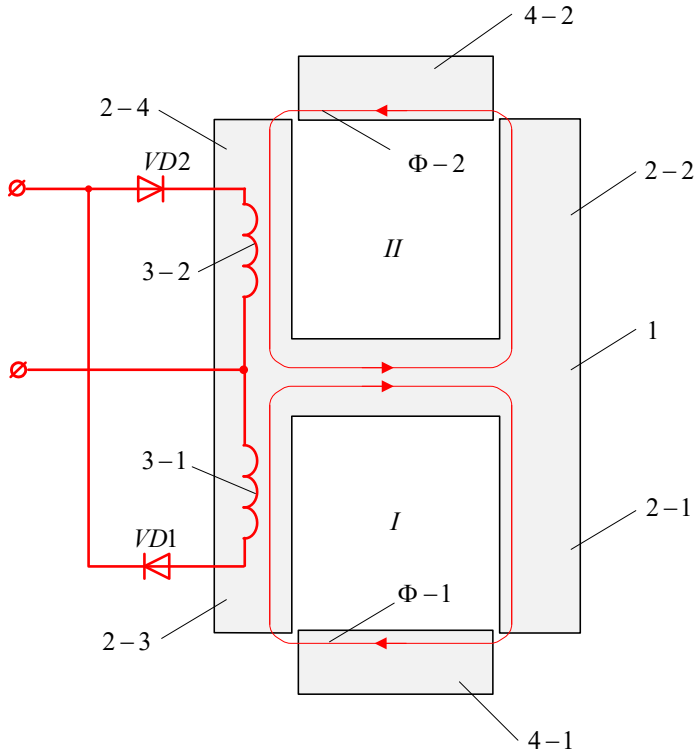
ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი, მაგნიტური გამტარის შესრულების მეორე ვარიანტში (ნახ.1.3.2), შეიცავს H -სებური ფორმის მართკუთხა გულარს (1) ქვედა (2-1, 2-3) და ზედა (2-2, 2-4) ღეროებით, რომლებზეც მოთავსებულია კვების წყაროსთან არსებული სქემით მიერთებული დენის გრაგნილები (3-1, 3-2) და ორ ერთმანეთთან ხისტად დაკავშირებულ ქვედა (4-1) და ზედა (4-2) ღუზებს. ღუზები განთავსებულია გულარის ღეროებს (2-1, 2-3 და 2-2, 2-4) შორის, საჰაერო ღრეჩოთი ($\delta_0/2$) და გააჩნია უკუქცევით-წინსვლითი რხევითი მოძრაობის შესაძლებლობა. თითოეული ღუზის სიგრძე გულარის ღეროებს შორის მანძილზე ნაკლებია.

პირველ ვარიანტის მაგნიტური გამტარის მქონე ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი მუშაობს შემდეგნაირად: კვების წყაროდან მიწოდებული სინოსოიდური ძაბვის დროს П-სებური ფორმის გულარის ღეროებზე (2-1, 2-2) მოთავსებულ გრაგნილებში (3-1, 3-2) წარმოიქმნება ნიშანცვლადი მაგნიტური ნაკადი (*Ф*), რომელიც პერიოდულად მიიზიდავს ან განიზიდავს ღუზას (4), რის შედეგადაც წარმოიქმნება ჰარმონიული რხევები.

მეორე ვარიანტის მაგნიტური გამტარის მქონე ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის კვების წყაროდან მოწოდებული სინოსოიდური ძაბვის დროს Н-სებური ფორმის გულარის ქვედა და ზედა ღეროებზე მოთავსებულ გრაგნილებში (3-1, 3-2) წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ნაკადები (*Ф-1*, *Ф-2*), და შესაბამისად თუ ყველა კენტ ნახევარპერიოდში გულარის ქვედა (2-1, 2-3) ღეროები I მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ქვედა (4-1) ღუზას, მაშინ ყველა ლუწ ნახევარპერიოდში გულარის ზედა (2-2, 2-4) ღეროები II მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ზედა (4-2) ღუზას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ჰარმონიული რხევები.

წარმოდგენილ Н-სებური ფორმის მაგნიტურ გამტარიანი ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი ხასიათდება თანაბარი რხევებით, ნიშანცვლადი მომენტის სიმეტრიულობით და გაუმჯობესებული ენერგეტიკული და საექსპლუატაციო მახასიათებლებით. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის ღუზა მოძრაობს რა გულარის ღეროების პოლუსებში მუდმივი საჰაერო ღრეჩოების არსებობისას, აღძრული მიზიდვის ძალები დამოკიდებულია, როგორც აღნიშნული ღრეჩოების სიდიდეზე, ისე ღუზის

და ღეროების პოლუსების ფართის გადაფარვის ცვლილებაზე.



ნახ. 1.3.2 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი H-სებური ფორმის მაგნიტური გამტარით(პატენტი [9]).

შემოთავაზებულ მაგნიტურგამტარებიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავებში მიიღწევა ღუზის რხევების ამპლიტუდის მაღალი სიდიდე, ადგილი არ აქვს ღუზის შეჯახებას გულართან, რითაც იზრდება მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის მდგრადობა და უმტყუნო მუშაობის

ალბათობა. ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავებში ზემოთაღნიშნული მაგნიტური გამტარის შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებული იქნეს არსებული ელექტრული კვების სქემები.

1.4. ენერგიის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ორტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში

ქვემოთ მოყვანილია ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში (ნახ. 1.1.1) ენერგიის ელექტრომექანიკური გარდაქმნის კვლევების შედეგები. ასეთი ვიბროამძრავების რხევითი სისტემები, როგორც წესი, მზადდება ორმასიანი სახით და ურთიერთ რხევები ხდება მასების კინეტიკური ენერგიების პერიოდული მასების დამაკავშირებელი მექანიკური ელასტიური ელემენტის პოტენციურ ენერგიად გარდაქმნის გამო და პირიქით.

ვიბროამძრავის ელექტრომაგნიტური სისტემების აქტიურ მასალებში ენერგიის დანაკარგების შემცირების ტრადიციული მეთოდები, რომლებიც მიზნად ისახავს ელექტრული სქემების აქტიური წინააღმდეგობის შემცირებას, ფოლადში გრიგალური დენებისა და ჰისტერეზისგან ენერგიის დანაკარგების შეზღუდვას მიყვანილია სრულყოფილების მაღალ ხარისხამდე, ამიტომ აუცილებელია. ვიბროამძრავების ენერგეტიკული მაჩვენებლების, კერძოდ კი მარგი ქმედების კოეფიციენტისა η და სიმძლავრის კოეფიციენტის $\cos\varphi$, გაზრდის თვისობრივად ახალი გზების მოძიება ძირითადად ენერგიის ელექტრომექანიკური გარდაქმნის პროცესის ოპტიმიზაციის სფერო-

ში. ვინაიდან ეს გარდაქმნა საკმაოდ რთულ პროცესს წარმოადგენს, ყველა ფიზიკური მოვლენის, მათ შორის ენერგიის ფერომაგნეტიკებში ტრანსფორმაციის, გათვალისწინების მცდელობები უკავშირდება მათემატიკურ სირთულეებს და ვერ იძლევა განმსაზღვრელ ფაქტორებს შორის ცალსახა ანალიტიკური ურთიერთკავშირების დადგენის საშუალებას. მოცემულ ეტაპზე განიხილება ერთფაზიანი ვიბროამძრავი და გამოიყენება ელექტრომაგნიტური სისტემის წრფივი აპროქსიმაცია, რაც ფართოდ გამოიყენება ელექტროტექნიკური მოწყობილობების თეორიაში. გარდა ამისა, მხედველობაში არ მიიღება სამუშაო მექანიზმიდან მექანიკური წინააღმდეგობის ძალების ბუნება (მექანიკური მახასიათებელი), რაც რეალურ პირობებში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ვიბროამძრავის ეფექტიანობის მაჩვენებლებზე.

დამუშავებული ვიბრაციული გარდამნელების მთავარი უპირატესობა არსებულებთან შედარებით არის მათი მკვეთრად ამაღლებული ენერგოეფექტიანობა და სტაბილურობა ექსპლუატაციაში, რაც მიიღწევა მექანიკური და ფერომაგნიტური რეზონანსული ფენომენების ერთდროული გამოყენებით. განსაკუთრებით რთულია ფერომაგნიტური რეზონანსის შენარჩუნება უკუქცევით-წინსვლით ორტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში H-ფორმის გულარათი და შემაგნიტებით, რომლის ადრე არსებულ კონსტრუქციებში ინდუქციურობა იცვლებოდა ფართო საზღვრებში, რადგანაც დამოკიდებული იყო საჰაერის ღრეჩოს δ სიდიდეზე და არ არსებობდა რეაქტიული ენერგიის კომპენსაციის შესაძლებლობა ვიბრაციული ძრავის გრაგნილის C კონდენსატორების ბატარეის პარალელურად მიერთებით. ახალ კონსტრუქციაში ინდუქციური

წინაღობის მუდმივობა მიიღწევა იმით, რომ ცვლადი დენის გრაგნილის სექციები შეერთებულია ჯვარედინად, კერძოდ კი ორ ზედა ღეროზე განთავსებული კოჭები მიმდევრობით უკავშირდება მოპირდაპირე ქვედა ღეროებზე დახვეულ კოჭებს (ნახ. 1.1.1). შედეგად, შემაგნიტების გრაგნილში *I* დენის მუდმივობისას, ცვლადი დენის გრაგნილის პარალელური შტოების ინდუქციურობები არ არიან დამოკიდებული საჰაერო ღრეჩოების δ_1 და δ_2 ცვლილებაზე და რჩება მუდმივი და ერთმანეთის ტოლი დროის ნებისმიერ მომენტში, რითაც მიიღწევა მაქსიმალური დადებითი ეფექტი მარგი ქმედების კოეფიციენტის და სიმძლავრის კოეფიციენტის ასამაღლებლად.

როდესაც ვიბროამძრავის ღუზა ასრულებს მარტივ ჰარმონიულ უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობებს, ყოველი ნახევარი პერიოდის განმავლობაში წარმოებს ენერგიის გაცვლა ელექტრულ წრედს, მექანიკურ სისტემასა და მაგნიტურ ველს შორის, თანაც ენერგიის გარდაქმნა ხდება ორივე მიმართულებით.

ვიბროამძრავში ენერგიის გარდაქმნასთან დაკავშირებული სხვადასხვა მოვლენა მიმდინარეობს პარალელურად და ერთდროულად: ელექტრული ველის ენერგიის ცვლილება, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, გამოწვეული ელექტროსტატიკური და მაგნიტური ველების ცვლილებებით, მაგნიტურ წრედში დანაკარგები, თბური დანაკარგები ელექტრული წრედის აქტიურ წინააღმდეგობებში. ხახუნის დანაკარგები მექანიკურ ნაწილში და ა.შ. და სხვადასხვა მოვლენის როლი ენერგიის გარდაქმნის ზოგად პროცესში არაა ეკვივალენტური. სამრეწველო სიხშირესთან (50 ჰც) ახლო სიხშირეებზე ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გამო ენერგიის დანაკარგები უმნიშვნელოა

და შეიძლება მათი უგულებელყოფა. ელექტროსტატიკური ველის ენერგია ასევე მცირეა გრაგნილების მცირე ხვიათაშორისი ტევადობების გამო და შედეგად ასევე შეიძლება მისი უგულებელყოფა. ვინაიდან ჩვენ პირველ რიგში გვაინტერესებს ენერგიის სასარგებლო გარდაქმნა, სრულიად მისაღებია დაშვება, რომ არაა თბური დანაკარგები და ვიბროამძრავის გრაგნილების აქტიური წინააღმდეგობები გარე წრედის წინააღმდეგობის ნაწილს წარმოადგენს, ხოლო რეალური კოჭების ნაცვლად განვიხილოთ იდეალიზებული კოჭები ნულოვანი აქტიური წინააღმდეგობით (რეალურ მძლავრ ვიბროამძრავში კოჭას აქტიური წინააღმდეგობა არ აღემატება ინდუქციური წინააღმდეგობის 1%-ს); გრიგალურ დენებზე და ჰისტერეზისზე დანაკარგები განსახილველი მოწყობილობის მაგნიტურ წრედში ასევე მცირეა და შეიძლება გამოირიცხოს ანალიზიდან შესამჩნევი ცდომილების წარმოქმნის გარეშე. ასეთ შემთხვევაში ენერგიის ბალანსის განტოლება, რომელიც აკავშირებს ვიბროამძრავში ენერგიის ცვლილების სამ სახეს, ჩაიწერება ასე

$$\Delta W_e = \Delta W_f + \Delta W_m \ , \qquad (1.4.1)$$

სადაც ΔW_e , ΔW_f და ΔW_m – შესაბამისად ელექტრული ენერგიის, მაგნიტური ველის ენერგიისა და მექანიკური ენერგიის ცვლილებებია, ვტ. ამ გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ თუ ვიბროამძრავში ელექტრული ენერგია აღემატება მაგნიტური ველის ენერგიას, მაშინ ენერგიის ნაწილი გარდაიქმნება მექანიკურ ფორმაში; ამავდროულად, თვალსაჩინოა მაგნიტური ველის ენერგიის, როგორც ენერგიის შუალედური ფორმის როლი ელექტრული ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნაში.

მკვებავი ქსელიდან ვიბრომძრავის მიერ მოხმარებული ელექტრული ენერგია აქტიურ წინააღმდეგობაში

დანაკარგების გაუთვალისწინებლად მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\Delta W_e = \int_0^t (ui - i^2 r)dt = \int_0^t ei\,dt. \qquad (1.4.2)$$

რადგან განსახილველი ვიბროამძრავის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს გრაგნილის საკუთარი ინდუქციურობის მუდმივობა $L = \Psi / i = const$, ელექტრული ენერგიის ცვლილების ცნობილი განტოლება

$$\Delta W_e = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} i\,d\Psi \qquad (1.4.3)$$

შეიძლება ჩავწეროთ როგორც

$$\Delta W_e = \frac{\Psi_2^2 - \Psi_1^2}{2L} = i\Delta\Psi, \qquad (1.4.4)$$

ხოლო მაგნიტურ ველში მომარაგებული ენერგიისათვის გვაქვს

$$\Delta W_f = \int_0^{\Psi} i\,d\Psi = \frac{\Psi^2}{2L}, \qquad (1.4.5)$$

რაც გრაფიკულად გამოისახება ფართობით $A_1 + A_2$ ნახ. 1.4.1-ზე.

ენერგიის გარდაქმნის პროცესის საილუსტრაციოდ ვსარგებლობთ ნაკადთგადაბმულობის $\Psi(t)$ ცნებით და ვიხილავთ ვიბროამძრავის ძალიან დაბალი აქტიური წინააღმდეგობით; მაშინ ნაკადთგადაბმულობის გამოსახულება ღებულობს სახეს:

$$\Psi(t) = \int_0^t u(t)dt + \Psi_0; \qquad (1.4.6)$$

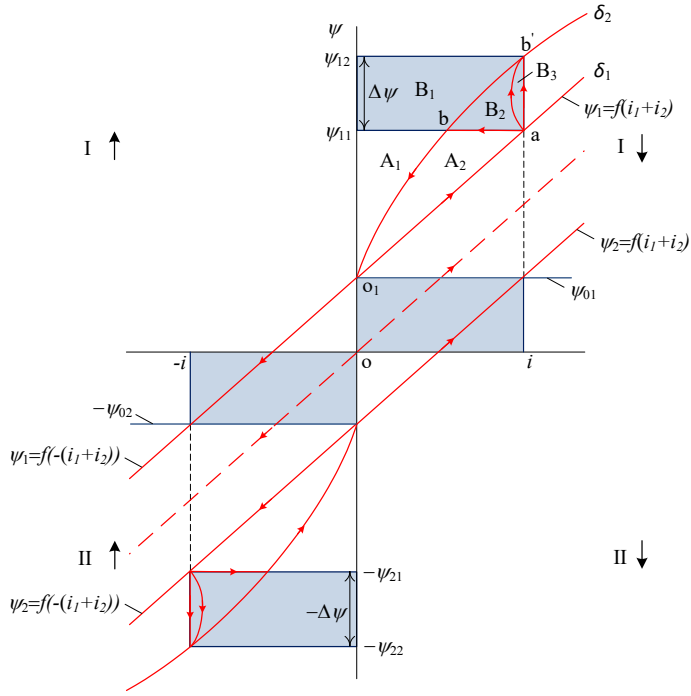
აქ $u(t)$ არის დროის დავალებული ფუნქცია, რის გამოც $\Psi(t)$ არაა დამოკიდებული სისტემის პარამეტრებზე და უდრის შემაგნიტების გრაგნილის მიერ აღძრულ საწყის მნიშვნელობას Ψ_0. მას შემდეგ, რაც ცვლადი ძაბვა $u(t)$ მიეწოდება ვიბროამძრავს, დროის ერთ-ერთ ნახევარპერიოდში მაგნიტური წრედის I და II ნაწილებში დამაგნიტების მახა-

სიათებლები $\Psi = f(i)$ იქნება შესაბამისად $\Psi_1 = f(i_1 + i_2)$ და $\Psi_2 = f(i_1 + i_2)$ (წითელი წყვეტილი ხაზები, ნახ.1.1.1); დროის მეორე ნახევაპერიოდში მაგნიტური ნაკადთგადაბმულობები იქნება $\Psi_1 = f[-(i_1 + i_2)]$ და $\Psi_2 = f[-(i_1 + i_2)]$ და ამგვარად გვაქვს ცვლადი მაგნიტური ნაკადები, რომელიც რომლებიც იზიდავს ღუზის ორივე, ზედა და ქვედა ნაწილს (ნახ.1.1.1 - 2,3) თანაბარი ძალებით, შესაბამისად, ღუზის მოძრაობა არ ხდება. მუდმივი ძაბვის U შემაგნიტების წრედზე (ლურჯი ელექტრული წრედი, ნახ. 1.1.1-ზე) მიწოდების შემდეგ, ორივე I და II მაგნიტურ წრედში ჩნდება მუდმივი ნაკადთგადაბმულობები Ψ_{01} და Ψ_{02}. კოჭების გრაგნილების დახვევის მიმართულების გათვალისწინებით, $u(t)$ ძაბვის ყველა დადებით ნახევარპერიოდში I მაგნიტურ წრედში ეს ნაკადთგადაბმულობა ემატება ცვლად ნაკადთგადაბმულობას, ხოლო II მაგნიტურ წრედში – აკლდება ცვლად ნაკადთგადაბმულობას, ხოლო ყველა უარყოფით ნახევარპერიოდში გვაქვს საპირისპირო სურათი და იწყება ღუზის რხევები მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირის ტოლი სიხშირით.

ნახ. 1.4.1-დან ჩანს, რომ მცირე დადებითი დამამაგნიტებელი ძალის მინიჭებამ შესაძლებელია გამოიწვიოს ნაკადთგადაბმულობის დროში წრფივი ზრდა უჯერი ზონის ნებისმიერ სასურველ დონემდე. გრაფიკი $\Psi(t)$ დამოკიდებულია δ საჰაერო ღრეჩოს კონკრეტულ მნიშვნელობებზე ან δ-ს ცვლილების კანონზე Ψ-ის ზრდის პირობებში. თუ საწყის წერტილად ავიღებთ O კოორდინატების სათავეს, სადაც u, Ψ და i ტოლია ნულის, მაშინ დამმააგნიტებელი ძალის მატებასთან ერთად Ψ იზრდება 0-a მიმართულებით. a წერტილის მიღწევისას, სადაც წყაროდან გადაცემული და ელექტრომაგნიტურ ველში

დაგროვილი ენერგია უდრის $A_1 + A_2$ ფართობს, გულარასა და ღუზას შორის საჰაერო ღრეჩო δ მაგნიტური მიზიდულობის ძალის ზემოქმედებით იწყებს კლებას. ამ შემთხვევაში შესრულდება მექანიკური მუშაობა და ნაკადთგადაბმულობის ცვლილების პროცესი, მისი ბუნებიდან გამომდინარე, იქნება ერთ-ერთი ხაზი - ab ან ab'. ველის ენერგიის საბოლოო მნიშვნელობა b წერტილში უდრის $A_1 + B_1$ ფართობს და ველის ენერგიის ზრდა

$$\Delta W_f = (A_1 + B_1) - (A_1 + A_2) = B_1 - A_2 , \qquad (1.4.7)$$



ნახ.1.4.1. ელექტრომაგნიტური უკუქცევით-წინსვლითი ვიბროამძრავის მდგომარეობების პარამეტრები.

ხოლო შესრულებული მექანიკური მუშაობა, განტოლება (1.4.1)-ის გათვალისწინებით, იქნება

$$\Delta W_m = \Delta W_e + \Delta W_f = (B_1 + B_2 + B_3) - (B_1 - A_2) = \\ = A_2 + B_2 + B_3 \qquad (1.4.8)$$

და აისახება ფაეთობებით $A_2 + B_2 + B_3$, ე.ი. ტოლია მაგნიტური ველის ენერგიის შემცირებისა.

ნაკადთგადაბმულობის Ψ b' წერტილიდან 0_1 წერტილამდე შემცირებისას, A_1 ფართობის ტოლი ელექტრული ენერგია უბრუნდება კვების წყაროს; ეს ფართობი $A_2 + B_2 + B_3$ ფართობით ნაკლებია სისტემაში თავდაპირველად გადაცემული ენერგიის რაოდენობაზე შესრულებული მექანიკური მუშაობის რაოდენობით და ყოველ ჯერზე, როდესაც სისტემა გადის $0_1 - a - b' - 0_1$ გზას გრაფიკზე, ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება მაგნიტური ველის ენერგიაში, ხოლო შემდეგ მექანიკურში; ენერგიის გარდაქმნა დაბრუნების გზაზე $0_1 - b' - a - 0_1$ იწვევს პირიქით, მექანიკური ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნას, ანუ გვაქვს გენერატორული რეჟიმი. ღუზის გადაადგილების პროცესში მასზე მოქმედებს საშუალო ძალა

$$F = \frac{\Delta W_m}{\Delta \delta} = \frac{A_2 + B_2 + B_3}{\delta_2 - \delta_1} = B_\delta^2 S/2\mu_0 = \psi(t)^2/2\mu_0 S, \quad \text{ნ}, \qquad (1.4.9)$$

სადაც, B_δ არის მაგნიტური ინდუქციის საბაზისო მნიშვნელობა (B_δ = 1 ტესლა); S - საჰაერო ღრეჩოს ფართობი, მ^2; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ ჰენრი/მ – მაგნიტური მუდმივა. F არის უარყოფითი მნიშვნელობა და ცდილობს შეამციროს საჰაერო ღრეჩო δ. ვინაიდან ორთავე, ძალა და მოძრაობის მიმართულება უარყოფითია, მექანიკური მუშაობა დადებითია. ფორმულა (1.4.9)-ის მიხედვით იანგარიშება წევის

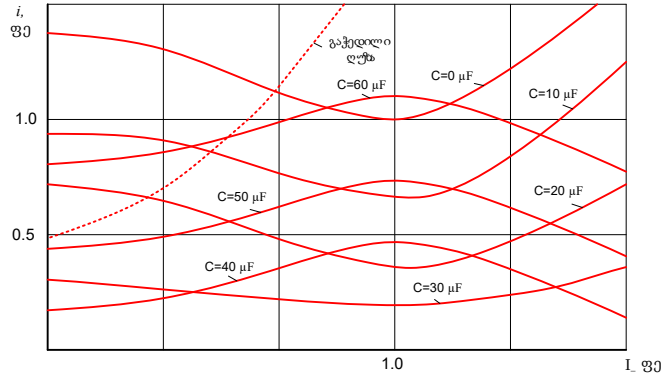
ძალის სამუშაო ღრეჩოების სიდიდეზე დამოკიდებულება დენის უცვლელი მნიშვნელობის პირობებში.

ვინაიდან რეალურ ვიბროამძრავში კოჭას ჯამური აქტიური წინააღმდეგობა ***R*** მცირეა, დენი ***i*** არ რჩება მუდმივი და განისაზღვრება როგორც ამ აქტიური წინააღმდეგობით, ასევე ინდუცირებული ელექტრომამოძრავებელი ძალით შემდეგი განტოლების შესაბამისად

$$u(t) = \frac{d\Psi}{dt} + iR, \quad в, \qquad (1.4.10)$$

თანაც ნაკადთგადაბმულობა ***Ψ(i, δ)*** დამოკიდებულია როგორც დენზე ***i***, ასევე საჰაერო ღრეჩო ***δ***–ს სიდიდეზე, რომლებიც იცვლებიან ***t*** დროის ფუნქციაში და დენი მცირდება ღუზის მოძრაობისას; ამრიგად, პროცესი (ნახ. 1.4.1) იქნება აღწერილი ab მრუდის და არა წრფის სახით.

ჩატარებული ექსპერიმენტით მიღებული იქნა შედეგები, საიდანაც ჩანს, რომ ვიბროამძრავის გაწყობისას, როდესაც საკუთარი სიხშირე მეტია იძულებითზე, მუდმივი დენის გრაგნილში დენის ზრდა იწვევს ცვლადი დენის გრაგნილში დენის შემცირებას რეაქტიული მდგენელის ხარჯზე და მუდმივის დენის ***I*** რაღაც მნიშვნელობაზე დენი ***i(t)*** აღწევს მინიმალურ მნიშვნელობას. მუდმივი დენის გრაგნილში დენის 2ა-ის ზემოთ გაზრდა იწვევს ცვლადი დენის გრაგნილში ***i(t)*** დენის გაზრდას. დამოკიდებულება ცვლადი დენის გრაგნილის დენსა და მუდმივი დენის გრაგნილის დენს შორის კონდენსატორის ტევადობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის წარმოდგენილია ***V***-ს მსგავსი მრუდებით ნახაზზე 1.4.2.



ნახ. 1.4.2. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის V-სებრი მრუდეები ***i = f(I)***

შედეგად, დადგენილი იქნა წარმოდგენილი ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის მუშაობის უზრუნველყოფა ისეთ მუდმივ დენზე, როდესაც ***cosφ*** 1 და ვიბროამძრავში გვაქვს მინიმალური დანაკარგები, ხოლო მ.ქ.კ. მაქსიმალური. ეს რეჟიმი მიიღწევა **C** = 30 მკფ. ტევადობის მქონე კონდენსატორის ვიბროამძრავის ცვლადი დენის გრაგნილის პარალელურად ჩართვით, რომლის დროსაც ადგილი აქვს დენების ფერორეზონანსის მოვლენას. ამ დროს ქსელიდან მოთხოვნილი ცვლადი დენი მინიმალურია და პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული მუდმივი დენის სიდიდეზე.

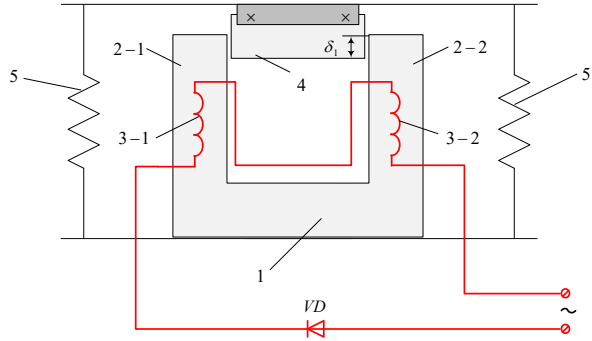
1.5 უკუქცევით-წინსვლით ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმები

ცნობილია ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავების უპირატესობები, რომელთა სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მათი მუშაობის რეჟიმებზე. ეს უკანასკნელი კი თავის მხრივ დამოკიდებულია, ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში მიმდინარე ელექტრულ, მაგნიტურ, მექანიკურ და თბურ პროცესებზე, რომელთაგან ერთ-ერთია ელექტრული ენერგიის ხარჯზე მაგნიტური ენერგიის აღდგენის ხარისხის ზემოქმედება ენერგიის გარდაქმნაზე. ვიბროამძრავის მუშაობა რეზონანსთან მიახლოებულ რეჟიმში საშუალებას იძლევა მაქსიმალური ეფექტიანობით იქნეს გამოყენებული ქსელიდან მოხმარებული ელექტროენერგიის დატვირთვის მექანიკური რხევების ენერგიად გარდაქმნა.

აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანია უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავის (ნახ. 1.5.1), რომელიც იკვებება ერთნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით, მუშაობის შესაძლო ენერგეტიკული რეჟიმების კვლევა და ამ რეჟიმებში ელექტრული ენერგიის მაგნიტურ ენერგიად და შემდეგ მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის კრიტერიუმების დადგენა. ასეთი მანქანების რხევითი სისტემა ჩვეულებრივად არის ორმასიანი, სადაც ურთიერთრხევებს ადგილი აქვს ამ მასების კინეტიკური ენერგიების მათი შემაერთებელი მექა-

ნიკური დრეკადი ელემენტის პოტენციურ ენერგიად გარდაქმნას (და პირიქით).

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი შეიცავს ფურცლოვანი ფოლადისგან აკრეფილ „П“-სებრი ფორმის სტატორს (1) ორი გრძივი ღეროთი (2-1, 2-2), მასზე მოთავსებულ ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭებს (3-1,3-2), მათთან მიმდევრობით მიერთებულ ნახევრადგამტარ ელემენტს (VD) და ღუზას (4), რომელიც ხისტადაა დაკავშირებული დრეკად სისტემასთან (5).



ნახ. 1.5.1 ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი П-სებრი მაგნიტური გამტარით

ზოგადად ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

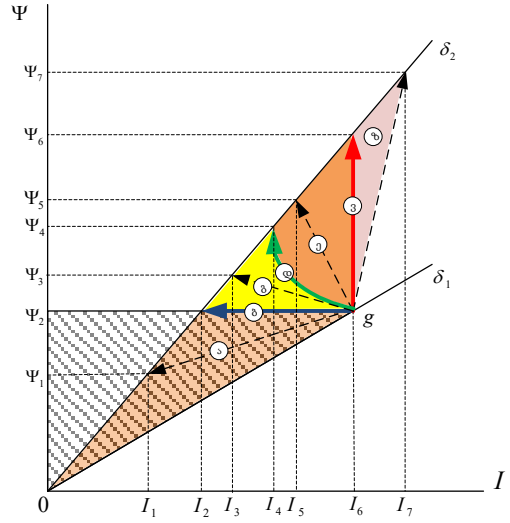
$$\pm dW_a \pm dW_e = \pm dW_f \pm dW_m + dW_l \,, \qquad (1.5.1)$$

სადაც dW_a – კვების წყარდან მოხმარებული ელექტრული ენერგიაა; dW_e – ენერგია გარე ძალების მიერ შესრულე-

ბული მუშაობის სახით; dW_1 – მაგნიტური ველის ცვლილების ენერგია; dW_{ad} – მექანიკური მუშაობის სახით შესრულებული ენერგია; dW_i – ენერგიის დანაკარგები.

გამოსახულება (1.5.1)-ში წევრების დადებითი მნიშვნელობების ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ვიბრომანქანა მუშაობს ძრაულ რეჟიმში, მიმდინარეობს წყაროდან ელექტროენერგიის მიწოდება და მისი გარდაქმნა მაგნიტურ ენერგიად; მექანიკური ენერგიის შეყვანა ელექტრომექანიკურ სისტემაში გარე ძალების მუშაობის სახით, როდესაც ეს ძალები მიმართულებით ემთხვევა ელექტრომაგნიტური ძალის მიმართულებას; მაგნიტური ენერგიის ზრდა; მექანიკური მუშაობის შესრულება ელექტრომაგნიტური ძალის მიერ, როდესაც ეს ძალა მიმართულებით ემთხვევა გარე ძალების მიმართულებას, ხოლო სიდიდეების უარყოფითი მნიშვნელობა მოწმობს იმას, რომ ხორციელდება: ენერგიის დაბრუნება ელექტროენერგიის წყაროში (რეკუპერაცია) და ვიბრაციული მანქანა მუშაობს დამუხრუჭების გენერატორულ რეჟიმში; მექანიკური ენერგიის ელექტრომექანიკურ სისტემაში შეყვანა გარე ძალების მუშაობის სახით, როდესაც ამ ძალების მიმართულება არ ემთხვევა ელექტრომაგნიტურ ძალის მიმართულებას და გარე ძალები სიდიდით მეტია ელექტრომაგნიტურ ძალაზე; მაგნიტური ენერგიის შემცირება; გარე მექანიკური ენერგიის ხარჯზე ელექტრომექანიკური გარდაქმნა, რა დროსაც გარე ძალების მექანიკური მუშაობა გარდაიქმნება მაგნიტურ ენერგიად, როდესაც ამ ძალების მიმართულება არ ემთხვევა ელექტრომაგნიტურ ძალის მიმართულებას და გარე ძალები სიდიდით მეტია ელექტრომაგნიტურზე.

ნახ. 1.5.2-ზე წარმოდგენილია ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავში შესაძლო ენერგეტიკული რეჟიმების ამსახველი დიაგრამები, სადაც [illegible] წერტილი შეესაბამება ღუზის მოძრაობის დაწყებას, შესაბამისად [illegible] დაშტრიხული ფართობი ვიბროამძრავის საჰაერო ღრეჩოებში **δ** დაგროვილ საწყის მაგნიტურ ენერგიას, [illegible] – ღუზის აძვრისას ნაკადთგადაბმულობას, [illegible] – აძვრის დენს (ჰისტერეზისის მოვლენას უგულებელვყოფთ).



ნახ. 1.5.2. Π-სებრი მაგნიტურ გამტარიანი ვიბროამძრავის ენერგეტიკული რეჟიმების დიაგრამები $\Psi - \imath$ სიბრტყეზე

ვიბროამძრავი, რომელიც მუშაობს მექანიკური დარტყმების გარეშე, გადადის δ_1 საჰაერო ღრეჩოს შესაბამისი შემაგნიტების წრფიდან შემცირებული δ_2 ღრეჩოს შესაბამის წრფეზე. როგორც ნახ.1.5.2-დან ჩანს, გვაქვს სამი

გამყოფი ენერგეტიკული რეჟიმი $W = const$, $W_f = const$ და $I = const$, რომლებსაც შესაბამისად ასახავს ბ, დ და ვ წირები. ენერგეტიკული რეჟიმების განხილვის შემდგომ მსვლელობაში გამარტივების მიზნით მივიღოთ, რომ მაგნიტური გამტარი არ არის გაჯერებული და ადგილი არ აქვს დანაკარგებს როგორც მაგნიტურ, ასევე ელექტრულ წრედში; მაშინ განტოლება (1.5.1) ღებულობს სახეს:

$$dW_e = dW_f + dW_m \quad . \qquad (1.5.2)$$

მაგნიტური ენერგიის მექანიკურად გარდაქმნის ეფექტიანობის კრიტერიუმად მივიღოთ

$$k = \frac{dW_m}{dW_e} = \frac{dW_m}{dW_f + dW_m} \quad . \qquad (1.5.3)$$

გამოსახულება (1.5.3) შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$k = \frac{1}{1 + k_v} \quad , \qquad (1.5.4)$$

სადაც $k_v = \frac{dW_f}{dW_m}$ - მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტია.

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის ენერგეტიკული რეჟიმებისათვის (1.5.1) გამოსახულების გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის k და მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტის k_v მნიშვნელობები.

ა) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_1 > I_2$, $\Psi_1 < \Psi_2$, $dW_f < 0$, $|dW_f| > |dW_m|$ (ნახ.1.5.2,ა). ამ შემთხვევაში მაგნიტური ველის ენერგიის dW_f შემცირება მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე ამ ენერგიის მექანიკურ მუშაობაში გარდაქმნა. ეს ნიშნავს, რომ ელექტრომაგნიტური ვიბრომამრავი ასრულებს რა მექანიკურ მუშაობას, ამასთან კვების წყაროს უბრუნებს ელექტრულ ენერგიას, ძირითადად ზამბარებში დაგროვილი პოტენციური ენერგიის ხარჯზე. ამ დროს მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი $k_r < -1$, ხოლო მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი $k < 0$;

ბ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_1 > I_2$, $\Psi = \Psi_2 = const$ (ნახ.1.5.2,ბ), $dW_m = 0$, $dW_f < 0$, $|dW_f| < |dW_m|$. ამ შემთხვევაში სისტემა მექანიკურ მუშაობას ასრულებს მხოლოდ მაგნიტური ველის ენერგიის მარაგის ხარჯზე; მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი $k_r = -1$, მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი $k = \infty$;

გ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_1 > I_2$, $\Psi_2 < \Psi_1$, $dW_f < 0$, $|dW_f| < |dW_m|$ (ნახ.1.5.2,გ). ამ შემთხვევაში მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი იცვლება ზღვრებში $-1 < k_r < 0$, მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი კი იცვლება ზღვრებში $1 < k < \infty$;

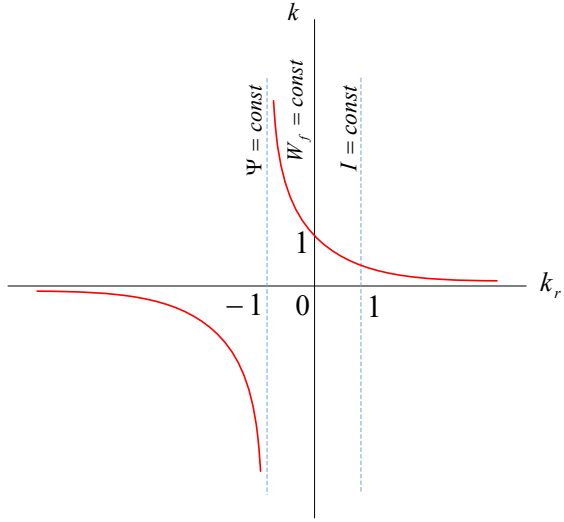
დ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_1 > I_2$, $\Psi_2 < \Psi_1$ და მაგნიტური ენერგია მუდმივია $W_f = const$, შესაბა-

მისად $dW_f = 0$, (ნახ.1.5.2, დ). ამ შემთხვევაში სისტემა დროის ყოველ მომენტში მექანიკურ ენერგიაში გარდაქმნის იმდენ ენერგიას, რამდენსაც ღებულობს კვების წყაროდან. $dW_e > 0$, მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი $k_e = 0$; მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი $k = 1$;

ე) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_k > I_b$, $W_2 < W_b$, $dW_f > 0$, $|dW_f| < |dW_m|$ (ნახ.1.5.2, ე). ამ შემთხვევაში მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი იცვლება ზღვრებში $0 < k_e < 1$, მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი კი იცვლება ზღვრებში $0.5 < k < 1$;

ვ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I = I_k = const$. ამ დროს ვიბროამძრავის ელექტრო-მექანიკური სისტემის მიერ დადებითი მექანიკური მუშაობის შესრულებას თან ახლავს მაგნიტური ენერგიის ზრდა მექანიკური მუშაობის ტოლი ენერგიის სიდიდით (ნახ.1.5.2, ვ). ამგვარად, კვების წყარო ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავს აწვდის ენერგიას არა მარტო მექანიკური მუშაობის შესასრულებლად, არამედ ამავდროულად სისტემის მაგნიტური ენერგიით გასაზრდელად. ე.ი. ხარჯავს ორჯერ მეტ ენერგიას იმასთან შედარებით, რაც სისტემის მიერ გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად $dW_e = dW_f + dW_m = 2dW_m$. ამ შემთხვევაში მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი $k_e = 1$; მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი $k = 0.5$;

ზ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_k < I_p$, $\Psi_2 < \Psi_1$, $|dW_f| > |dW_m|$ (ნახ.1.5.2,ზ). ამ შემთხვევაში მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტი $k_r > 1$, მაგნიტური ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტი კი იცვლება ზღვრებში $0 < k < 0,5$;



ნახ.1.5.3. მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის კრიტერიუმზე $k=f(k_r)$.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტის ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის კრიტერიუმზე $k = f(k_r)$ დამოკიდებულებას ნახ.1.5.3-ზე მოყვანილი სახე აქვს, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ მაგნიტური ენერგიის მექანიკურ ენერგიაში გარდაქმნის ეფექტიანობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა $k > 0,5$, როდესაც მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფი-

ციენტი $-1 < k_{ტ} < 1$. აგრეთვე დადგენილი იქნა უკუქცევით-წინსვლით ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციული მანქანის მუშაობის შესაძლო ენერგეტიკული რეჟიმები და ამ რეჟიმებისათვის მაგნიტური ველის ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის და მაგნიტური ენერგიის აღდგენის კოეფიციენტის მნიშვნელობები, აგრეთვე დადგინდა, რომ ვიბროამძრავში მაგნიტური ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნა ყველაზე უკეთ მიმდინარეობს ენერგეტიკული რეჟიმისათვის, როდესაც ნაკადთგადაბმულობა მუდმივია, ე.ი. $\Psi = const$.

2. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ამძრავის გამოყენება სასოფლო სამეურნეო დანადგარებში

2.1. მარცვლეული კულტურების უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროდამხარისხებელი

სასურსათო უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში მნიშვნელოვანი პრობლემა მარცვლეულის სტაბილური და მზარდი წარმოებაა, რომლის მთავარ მიმართულებად მიიჩნევა მოსავლიანობის გაზრდა, სადაც წარმატების მიღწევა შეუძლებელია თანამედროვე ტექნოლოგიების, მექანიზაციის საშუალებების და მაღალხარისხიანი სათესი მასალის გამოყენების გარეშე, ამისათვის კი აუცილებელია მარცვლეულის ძნელადმოცილებადი სარეველების თესლისაგან და ისეთი მინარევებისაგან გაწმენდა, რომელთა ზომები მორფოლოგიური ნიშნების მიხედვით უახლოვდება მარცვლოვანი კულტურების კულტურების თესლის

ზომებს. მარცვლეულის გაწმენდის და და დახარისხების ძირითადი დატვირთვა მოდის მარცვლეულის საწმენდ და დამხარისხებელ ცხაურიან მანქანა-დანადგარებზე. რადგან მოსავლის აღების შემდგომი გადამუშვების პერიოდი განსაკუთრებით დაძაბულია, ეს უფრო მაღალი მწარმოებლურობის და ხარისხის მქონე მარცვლეულის დამხარისხებლების შექმნის აუცილებლობას იწვევს.

პირველი კლასის სათესი მასალის მიღება არსებულ მარცვალსაწმენდ დანადგარებზე არის ძვირადღირებული, ხანგრძლივი და მრავალჯერადი გატარებისას უკავშირდება დიდ დანაკარგებს. სათესი მასალის მომზადების ერთ-ერთ პერსპექტიულ ტექნოლოგიას წარმოადგენს ვიბრაციული დახარისხება, რომლის შესაძლელობები ძალზე ფართოა და ბოლომდე არ არის შესწავლილი. ვიბრაციული დამხარისხებლების უპირატესობები მდგომარეობს შემდეგში:

1. ვიბრაცია ზრდის სეპარირებად მასალაში ნაწილაკებს შორის შეჭიდულობის ძალას და მასალა იქცევა, როგორც სითხე (ვიბროდუღილი);
2. უმჯობესდება დახარისხების მაჩვენებლები;
3. კონსტრუქციის გამარტივების შედეგად იზრდება დანადგარის საიმედოობა;
4. მცირდება შენობაზე რხევადი მუშა ორგანოების მიერ გადაცემული დინამიური დატვირთვები, რადგან ხდება მათი დემპფირება დრეკად საკიდარში;
5. უზრუნველყოფილია მუშა ორგანოს ცვალებადი ამპლიტუდით და სიხშირით რთული სივრცითი მოძრაობა.

ამ უკანასკნელი უპირატესობის რეალიზაცია ადვილად მიღწევადია ამპლიტუდის ან/და სიხშირით მართვადი უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის გამოყენებით, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია ვიბრაციის რაციონალური კინემატიკური რეჟიმის მიღწევა ყოველი ტექნოლოგიური პროცესისა და კონკრეტული მარცვლოვანი კულტურის სეპარაციისათვის.

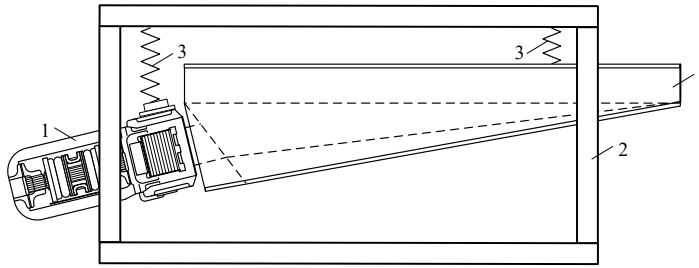
ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე, ვიბრაციული დამხარისხებელი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს: ხანძრის და აფეთქების რისკის მინიმიზაცია, საიმედოობა, მაღალი მწარმოებლურობა, მარტივი კონსტრუქცია, მართვის, გაწყობისა და ტექნიკური სერვისის სიადვილე.

დასმული ამოცანებიდან გამომდინარე, აქტუალურია მაღალმწარმოებლური, მცირეგაბარიტიანი, ენერგოდამზოგი მარცვლეულის დამხარისხებლების შექმნა. ყოველივე ამის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ დამუშავდა მარცვლეულის სათესი მასალის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული დამხარისხებელი, სადაც გამოყენებულია ასევე ჩვენს მიერ დაპატენტებული რეზონანსული უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები. მუშა ორგანოს რხევების ამპლიტუდისა და სიხშირის რეგულირება უზრუნველყოფილია სიხშირის გარდამქმნელით ან/და აგზნების დენის ცვლილებით.

ნახ. 2.1.1-ზე წარმოდგენილია უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი საბაზისო დანადგარი, რომელიც ადაპტირებულია სასოფლო სამეურნეო წარმოების სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებთან, როგორიცაა ძირხვენების

რეცხვა, მარცვლეულის და ფხვიერი მასალების ტრანსპორტირება, დოზირება, ღვინომასალების დაძველება და სხვა.

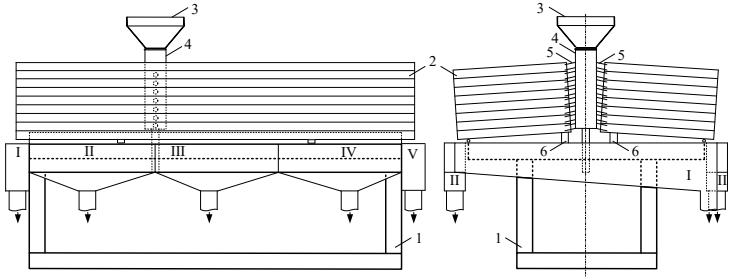
ნახ. 2.1.2-ზე წარმოდგენილია მარცვლეული კულტურების სათესი მასალის დამხარისხებელი მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა. ეს მოწყობილობა დამონტაჟებულია ჩარჩოზე (ნახ. 2.1.2-1), რომელიც ხისტად მაგრდება უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი დანადგარის ღარში (ნახ.2.1.1-4), შესაბამისად ვღებულობთ მარცვლეული კულტურების სათესი მასალის დამხარისხებელ დანადგარს, რომლის მუშა ორგანოს წარმოადგენს ფრიქციული არაპერფორირებული სეპარირებადი უხეში ზედაპირები (ნახ2.1.2-2) განივი (ნახ.2.1.2-6) და გრძივი დახრის კუთხის ცვლილების შესაძლებლობით.



ნახ. 2.1.1 უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი საბაზისო დანადგარი.

დანადგარის მუშაობის ტექნოლოგიური პროცესიც მიმდინარეობს შემდეგნაირად: მას შემდეგ, რაც ვიბროამძრავის (ნახ. 2.1.1-1) ცვლადი და მუდმივი დენის გრაგნილებს მიეწოდება შესაბამისი ძაბვები, ვიბროამძრავში აღძრული რხევების ზემოქმედებით საწყისი სათესი მა-

სალა ბუნკერიდან (ნახ. 2.1.2-3) მკვებავი მოწყობილობის (ნახ.2.1.2-4) და დრეკადი მილების (ნახ. 2.1.2-5) გავლით მიეწოდება მუშა ზედაპირებს (ნახ. 2.1.2-2), რომლებზეც ნარევის კომპონენტები ფიზიკური და მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით გადაადგილდებიან განსხვავებული ტრაექტორიით და იყოფიან. დაყოფილი ფრაქციები იყრება შესაბამის სათავსოებში (ნახ. 2.1.2- I, II, III, IV, V).



ნახ.2.1.2 მარცვლეული კულტურების სათესი მასალის გამწმენდი მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა.

2.2 კაკლის ვიბრაციული დამხარისხებელი

კაკლის მოყვანა და გადამუშავება წარმოადგენს მაღალრენტაბელურ ბიზნესს მთელ მსოფლიოში. იმის გამო, რომ კაკალი კარგად ხარობს ჩვენი პლანეტის ტერიტორიის დაახლოებით 14%-ზე, კაკლის მსოფლიო ბაზარი გამოირჩევა მისი წარმოების მაღალი კონცენტრაციით შეზღუდული რაოდენობის ქვეყნებში.

კაკალი საქართველოში უძველეს კულტურად მიიჩნევა. მისი გავრცელების შესახებ პირველი ცნობა ბერძნულ წყაროებში გვხვდება და ძვ. წელთაღრიცხვის VI-IV

საუკუნეებს მიეკუთვნება. საქართველო დღეისათვის საკუთარ მოთხოვნილებას ვერ აკმაყოფილებს, ამიტომ კაკალი იმპორტზე შემოდის. ბოლო პერიოდში, საქართველოში რამდენიმე ასეული ჰექტარი კაკლის ბაღი გაშენდა და ეს პროცესი გრძელდება. ბაღების გაშენების ტემპებიდან გამომდინარე, უნდა ვივარაუდოთ, რომ რამდენიმე წელიწადში კაკლის იმპორტი მინიმუმამდე შემცირდება და ექსპორტის შესაძლებლობები გაჩნდება.

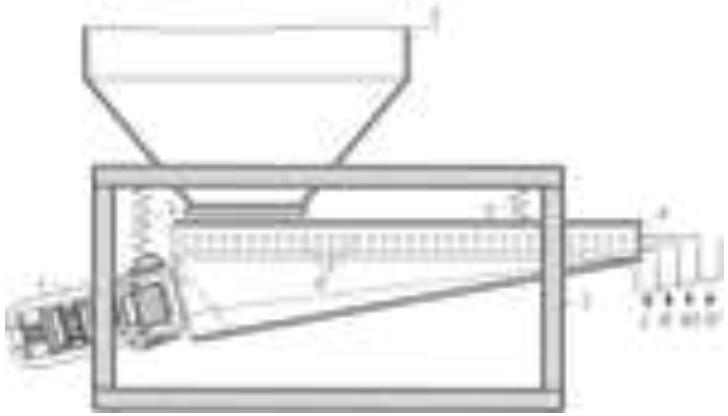
კაკლის ხის ძირითადი პროდუქტი ნაყოფია, რომლის სამრეწველო გადამუშავების არსებულ ტექნოლოგიებში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ხელით შრომას, რაც ძირითადად განპირობებულია იმით, რომ კაკლის გადამამუშავებელი თანამედროვე საწარმოები მხოლოდ თხელნაჭუჭა კაკლებს გადაამუშავებენ. სქელნაჭუჭა კაკლის გადამუშავებისას კაკლის გული ნაჭუჭებს შორის რჩება, რაც ამცირებს მის გამოსავლიანობას. შესაბამისად, სქელნაჭუჭა კაკლის ჯიშები ქარხნულად არ მუშავდება. დღემდე საქართველოში მოყვანილი კაკლის თითქმის ყველა ჯიში სქელნაჭუჭაა და ის მხოლოდ საოჯახო მეურნეობებში მუშავდება.

ცნობილია კაკლის სატეხი მანქანების მთელი რიგი კონსტრუქციები, რომელთა თვისებები უნდა იქნეს გათვალისწინებული მათი გამოყენების გადაწყვეტილების მიღებისას. უპირველეს ყოვლისა, მნიშვნელოვანია კაკლის გატეხვის პრინციპი, რომელიც გამოიყენება მანქანაში და რომლის დროსაც აუცილებელია კაკლის დაკალიბრება. უფრო მეტიც, რაც უფრო საფუძვლიანად გაკეთდება ასეთი დაკალიბრება (ფრაქციების ზომების უფრო მეტი რაოდენობა), მით უკეთესად გატყდება კაკალი და შედარებით

მეტი იქნება მთელი ლებნების გამოსავლიანობა, რაც თავის მხრივ მოქმედებს კაკლის ფასზე.

როგორც ვხედავთ კაკლის გადამუშავების ჯაჭვში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია კაკლის დაკალიბრებას. უნდა აღინიშნოს, რომ კაკლის დაკალიბრების შედეგად მიღებული მცირე ზომის კაკალი ეკონომიურად არახელსაყრელი ნედლეულია და ართულებს აღჭურვილობის მუშაობას. კაკლის დამკალიბრებელი მანქანების უმეტესობა როტორულია და წარმოადგენს სექციური დოლურას ფორმის კონსტრუქციას, თითოეულ განყოფილებაში სხვადასხვა ზომის ხვრელებით. ასეთი მანქანის მწარმოებლურობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მიღებული ფრაქციების ზომის რაოდენობაზე. ასეთი ტიპის დამკალიბრებელ მანქანებს აწარმოებს, აშშ, საფრანგეთი, გერმანია, ესპანეთი, ჩინეთი, უკრაინა, მოლდავეთი და სხვა.

კვლევის შედეგად დაკალიბრების პროცესის და ცნობილი კონსტრუქციების ანალიზმა აჩვენა, რომ კაკლის დაკალიბრება შეიძლება მიღწეული იქნეს ვიბრაციის გამოყენებით. აქედან გამომდინარე, ჩვენს მიერ დამუშავდა კაკლის დასაკალიბრებელი ვიბრაციული დანადგარი (ნახ. 2.2.1), სადაც გამოყენებულია, ასევე ჩვენს მიერ დაპატენტებული უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავები (ნახ. 2.2.1, 1) მუდმივი დენის შემაგნიტებით, სადაც მუშა ორგანოს რხევის ამპლიტუდის რეგულირება შესაძლებელია შემაგნიტების მუდმივი დენის ცვლილებით.



ნახ.2.2.1. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავიანი კაკლის დამკალიბრებელი

ცხრილი 2.2.1

კაკლის ვიბრაციული დამკალიბრებელის პარამეტრები

სიგრძე	2 მ
სიგანე	0,8 მ
სიმაღლე	1,1 მ
ცვლადი ძაბვა	220 ვ
მუდმივი ძაბვა	0-24ვ
ენერგიის მოხმარება	200 ვტ.სთ
გასასვლელების რაოდენობა (დაკალიბრების განყოფილებების რაოდენობა)	4
მწარმოებლურობა	200 -1500კგ/სთ

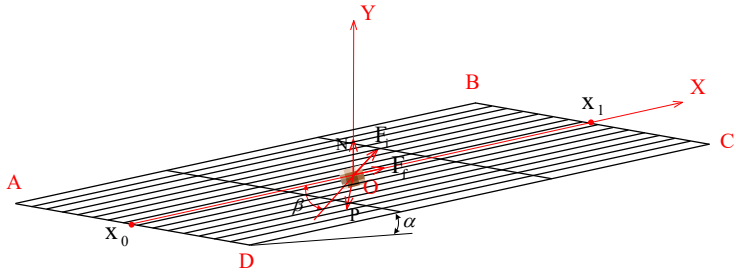
კაკალი ბუნკერიდან (ნახ. 2.2.1, 5) მიეწოდება ღარს (ნახ. 2.2.1, 4), რომელშიც პარალელურად, ერთმანეთის ქვეშ

მოთავსებულია სამი ცხაურა (ნახ. 2.2.1, 6), სხვადასხვა ზომის ღიობებით. ამ შემთხვევაში კაკალი დაიყოფა ოთხ ფრაქციად, საიდანაც I იქნება მცირე ზომის კაკალი და მინარევი, რაც პირველად ნედლეულში აუცილებლად გვხვდება. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია ფრაქციების რაოდენობის გაზრდა. დანადგარის გამოყენება შესაძლებელია თხილის, წაბლის და სხვათა დასახარისხებლად.

დაკალიბრების პროცესში კაკლები ცხაურაზე გადაადგილდებიან გასასვლელის მიმართულებით და იყოფიან ფრაქციებად: ა) რომლებიც გაეტიენ და გაძვრენ ცხაურას ღიობებში, ბ) რომლებიც ვერ გაეტიენ და ცხაურას ზედაპირზე გადადგილდებიან გასასვლელისაკენ.

ვიბრაციის ზემოქმედებით ადგილი აქვს:

1) კაკლის ტრანსპორტირებას ცხაურის გასწვრივ, რაც აუცილებელია პროცესის უწყვეტობისათვის და ხასიათდება მთელი ნაყარი კაკლის მასის ცენტრის საშუალო სიჩქარით;



ნახ.2.2.2 ჰორიზონტის მიმართ -კუთხით დახრილ ცხაურას ზედაპირზე მოძრავ კაკალზე ძალების მოქმედების სქემა

განვიხილოთ დამკალიბრებელის ერთ-ერთ ცხაურას ABCD ზედაპირზე, რომელიც ჰორიზონტის მიმართ

ქმნის α კუთხეს, კაკლის, რომლის მასაა m, კგ, გადაადგილების პროცესი (ნახ. 2.2.2). კოორდინატთა XOY სისტემაში, კაკლის, რომელიც ვერ გაეტია ცხაურას ღიობში, წონასწორობის პირობას ექნება შემდეგი სახე,

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_T - mg\sin\alpha + F_i\cos\beta = 0 \\ m\ddot{y} = N - mg\cos\alpha + F_i\sin\beta = 0 \end{cases} \qquad (2.2.1)$$

მასზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა $P = mg$, ნ; g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, მ/წმ^2; ნორმალური რეაქცია N, ნ; ხახუნის ძალა $F_T = Nf_0$, ნ; f_0 – სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი და ინერციის ძალა $F_i = mx_{m}\omega^2\sin\omega t$, ნ; x_m – ცხაურას რხევის ამპლიტუდა, მ; ω-რხევის კუთხური სიხშირე, რად/წმ; t – დრო, წმ; β – $ABCD$ ცხაურას ზედაპირის მიმართ რხევების მიმართულების კუთხე, გრად.

გამოსახულება (2.2.1)-დან ნორმალური რეაქცია იქნება

$$N = m(g\cos\alpha - x_m\omega^2\sin\omega t\sin\beta)\,. \qquad (2.2.2)$$

იმისათვის, რომ კაკალი ცხაურის ზედაპირის x_2-დან x_3 წერტილისაკენ (ნახ.2.2.2) გადაადგილდეს აუცილებელია შესრულდეს პირობა $m\ddot{x} \geq 0$ ან $F_i\cos\beta \geq mg\sin\alpha - F_T$, საიდანაც

$$x_m\omega^2\sin\omega t\cos\beta \geq g\sin\alpha - \frac{N}{m}f_0 \qquad (2.2.3)$$

მუშაობის რეჟიმებიდან გამომდინარე კაკალი შეიძლება მოძრაობდეს რხევით მუშა ზედაპირიდან მოწყვეტით ან მოწყვეტის გარეშე:

ა) ზედაპირიდან მოწყვეტით, როდესაც $N < 0$. შესაბამისად, გადატვირთვის პარამეტრი- ინერციის ძალის

განივი მდგენელის ამპლიტუდის დამოკიდებულება სიმძიმის ძალის განივი მდგენელის ამპლიტუდაზე

$$w_0^2 = \frac{\rho_{max} c^2 \sin\beta}{g \rho_{min}} > 1 \qquad (2.2.4)$$

ბ) ზედაპირიდან კაკლის მოწყვეტის გარეშე, $N > 0$, ე.ი. როდესაც $w_0^2 < 1$.

ვიბრირებად ზედაპირზე სხეულის ინერციით გასრიალებისას, შეინიშნება გარკვეული მისწრაფება მის მიერ განსაზღვრული ორიენტაციის მიღებისა, მისი მოძრაობის მიმართულების მიმართ. ეს მოვლენა შეიძლება გამოვიყენოთ ჩვენს შემთხვევაშიც, განსაკუთრებით ღიობის ფორმის დასადგენად.

2) თვითდახარისხებას – მცირე ზომის და დიდი სიმკვრივის კაკლების ჩაძირვას ქვედა ფენაში (ცხაურას ზედაპირთან), ხოლო დიდი ზომის და მცირე სიმკვრივის მქონე კაკლების ამოყვინთვას ზედა ფენაში; ცხაურით სეპარირების დროს, თვითდახარიხების ინტენსივობა ფასდება კაკლების ზედა ფენიდან ცხაურას ღიობებში გამავალი კაკლების ჩაძირვის სიჩქარით ცხაურას ზედაპირზე t_{ad} დროში

$$v_{ad} = \frac{h_{ad}}{t_{ad}}$$

3) გაცხრილვას – ღიობების ზომებზე ნაკლები ზომის კაკლების ცხაურას ღიობების გავლით გადაადგილებას. გაცხრილვა, როგორც დაკალიბრების ბოლო სტადია მომდინარეობს ქვედა ფენიდან, ამიტომ, როცა ნაყარ მასას აქვს სქელი ფენა კაკლის საშუალო ზომასთან შედარებით, აუცილებელია ქვედა ფენაში ჩაიძიროს კაკლები, რომლებიც ექვემდებარებიან გაცხრილვას. თუ ასეთი

კაკლები ამოყვინთავენ, მაგალითად მათი მცირე სიმკვრივის გამო გარშემომყოფებთან შედარებით, ეფექტიანი დაკალიბრებისათვის აუცილებელია, რომ მოვურიოთ ნაყარ მასას ან შევამციროთ კაკლის ფენის სისქე.

ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან ღარის განივკვეთში გასასვლელიდან x-ით დაშორებული კაკლის ფენის სისქე

$$h_x = \frac{Q_м - Q_{вых}}{b v_x \rho_к}$$

სადაც b – ღარის სიგანეა, მ; v_x – კაკლის ფენის განივკვეთში საშუალო სიჩქარე, მ/წმ; $\rho_к$ – კაკლის სიმკვრივრე კგ/მ^3; $Q_м$ – კაკლის მასიური მწარმოებლურობა (თავდაპირველი მასალის) კგ/წმ; $Q_{вых}$ – ღიობებში გასული კაკლის რაოდენობა x_0-დან x -მდე, კგ/წმ.

თითოეული კაკლის გაცხრილვა მისი მოძრაობისას ცხაურას ღიობზე არის შემთხვევითი მოვლენა, რომლის ალბათობა მოწყვეტის გარეშე მოძრაობისას ექვემდებარება ნორმალურ კანონს

$$p_0 = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{r} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r - r_{кр}}{\sigma}\right)^2} dr$$

სადაც r – კაკლის მასის ცენტრის სიჩქარეა ცხაურას მიმართ, მ/წმ, $\sigma = t_g \varphi v / 3$ – ცხაურას ზედაპირის დახრის პარამეტრი, $r_{кр}$ - კრიტიკული სიჩქარის მნიშვნელობა, მ/წმ, როცა $p_0 = \frac{1}{2}$.

ცხაურას ზედაპირზე კაკლების მოწყვეტით გადაადგილებისას გაცხრილვის ალბათობა შესამჩნევად მცირდება, ცხაურასთან კაკლის შეხების დროის შემცირების გამო. ეს ხდება არა მარტო ცხაურას აჩქარების ნორმალური

მდგენელის გაზრდით და მოწვეტის გარეშე მოძრაობის პირობის დარღვევით, არამედ კაკლების ღიობის კიდეზე დაჯახების შემდეგ ზემოთ „ახტომით.“ ეს უკანასკნელი შეინიშნება თხელი ფენის მოძრაობისას. ფენის სისქის გაზრდით ოპტიმალურ h^* სიდიდემდე, იზრდება გაცხრილვის ალბათობა, ვინაიდან ზედა ფენები უშუალოდ არ განიცდიან დარტყმებს და ეწინააღმდეგებიან ცხაურადან ქვედა ფენების მოწყვეტას. როდესაც $h > h^*$ წახტომები ამ მიზეზის გამო არ არსებობს, მაგრამ ზედა ფენების წნევა ზრდის ხახუნს ქვედა ფენის კაკლებს შორის, რაც ართულებს გაცხრილვის პროცესს.

ცხაურას გამტარებლობის ხვედრითი მწარმებლურობა $q_{ხვ}$, კგ/მ^{2}წმ პროპორციულია კაკლების რაოდენობისა $n_{ხვ}$, რომლებიც გაივლიან ღიობებზე 1 წმ-ში და მათი გაცხრილვის ალბათობისა $p_{ხვ}$

$$q_{ხვ} = c_g n_{ხვ} p_{ხვ},$$

სადაც c_g - პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია ცხაურას „ცოცხალ“ ფართობზე, გამავალი კაკლის კონცენტრაციაზე ქვედა ფენაში, სიმკვრივეზე და სხვა თვისებებზე.

ექსპერიმენტულმა კვლევამ აჩვენა, რომ კაკლის ფიზიკური და მექანიკური თვისებების გათვალისწინებით, უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ვიბროამძრავიანი დანადგარით დაკალიბრება შედარებით ეფექტიანია კაკლის ცხაურას ზედაპირიდან მოწყვეტის გარეშე გადაადგილებისას, რისთვისაც აუცილებელია, შესრულდეს (2.2.4) პირობა, შესაბამისად ვიბროდამკალიბრებელის შემდეგი პარამეტრების და რეჟიმების დასაბუთება: ცხაურას დახრის კუთხე ჰორიზონტის მიმართ α; რხევის სიხშირე ω და

მიმართულების კუთხე β; რხევების ამპლიტუდა x_m, ცხაურას ღიობის ფორმა და ზომა. ამ დროს $\dot{Y} = 0$, ხახუნის ძალა კი

$$F_f = \begin{cases} -f_s N, & \dot{x} < 0 \\ f_s N, & \dot{x} > 0 \end{cases}, \qquad (2.2.5)$$

ხოლო, როდესაც ცხაურას ზედაპირის მიმართ კაკალი, რომელიც ვერ გაეტია ღიობში არის უძრავ მდგომარეობაში ($\dot{X} = 0$, $\dot{Y} = 0$), მაშინ მშრალი ხახუნის ძალა გამოითვლება (2.2.1)-დან $F_{ay} = -mg\sin\alpha + F_i\cos\beta$, ამასთან ეს მდგომარეობა შენარჩუნებულია, ვიდრე სრულდება უტოლობა

$$-f_{ys}N < F_{ay} < f_{ys}N,$$

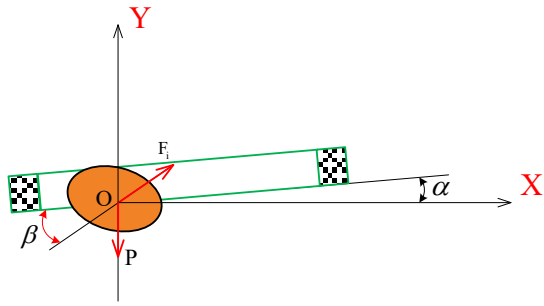
სადაც, f_{ys} – უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტია, როგორც წესი $f_{ys} \geq f_s$. ცხაურის ზედაპირზე კაკლის აჩქარების, სიჩქარისა და გადაადგილების განტოლება მიიღება გამოსახულება (2.2.1)-დან, (2.2.2) და (2.2.5)-ის გათვალისწინებით

$$\ddot{x} = -g\frac{\sin(\alpha+\theta)}{\cos\theta} + x_m\omega^2\frac{\cos(\beta+\theta)}{\cos\theta}\sin\omega t \qquad (2.2.6)$$

$$\dot{x} = -gt\frac{\sin(\alpha+\theta)}{\cos\theta} - x_m\omega\frac{\cos(\beta+\theta)}{\cos\theta}\cos\omega t \qquad (2.2.7)$$

$$x = -\frac{gt^2}{2}\frac{\sin(\alpha+\theta)}{\cos\theta} - x_m\frac{\cos(\beta+\theta)}{\cos\theta}\sin\omega t \qquad (2.2.8)$$

სადაც $\theta = arctgf_s$ – სრიალის ხახუნის კუთხეა; ზედა ნიშნები შეესაბამება კაკლის სრიალს წინ ($\dot{x} > 0$), ხოლო ქვედა უკან სრიალს ($\dot{x} < 0$).



ნახ.2.2.3 ჰორიზონტის მიმართ -კუთხით დახრილ ცხაურას ღიობში მოძრავ კაკალზე ძალების მოქმედების სქემა

კოორდინატთა XOY სისტემაში, კაკლის, რომელიც გადაადგილდება ღიობის გავლით (ნახ.2.2.3), მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე,

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -F_i \cos\beta \\ m\ddot{y} = -mg + F_i \sin\beta \end{cases} \tag{2.2.9}$$

საიდანაც, შესაბამისი გარდაქმნის შემდეგ, მივიღებთ,

$$\begin{cases} \ddot{x} = -x_m\omega^2 \sin\omega t \cos\beta \\ \ddot{y} = -g + x_m\omega^2 \sin\omega t \sin\beta \end{cases} \tag{2.2.10}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = x_m \cos\omega t \cos\beta \\ \dot{y} = -gt - x_m\omega \cos\omega t \sin\beta \end{cases} \tag{2.2.11}$$

$$\begin{cases} x = x_m \sin\omega t \cos\beta \\ y = -g\frac{t^2}{2} - x_m \cos\omega t \sin\beta \end{cases} \tag{2.2.12}$$

გამოსახულება (2.2.11)- დან კაკლის მოძრაობის სიჩქარე

$$v_m = \sqrt{(x_m \cos\omega t \cos\beta)^2 + (-gt - x_m\omega \cos\omega t \sin\beta)^2}, \tag{2.2.13}$$

რომელიც დამოკიდებულია რხევის აპლიტუდაზე, სიხშირეზე და მიმართულების კუთხეზე. ეს სიდიდეები, აგრეთვე მანძილი მომდევნო ცხაურის ზედაპირამდე, რო-

მელზეც უნდა დაეცეს ზედა ცხაურაში გამძვრალი კაკალი, ისე უნდა შეირჩეს, რომ მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ახტომები.

მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგებიდან ჩანს, როდესაც ვიბროდამკალიბრებელის თითოეული ღარის სიგანეა $b = 0{,}6$ მ; სიმაღლე $h = 0{,}15$ მ; სიგრძე $l = 1{,}5$ მ; რხევის ამპლიტუდა $X_m = 0 \cdots 0{,}0015$ მ; რხევის სიხშირე [illegible] წმ$^{-1}$; კაკლის დაკალიბრება ცხაურას ზედაპირიდან მოწყვეტის გარეშე შესაძლებელია ცხრილ 2.2.1-ში მოცემული [illegible]-ს და [illegible]-ს შემდეგი მნიშვნელობის დროს.

ცხრილი 2.2.2.

[illegible]-ს და [illegible]-ს მნიშვნელობების ზღვრები ცხაურას ზედაპირიდან მოწყვეტის გარეშე კაკლის დაკალიბრებისათვის, X_m და ω-ს კონკრეტული მნიშვნელობებისათვის

№	X_m	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	მ	წმ$^{-1}$	გრად.	გრად.	-
1	0,0005	314	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2	0,0010	314	[illegible]	[illegible]	[illegible]
3	0.0015	314	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ვიბრირებად ცხაურას ზედაპირზე და ღიობების გავლით კაკლის მოძრაობის ანალიზმა მოგვცა საშუალება, რომ განისაზღვროს ძირითად ფაქტორების გავლენა კონ-

სტრუქციულ-კინეტიკურ პარამეტრებზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ კაკლის დაკალიბრებას.

კაკლის ეფექტიანი დაკალიბრებისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს რეჟიმი, როდესაც კაკალი სრიალებს ერთი მიმართულებით I_2-დან I_1 წერტილისაკენ (ნახ. 2.2.2).

ვიბრაციული დამკალიბრებელის მწარმოებლურობა და ხარისხი დამოკიდებულია ცხაურას ზედაპირზე კაკლის გადაადგილების სიჩქარეზე, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია ხახუნის კოეფიციენტზე, ცხაურას დახრის კუთხეზე ჰორიზონტის მიმართ, რხევის სიხშირეზე, ამპლიტუდაზე და მიმართულებაზე.

მიზანშეწონილია კაკლის დაკალიბრებისთვის გამოყენებული იქნეს ვიბრაციული მოწყობილობა მისი კონსტრუქციული სიმარტივისა და მუშაობის მაღალი საიმედობის გამო.

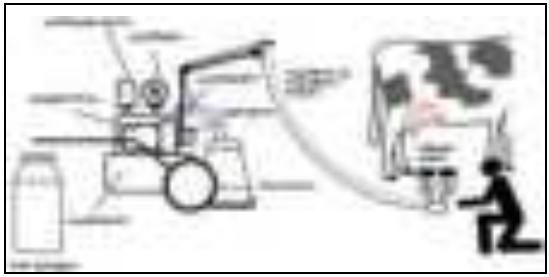
წარმოდგენილი ელექტრომაგნიტური ვიბროდამკალიბრებელი ანალოგებთან შედარებით არის მაღალმწარმოებლური, მცირეგაბარიტიანი და ენერგოდამზოგი, რაც თანამედროვ მოთხოვნებს სრულად აკამყოფილებს და მისი გამოყენება შესაძლებელია როგორც მცირე ფერმერულ მეურნეობებში ისე დიდ გადამამუშავებელ საწარმოებში.

2.3. რძის საწველი აპარატი ერთტაქტიანი უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ვიბროამძრავიანი ვაკუუმტუმბოთი

მერძეველობა სოფლის მეურნეობის ერთ-ერთი უძველესი და ტრადიციულ დარგს წარმოადგენს. რძეს და რძის

პროდუქტებს ადამიანი მოიხმარს ყოველდღე. მაღალი ხარისხის რძის პროდუქტების წარმოებისათვის, აგრეთვე მომხმარებლის ჯანმრთელობის დასაცავად, აუცილებელია წველის წესების ზედმიწევნით დაცვა. ცნობილია რძის ხელით და მანქანური წველა. ხელით წველის უპირატესობა მანქანურთან შედარებით, ცურისადმი ინდივიდუალური, სათუთი მიდგომა და რძის გაცემის უფრო მეტად სტიმულირებაა, თუმცა ის საკმაოდ მძიმე შრომაა. მწველავმა ერთი ცურის ჩამოსაწველად კერტს 80-100-ჯერ უნდა მოუჭიროს და მოუშვას ხელი. ეს ნიშნავს, რომ 10 ლიტრი რძის მოწველის შემთხვევაში, ხელებით 800-1000 მოძრაობა უნდა შეასრულოს. საქარტველოში წვრილ და პირად დამხმარე მეურნეობებში ფურებს ძირითადად ხელით წველიან.

ხელით შრომასთან შედარებით მანქანური წველა 3-5-ჯერ ზრდის შრომის ნაყოფიერებას. ეკონომიკური თვალსაზრისით, 5-ზე მეტი ფურის ყოლის შემთხვევაში გამართლებულია მანქანური წველის გამოყენება. საწველი აპარატები ორი ტიპისაა: სტაციონალური და მობილური. ამ უკანასკნელის შემთხვევაში ერთი საწველი აპარატით შესაძლებელია მოიწველოს 10 სულამდე, მაგრამ, როდესაც ფურების რაოდენობა მეტია საჭიროა დამატებითი აპარატები და შესაბამისად ოპერატორებიც. სტაციონალური საწველი აპარატის შემთხვევაში ერთი ოპერატორი საკმარისია 100 და მეტი ფურის მოსაწველად. თანამედროვე ინდუსტრია აწარმოებს საწველი მანქანების დიდ ასორტიმენტს, რომელთაც პრაქტიკულად ერთნაირი აგებულება აქვთ.



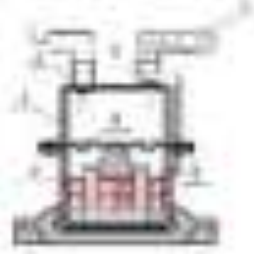
ნახ. 2.3.1 რძის საწველი დანადგარი

საწველი დანადგარი (ნახ.2.3.1) შედგება შემდეგი ძირითადი კვანძისა და დეტალისაგან: ელექტროძრავი, ვაკუუმტუმბო, ვაკუუმბალონი, ვაკუუმმეტრი, საწველი ჭიქები, ჰაერგამტარი და რძეგამტარი მილები, კოლექტორი, პულსატორი, მათარა ან რძის შესაგროვებელი სხვა ჭურჭელი.

დღეისათვის არსებულ სხვადასხვა წარმადობის საწველი აპარატების ვაკუუმტუმბოებში გამოიყენება სხვადასხვა სიმძლავრის ელექტროძრავები, რომელთაც დიდი გამშვი დენები გააჩნით, ეს უკანასკნელი კი იწვევს დამატებით დანაკარგებს და სასოფლო-სამეურნეო ქსელებში დამატებით ძაბვის ვარდნებს. ეს განსაკუთრებით პრობლემურია ტრანსფორმატორიდან დიდი მანძილით დაშორებული ელექტრომომხმარებლისთვის.

დამატებიტი დანაკარგებისა და დიდი გამშვი დენების თავიდან ასაცილელად, აპარატის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად, ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა ენერგოდამზოგი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ვაკუუმტუმბო, რომელიც შესაზლებელია წარმატებით იქნეს გამოყენებული მანქანური წველისათვის, როგორც სტაციონალურ ისე მობილურ საწველ აპარატებში.

ჩვენ მიერ რეკომენდებულია, რომ საწველი აპარატის ვაკუუმური მოწყობილობის ხაზში ჩაირთოს უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავიანი ვაკუუმტუმბო (ნახ.2.3.2), რომელიც უშუალოდ ირთვება ვაკუუმბალონთან. ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავიანი ვაკუუმ ტუმბო მოცულობითი ტიპისაა. იგი შეიცავს: კორპუსს (ნახ. 2.3.2, 1), შემწოვ (ნახ. 2.3.2, 2) და გამწოვ (ნახ. 2.3.2, 3) საჭირხნ სარქველებს მილყელებით. ჩვენს მიერ დაპატენტებულ ერთტაქტიან უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაქნიტურ ვიბროამძრავს П-სებური ფორმის მართკუთხა სტატორით (ნახ. 2.3.2, 4), რომლის ღეროებზე მოთავსებულია კვების წყაროსთან მიერთებული ცვლადი დენის გრაგნილები (ნახ. 2.3.2, 5), მემბრანას (ნახ. 2.3.2, 6), რომელიც წარმოადგენს ჰაერის გამაიშვიათებელ მუშა ორგანოს. დრეკადი გოფრირებული მემბრანა ხისტადაა დამაგრებული კორპუსთან და ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის ღუზასთან, რომელიც მოთავსებულია და მოძრაობს გულარას ღეროებს შორის მუდმივი საჰაერო ღრეჩოებით.



ნახ.2.3.2 რძის საწველი აპარატის ვაკუუმტუმბო ერთაქტიანი უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით

რძის საწველი აპარატი, ერთტაქტიანი უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ვიბროამძრავიანი ვაკუუმტუმბოთი შესაძლებელია დამზადდეს განსხვავებული წარმადობის, როგორც მობილური ისე სტაციონალური.

2.4. ორტაქტიანი უკუქცევით წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ჩაძირვის ტუმბო

სოფლის მეურნეობის წარმოებისათვის საჭიროა შესრულდეს მნიშვნელოვანი სამუშაოები წყალმომარაგების სისტემებში, რითვისაც აუცილებელია შეიქმნას მაღალი ენერგეტიკული და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ტუმბოები.

წყალმომარაგების სისტემების შექმნა ერთ-ერთ შრომატევად და ძვირადღირებულ პროცესს წარმოადგენს. ამ მიზნით ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა ტუმბო, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ საექსპლუატაციო დანახარჯები, გავზარდოთ მისი საიმედოობა და ენერგეტიკული მაჩვენებლები.

ნახ. 2.4.1-ზე წარმოდგენილია ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ტუმბო, რომლის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის ღუზები (ნახ. 2.4.1, 8-1, 8-2) მოთავსებულია გულარის (ნახ. 2.4.1, 5) ღეროებს (ნახ. 2.4.1, 6-1, 6-2) შორის მუდმივი საჰაერო ღრეჩოთი ( ) უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობის შესაძლებლობით. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ტუმბო მუშაობს შემდეგნაირად: ბაგირის (ნახ. 2.4.1, 16) საშუალებით, ტუმბოს უშვებენ წყალში გარკვეულ სიღრმეზე. ელექტრული წყაროდან მიწოდებული პერიოდული ძაბვის დროს ელექ-

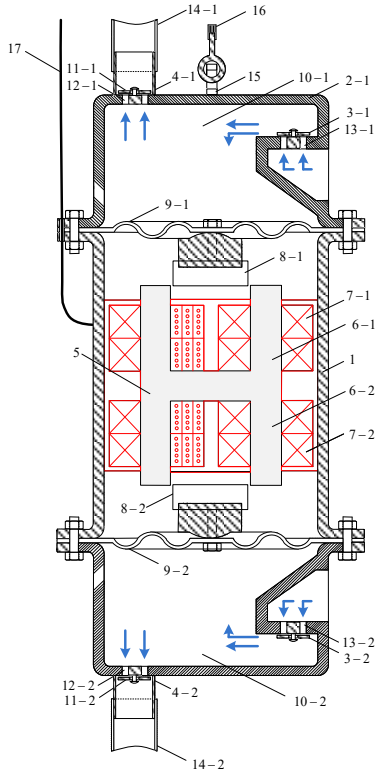
ტრომაგნიტური ვიბროამძრავის „“-ებური გულარის (ნახ. 2.4.1, 5) ზედა (ნახ. 2.4.1, 6-1) და ქვედა (ნახ. 2.4.1, 6-2) ღეროებზე მოთავსებულ გრაგნილებში (ნახ. 2.4.1, 7-1, 7-2) წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ნაკადები და . თუ პირველ ნახევარპერიოდში გულარის ზედა ღეროები პირველ მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ზედა ღუზას, მაშინ მეორე და ყველა ლუწ ნახევარპერიოდში გულარის ქვედა ღეროები მეორე მაგნიტურ კონტურში მიიზიდავს ქვედა ღუზას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ღუზის ჰარმონიული რხევები.

ცვლადი დენის პირველ პერიოდში ვიბროამძრავის ზედა ღუზა გადაადგილდება გულარისაკენ, მასთან ერთად გადადგილდება დრეკადი გოფრირებული მემბრანაც (ნახ. 2.4.1, 9-1), რის გამოც იზრდება მუშა კამერის (ნახ. 2.4.1, 10-1) მოცულობა, იღება შემწოვი სარქველი (ნახ. 2.4.1, 3-1), იკეტება საჭირხნი სარქველი (ნახ. 2.4.1, 11-1) და სითხე შეიწოვება მუშა კამერაში. იმავდროულად ქვედა ღუზა განიზიდება, მასთან ერთად გადაადგილდება დრეკადი გოფრირებული მემბრანაც (ნახ. 2.4.1, 9-2), შემცირებას დაიწყებს მუშა კამერის (ნახ. 2.4.1, 10-2) მოცულობა, იზრდება წნევა მუშა კამერაში (ნახ.2.4.1, 10-2), იკეტება შემწოვი სარქველი (ნახ.2.4.1, 3-2), იღება საჭირხნი სარქველი (ნახ. 2.4.1, 11-2) და დაჭირხნული სითხე მუშა კამერიდან (ნახ.2.4.1, 10-2) საჭირხნ მილყელთან (ნახ. 2.4.1, 4-2) დაკავშირებული მოქნილი შლანგით (ნახ. 2.4.1, 14-2) მიეწოდება მომხმარებელს.

ცვლადი დენის მეორე ნახევარპერიოდში კი პირიქით, ღუზა (ნახ.2.4.1, 8-2) მიიზიდება გულარის მიერ, მასთან ერთად გადაადგილდება დრეკადი გოფრირებული მემბრანაც (9-2), მოცულობის გაზრდას დაიწყებს მუშა

კამერა (ნახ. 2.4.1, 10-2), სითხე შეიწოვება ზემოაღწერილის ანალოგიურად ე. ი. ადგილი ექნება სითხის ამოტუმბვის ტექნოლოგიური პროცესის განმეორებას, აგრეთვე ელექტრომაგნიტის ღუზების რიგრიგობით მიზიდვა-განზიდვას, და საბოლოო ჯამში ტუმბოს მუშა კამერების ჰარმონიულ შეწოვა-დაჭირხვნას. ტუმბოს დინამიკის ძირითადი განტოლებისათვის გვექნება

$$F_{in} + F_y + F_g = m\frac{d^2y}{dt^2}, \qquad (2.4.1)$$



ნახ.2.4.1 ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ჩაძირული ტუმბო

სადაც $F_M = F_{M\,m} \sin \omega t$-აგზნების ძალაა, ნ; $F_y = -\frac{1}{2} cx$ - აღმდგენი ძალა, ნ; $F_g = -\beta \frac{dx}{dt}$-მილევის (ჩაქრობის) ძალა, ნ; x-ტუმბოს ღუზის გადადგილება, მ; $c = \frac{p_M}{x}$- ტუმბოს დრეკადი სისტემის (მემბრანის) სიხისტეა, ნ/მ; β – ხახუნის კოეფიციენტი, კგ/მ; m – ტუმბოს მოძრავი სისტემის (მათ შორის სითხის) მასა, კგ.

თუ (2.4.1) განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ m-ზე და შემოვიღებთ აღნიშვნებს $\frac{\beta}{m} = 2\delta$ და $\frac{c}{m} = \omega_0^2$, მაშინ ეს განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{p_{M\,m}}{m} \sin \omega t, \qquad (2.4.2)$$

სადაც $\delta = \beta/2m$ – მილევის (ჩაქრობის) კოეფიციენტია, წმ$^{-1}$; ω – ამგზნები ძალის კთხური სიჩქარე, რად/წმ; ω_0 – რხევადი სისტემის აკუთარი სიხშირე, რად/წმ; t – დრო, წმ.

ტუმბოს მუშაობის დიფერენციალური განტოლების ამონახსნს ღუზების გადაადგილებისათვის შემდეგი სახე აქვს

$$x = X_m \sin(\omega t + \Psi) \qquad (2.4.3)$$

სადაც $X_m = \frac{p_{M\,m}}{\sqrt{m^2+(\omega_0^2+\omega^2)+\beta^2\omega^2}}$ – გადაადგილების ამპლიტუდური მნიშვნელობაა, მ; $\Psi = arctg\frac{\omega\beta}{m(\omega_0^2-\omega^2)} = \frac{2\omega\delta}{\omega_0^2-\omega^2}$ – ძვრის კუთხე ამგზნებ ძალასა და ღუზის გადაადგილებას შორის, გრად.

ორტაქტიან უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტურ ვიბროამძრავიან ტუმბოში ადგილი არა აქვს მოძრავი ნაწილების შეჯახებას, რაც ზრდის ტუმბოს მუშაობის მდგრადობას და საიმედობას. ტუმბო

რადგან წყალშია ჩაშვებული, ამიტომ შეწოვა თვით-დინებით ხორციელდება და შეწოვის ვაკუუმმეტრული სიმაღლის პრობლემა მოხსნილია. ტუმბოს გაგრილება ხორციელდება წყლით, სადაც ტუმბოა ჩაშვებული.

სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული ზემოთ-განხილული უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექ-ტრომაგნიტურ ვიბროამძრავიანი დანადგარები მარტივი კონსტრუქციისა, ადვილია მათი რემონტი. გააჩნიათ გაუმ-ჯობესებული ენერგეტიკული და საექსპლუატაციო მახა-სიათებლები, მაღალი მ.ქ.კ. და მწარმოებლურობა, რომლის რეგულირების შესაძლებლობაც არსებობს. ანალოგიური წარმადობის შემთხვევაში არსებულ დანადგარებთან შე-დარებით მოითხოვს 3-5-ჯერ ნაკლებ სიმძლავრეს. ენერ-გოდაზოგვა მიიღწევა ვიბრომძრავში ელექტრული და მე-ქანიკური რეზონანსის ერთდროულად ან ცალ-ცალკე დამ-ყარების შესაძლებლობით.

2.5. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ ტრანსპორტიორი

უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგ-ნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ-ტრანსპორ-ტიორები სულ უფრო ფართო გავრცელებას პოულობს სოფლის მეურნეობის წარმოების ყველა დარგში. ასეთ მან-ქანებში მუშა ორგანო-ღარი ასრულებს რხევებს გრძივი ღერძის მიმართ გარკვეული კუთხით და მოძრაობის ხასიათი განისაზღვრება რხევითი მასების შეფარდებით, დრეკადი სისტემის მახასიათებლებით, ამპლიტუდის სი-

დიდით, ამგზნები ძალის სიდიდითა და მიმართულებით, აგრეთვე ღარისა და მასზე მოთავსებული ნივთიერების ურთიერთქმედებით.

უკუქცევით-წინსვლითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ამძრავით აღჭურვილი მკვებავ ტრანსპორტიორების თავისებურებას წარმოადგენს მაღალი სიხშირე და რხევების შედარებით მცირე ამპლიტუდა. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ჩატარებულია მრავალი ექსპერიმენტული კვლევა, რომლებშიც განხილულია ვიბროტრანსპორტირების პროცესი, მაგრამ ამ კვლევების ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ პრაქტიკულად შეუძლებელია მათი შედეგების შედარება კვლევების მეთოდიკებისა და პირობების დიდი განსხვავებების, აგრეთვე ნივთიერების პარამეტრების და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ფართო ზღვრებში ცვალებადობის გამო. მაგალითად, არ არსებობს ერთიანი აზრი მასალის ფენის ტრანსპორტირების სიჩქარეზე ზეგავლენასთან დაკავშირებით. ზოგიერთი ავტორის აზრით მასალის ფენის სისქის 50...60მმ-მდე გაზრდა იწვევს ტრანსპორტირების სიჩქარის მკვეთრ შემცირებას, ხოლო სხვა ავტორები თვლიან, რომ ფენის სისქის ზრდა 60 მმ-მდე იწვევს სიჩქარის ამაღლებას, ნაკლებად შესწავლილია აგრეთვე ღარის სიგანის ზეგავლენა ღარის მოძრაობის კანონზე.

ჩვენს მიერ გამოკვლეული იქნა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ-ტრანსპორტიორის მუშაობა სხვადასხვა მასალის (ჩაის კონცენტრატი, ძირხვენები, ხორბალი, სიმინდი და ა.შ.) ტრანსპორტირების დროს.

ვიბომკვებავის ღარი სიგანით $b = 650$ მმ, სიმაღლით $h = 406$ მმ და სიგრძით $l = 1705$ მმ დაკიდებულია

ოთხ ზამბარაზე. აბსოლუტურად ხისტი ღარის სიგანის შეცვლა წარმოებდა გვერდითი კედლების გადაადგილებით, ვცვლიდით აგრეთვე, ღარის დახრის კუთხეს α.

ტრანსპორტირების საშუალო სიჩქარე განისაზღვრებოდა ანგარიშის გზით, ფორმულით

$$v = \frac{Q}{m_{y\partial}}, \qquad (2.5.1)$$

სადაც Q – მწარმოებლობაა, კგ/წმ; $m_{y\partial}$ – ტვირთის მასა ღარზე, რომელსაც ვღებულობთ მუდმივი სიდიდის მქონედ ღარის მასასთან ერთად.

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ტრანსპორტიორის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 2.5.1-ზე. მასების ცენტრის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები სისტემის იძულებითი რხევების დროს ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$\left.\begin{aligned} M\frac{d^2x}{dt^2} &= m_y r\omega^2 \sin(\omega t + \beta) - k_x x \\ M\frac{d^2y}{dt^2} &= k_y y - k_{y1} \end{aligned}\right\}. \qquad (2.5.2)$$

განტოლება (2.5.2)-ში შემავალი სიდიდეების შეტანის, სათანადო გარდაქმნების და ინტეგრების შემდეგ ვღებულობთ

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{m_y \omega^2 k_{y1} \sin(\omega t + \beta)}{M(\omega^2 - \omega_x^2)} \\ y &= \frac{m_y \omega^2 k_{y1} \sin(\omega t + \beta)}{M(\omega^2 - \omega_y^2)} \end{aligned}\right\}, \qquad (2.5.3)$$

სადაც x, y – მასების ცენტრის გადაადგილებაა კოორდინატთა ღერძების მიმართ, მ; m_y – აქტიური მასა, კგ; ω – სისტემის იძულებითი რხევისკუთხური სიხშირე, რად/წმ; ω_y – სისტემის საკუთარი რხევების კუთხური სიხშირე, რად/წმ; β – რხევების მიმართულების კუთხე, გრად; M – მთელი სისტემის მასაა, კგ; k_y – ვიბროამძრავის საწყისი სააერო ღრეჩო, მ.

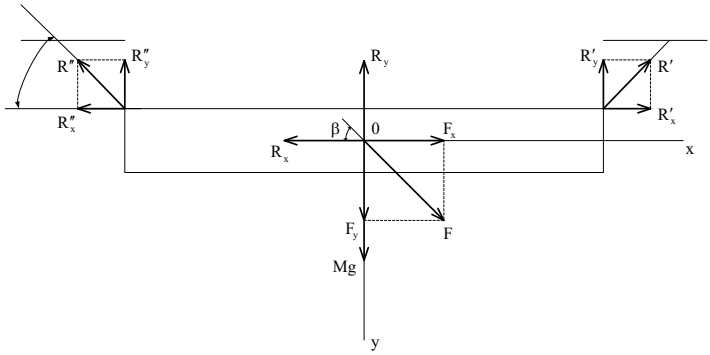
მასალა გადაადგილდება რა მკვებავ-ტრანსპორტიორის ღარში მიკროტყორცნებით, თანაც პერიოდის დიდ ნაწილს ატარებს ფრენაში, რის გამოც ფრენის სიშორე განსაზღვრავს ტვირთის გადადგილებას რხევების ციკლის განმავლობაში.

ღარის ჰორიზონტალური გადადგილებისას ტვირთის გადადგილება ფრენის დროს

$$s_y = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\beta_{0y}, \qquad (2.5.4)$$

სადაც v_0 – ნაწილაკის ფრენის საწყისი სიჩქარეა, მ/წმ; β_{0y} – საწყისი სიჩქარის ვექტორის ღარის მიმართ დახრის კუთხე ნაწილაკის მოწყვეტის მომენტში ტყორცნის კუთხე), გრად.

თეორიულად ფრენის მაქსიმალური სიჩქარეს ადგილი ექნება, როდესაც $\beta_{0y} = 45°$, მაგრამ ვიბრაციული ტრანსპორტირების ესპლუატაციიდან ცნობილია, რომ ტრანსპორტირების მაქსიმალური სიჩქარე მიიღწევა, ვიბრაციის კუთხის $\beta = 15° \div 35°$ ზღვრებში, რაც გაცილებით ნაკლებია β_{0y}-ის ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე (ჩვენს შემთხვევაში $\beta = 18°$).



ნახ. 2.5.1 ელექტრომაგნიტური ვიბროტრანსპორტიორის საანგარიშო სქემა

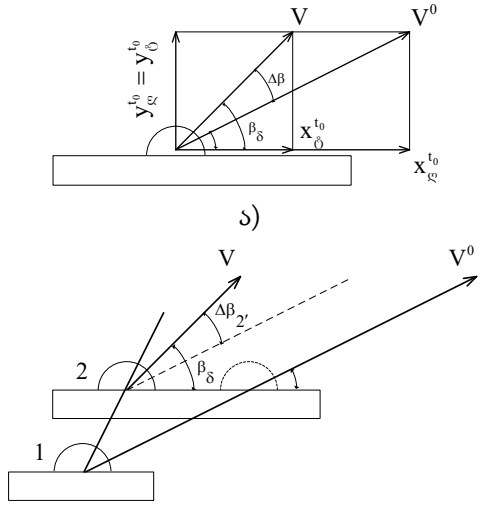
დავუშვათ, რომ ნაწილაკი შეხვდება მის შემხვედრად მოძრავ ღარს წერტილში (1, ნახ. 2.5.2,ა). აბსოლუტურად არადრეკადი დარტყმის შემთხვევაში ნაწილაკის სიჩქარე – მყისიერად გაუტოლდება ღარის სიჩქარეს. თუ ადგილი არა აქვს გასრიალებას, ნაწილაკი ღართან ერთად გადაადგილდება () წერტილში, რომელიც შეესაბამება მოწყვეტის მომენტს და შემდგომში შეასრულებს ფრენას ტრაექტორიით, რომლის მიმართ მხები მოწყვეტის მომენტში დახრილია ღარის მიმართ კუთხით. მაგრამ ინერციის ძალების მოქმედების გამო ნაწილაკი ღარის აჩქარებული მოძრაობისას და ამიტომაც გადაადგილდება არა () მდგომარეობაში, არამედ (2) წერტილში და აქედან დაიწყებს ფრენას კუთხით. რადგან ნაწილაკი 1-წერტილიდან მე-2-ში გადაადგილებისას იმყოფება ღართან კკონტაქტში, მისი სიჩქარე შვეულ მიმართულებაში ტოლია ღარის სიჩქარისა, მოწვეტის მომენტში (ნახ. 2.5.2, ბ). ტრანსპორტირების მიმართულებით გასრიალების გამო , რის გამოც ჯამური სიჩქარე იქნება , რომელიც მიმართულია კუთხით, თანაც . კუთხის სიდიდე დამოკიდებულია მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე და ნაწილაკის ფორმაზე. ტყორცნის კუთხის ცვალებადობის დიაპაზონი იმყოფება ზღვრებში , ე.ი. გასრიალების უგულებელყოფისას ტყორცნის კუთხე ვიბრაციის კუთხის ტოლია, ხოლო ზედა ზღვარი დამოკიდებულია გასრიალების სიდიდეზე და ბრტყელი ნაწილაკების მრგვალით ჭეცვლისას ხახუნის კოეფიციენტის შემცირების გამო . იმის გამო, რომ არსებობს დამატებითი კუთხე „გასრიალების“

კუთხე, შესაძლებელია დიდი გადაადგილების მიღება და მაშასადამე ტრანსპორტირების სიჩქარის გაზრდა ვიბრაციის მცირე კუთხეების პირობებში.

ფხვიერ მასაზე ვიბრაციის ზემოქმედებით მიმდინარეობს პროცესი, რომელიც განისაზღვრება ვიბრაციის ინტენსივობით. ინტენსივბის გაზრდით სიდიდემდე, რომლის აჩქარების ამპლიტუდური მნიშვნელობა არ აღემატება თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას, ფხვიერი მასა იწყებს მოძრაობას. ამ დროს ნაწილაკებს შორის კავშირი მცირდება, ისინი უახლოვდებიან ერთმანეთს და ფხვიერი მასა მჭიდროვდება. ფხვიერი მასა უფრო მჭიდროვდება, როდესაც რხევის აჩქარების ამპლიტუდა გაუტოლდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას. რხევის ინტენსივობის შემდგომი გაზრდით ნაწილაკკები კარგავენ კონტაქტს ვიბრირებად მუშა ორგანოსთან (ღართან), მცირდება და პერიოდულად ირღვევა კავშირი ნაწილაკებს შორის, ფხვიერი მასა გადადის ე.წ. ვიბროდუღილის მდგომარეობაში. ამ სტადიაში შეიძლება გამოვყოთ ორი ძირითადი მდგომარეობა: ნაწილაკების სეგრეგაცია და ინტენსიური გადაადგილება, ამასთან მეორე ხორციელდება ვიბრაციის მაღალი ინტენსივობის დროს.

ვიბრაციული ტრანსპორტირების გამოყენება ძირითადად ეფექტიანია მტვრიანი, ტოქსიკური, ცხელი, ქიმიურად აგრესიული, ფეთქებად-საშიში და სხვა ფხვიერი ნვითიერებების ტრანსპორტირებისათვის. ცდებით დადგენილია, რომ ყველაზე კარგად ვიბროკონვეიერით ტრანსპორტირდება ერთგვაროვანი ფხვნილისმაგვარი, მარცვლოვანი და პატარა ნაჭრებიანი ფხვიერი ტვირთი. ვიბროტრანსპორტიორით ზოგიერთი ნივთიერების ტრან-

სპორტაბელურობის რამოდენომე შედარებითი მაჩვენებელი მოყვანილია ცხრილში 2.5.1.



ნახ 2.5.2 ნაწილაკის გადაადგილება ტრანსპორტიორის ღარში

ელექტრომაგნიტური ვიბროტრანსპორტიორის გამოყენებით შესაძლებელია უზრუნველყოფილი იქნეს:

- ნივთიერების ჰერმეტულობა გადაადგილებისას და მასთან დაკავშირებული მტვრის წარმოქმნის, ხანძრის და აფეთქების საშიშროების არ არსებობა;
- ცხელი ტვირთების ტრანსპორტირება ([illegible]);
- ტრანსპორტირების პროცესთან ერთად დახარისხება, გაცრა, გათბობა, გაცივება, დატენიანება, შრობა, შერევა და სხვა ტექნოლოგიური ოპერაციების შესრულება;
- მწარმოებლურობის მაღალი მაჩვენებელი, მარტივი კონსტრუქციული შესრულებისას;

- საიმედოობის მაღალი მაჩვენებლები, ხანგრძლივი ექსპლუატაციისას.

ტრანსპორტირების სიჩქარე ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, როგორც ეს ცხრილი 2.5.1.-დან ჩანს, ძირითადად შეადგენს 0,2...0,3 მ/წმ-ს და მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში რხევის სიხშირისა და ამპლიტუდის ოპტიმალური უზრუნველყოფისას აღწევს 0,8 მ/წმ-ს., ამიტომ ჩვენი შემდგომი კვლევის მიზანს წარმოადგენს ოპტიმალური პირობების განსაზღვრა იმ ნივთიერებების (კარტოფილი, საკვები ჭარხალი, სოია, სიმინდის მარცვალი და სხვა) ტრანსპორტირებისას, რომლებსაც ჩვენ ვიკლევთ და სპეციალური კონსტრუქციის ტრანსპორტიორის დამუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს ამ პირობების შესრულებას.

უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული სატრანსპორტო და სატრანსპორტო-ტექნოლოგიური მანქანა დანადგარების დანერგვა სასოფლო სამეურნეო წარმოებაში იძლევა საგრძნობ ეკონომიურ ეფექტს შრომის ნაყოფიერების გაზრდის ხარჯზე, საექსპლუატაციო დანახარჯების შემცირებით.

ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ-ტრანსპორტიორის დინამიკის შესასწავლად, კერძოდ კი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების შესადგენად, პირველ რიგში საჭიროა ამგზნები ძალის მახასიათებლის დადგენა. ამ მახასიათებლის თეორიული დადგენა დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან და მიახლოებით ხასიათს ატარებს, რის გამოც ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარება ფრიად აქტუალური რჩება.

ცხრილი 2.5.1.

ზოგიერთი ნივთიერების ტრანსპორტაბელურობის მაჩვენებლები

ნივთიერება	ხვედრითი მასა	ტრანსპორტაბელურობა	სიჩქარე
	კგ/მ³	-	მ/წმ
ჩაი	320	კარგი	0,20
ყავა	400	კარგი	0,35
შაქარი	800	დამაკმაყოფილებელი	0,25
რძის ფხვნილი	320	დამაკმაყოფილებელი	0,25
სოია	750	კარგი	0,35
ხორბალი	760	კარგი	0,35
სიმინდის მარცვალი	720	კარგი	0,30
მიწა (ფხვიერი)	1120	დამაკმაყოფილებელი	0,15
კარტოფილი	700	დამაკმაყოფილებელი	0,20
ჭარხალი (საკვები)	650	დამაკმაყოფილებელი	0,20
აზბესტის ფხვნილი	240	ცუდი	-

მყისი სიმძლავრის ბალანსის განტოლების თანახმად

$$U_i = i^2R + F\frac{dx}{dt} + \frac{d}{dt}\left(\frac{Li^2}{2}\right), \qquad (2.5.5)$$

სადაც U_i – მკვებავი ძაბვაა, ვ; i – ვიბროამძრავის გრაგნილებში გამავალი დენი, ა; F – წევის ძალა, ნ; L – ვიბროამძრავის გრაგნილის ინდუქციურობა, ჰნ; R – გრაგნილის აქტიური წინააღმდეგობა, ომ.

მარჯვენა მხარეში გვაქვს აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ჯამი, ხოლო ძაბვა

$$U = iR + \frac{d(Li)}{dt} \quad . \qquad (2.5.6)$$

ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ კონსტრუქციაში L ინდუქციურობა არ არის დამოკიდებული ღუზასა და სტატორს შორის სააერო ღრეჩოს-d ცვალებადობაზე, რის გამოც ელექტრომაგნიტური სიმძლავრის გამოსახულება ღებულობს სახეს

$$P_{em} = \frac{1}{2} i^2 \frac{L}{d} \quad . \qquad (2.5.7)$$

თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ შემოთავაზებულ კონსტრუქციაში დენის ძალის ეფექტიანი მნიშვნელობა არაა დამოკიდებული ღუზის გადაადგილებაზე, შეიძლება დავწეროთ

$$P_{em} = K_{em}(q_{em} + \sin \omega t)^2 \quad , \qquad (2.5.8)$$

სადაც K_{em} - ფუნქციია, რომელიც დამოკიდებულია ღუზის გადაადგილებაზე და ვიბროამძრავის პარამეტრებზე; q_{em} - შემაგნიტების კოეფიციენტი, $q_{em} = 1 \div 2$.

2.6. უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი დოზატორი

მეცნიერულად დასაბუთებულია, რომ პირუტყვის ნორმირებული გამოკვება მნიშვნელოვნად ზრდის მის პროდუქტიურლობას, აქედან გამომდინარე წარმოიქმნება საკვების ყველა ინგრედიენტის დოზირების ტექნიკური ამოცანა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოს მთიანი ზონის ფერმერულ მეურნეობათა უმრავლესობის საკვებ ბალანსში მნიშვნელოვანი წილი ნაკლებად ნოყიერ

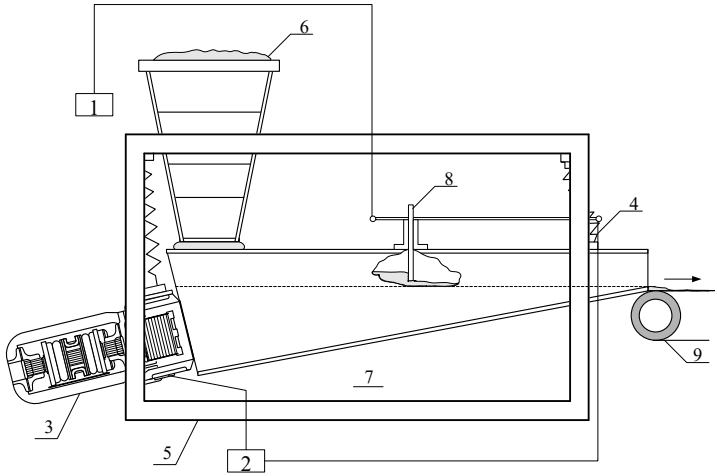
უხეშ საკვებს უკავია, აუცილებელი ხდება მისი ეფექტიანობის ამაღლება საკვებნარევების გამოყენების პირობებში, რისთვისაც ერთ-ერთ აუცილებელ პირობას წარმოადგენს განსაზღვრული რაოდენობის დაქუცმაცებული უხეში საკვების თანაბარ-დოზირებული, 10%-ის სიზუსტით მიწოდება, რაც უზრუნველყოფს საკვებნარევის საჭირო ხარისხობრივ მაჩვენებლებს და საკვების ეფექტიან და ეკონომიურ გამოყენებას.

ფხვიერი საკვების ღარიანი დოზატორი (ნახ. 2.6.1), რომელიც შედგება: ფხვიერი მასალის ფენის სიმაღლის გადამწოდთა ბლოკისაგან (1), მართვის ბლოკისაგან (2), ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავისაგან (3), რომელიც დოზატორის რეგულირებად ამძრავშია გამოყენებული და რომელიც დრეკადი ელემენტების (4) მეშვეობით დაკიდებულია ჩარჩოზე (5), ბუნკერისაგან (6), საიდანაც მასალა მიეწოდება ღარს (7), ფხვიერი პროდუქტების ფენის მარეგულირებელი და გამათანაბრებელი ჩამრაზისაგან (8) და ტრანსპორტიორისაგან (9).

ვიბროამძრავში მიღწეულია მაღალი ენერგეტიკული და ეკონომიკური მაჩვენებლები, მექანიკური და ელექტრომაგნიტური ფერორეზონანსის მოვლენების ერთდროული გამოყენების გზით. მთიანი ზონის ფერმებში კი ენერგიის ავტონომიური წყაროების გამოყენებისას ძალზე დაბალია და ხასიათდება სიხშირის ცვალებადობით, ამიტომ მიზანშეწონილად ჩაითვალა სიხშირული რეგულირების გამოყენება მექანიკური რეზონანსის მისაღწევად.

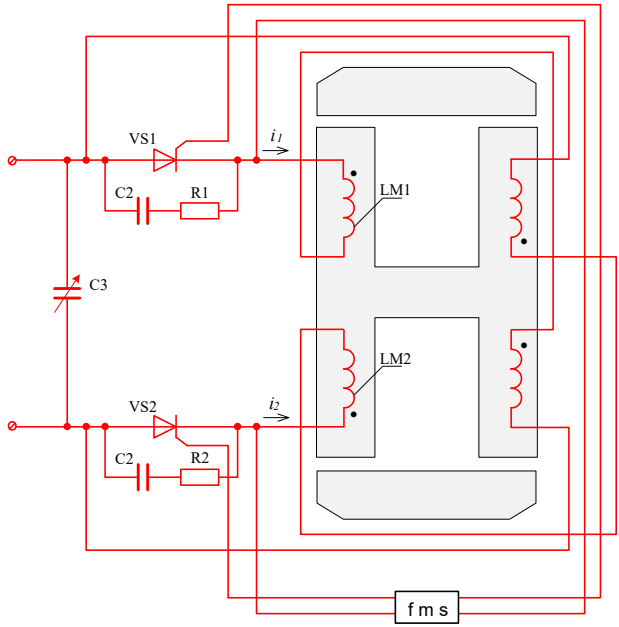
სიხშირით მართვადი ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის კვების სქემაში (ნახ.2.6.2) ნახევრად გამტარი დიოდების გამოყენების შემთხვევაში გრაგნილების და $LM1$ და $LM2$ დიდი ინდუქციურობის გამო i_1 და i_2

დენების იმპულსების ხანგრძლიობა აღემატება მოდებული ძაბვის ნახევარპერიოდს, რაც იწვევს დენების ერთდროულ გავლას ორივე პარალელურ შტოში, რის შედეგადაც ჩნდება ღუზაზე მოქმედი სამუხრუჭე ძალები. დოზატორის მწარმოებლობა რეგულირდება სიხშირის ცვლილებით.



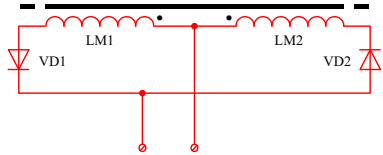
ნახ.2.6.1 ფხვიერი საკვების ღარიანი დოზატორი

VS1, VS2 თირისტორების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება t_1 და t_2 დენების იმპულსების ხანგრძლივობის რეგულირება თირისტორების გაღების კუთხის მართვის ფაზური სქემების (მფს) საშუალებით. გარდა ამისა თირისტორების მართვის სპეციალური სქემების გამოყენებით შეიძლება მივაწოდოთ იმპულსები თითოეულ პარალელურ შტოში არა ყოველ პერიოდში არამედ ერთ, ორ და ა.შ. პერიოდში, რის შედეგადაც ღუზის რხევების სიდიდე შესაბამისად მცირდება.



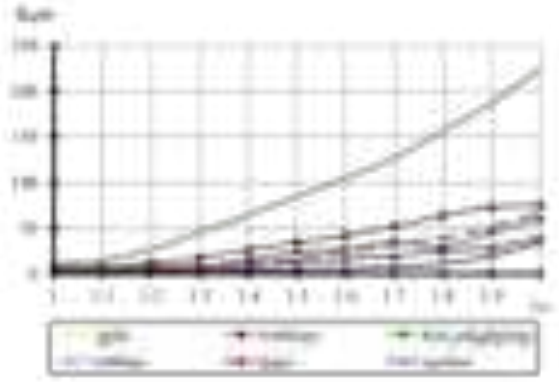
ნახ. 2.6.2 სიხშირით მართვადი ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის კვების სქემა

დოზატორის ექსპერიმენტული ნიმუში გამოიცადა ჩვენს მიერ შექნილ სპეციალურ სადატვირთვო სტენდზე. გამოყენებული იქნა სხვადასხვა ფხვიერი მასალები, კერძოდ ქატო, სიმინდი, ლობიო, ხორბალი, ჩაის კონცენტრატი, ქვიშა.

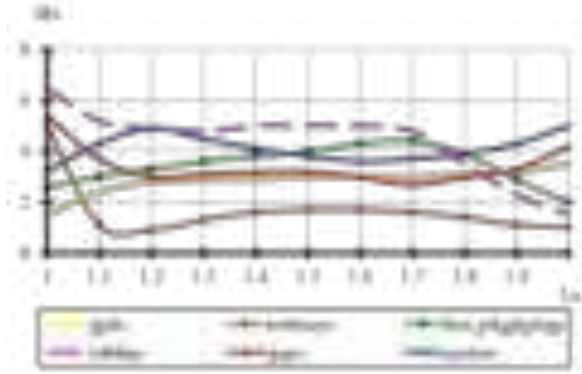


ნახ.2.6.3 სიხშირით მართვადი ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის ელექტრული შეერთების სქემა

ნახ. 2.6.4-ზე მოყვანილია დოზატორის მწარმოებლურობის დამოკიდებულება შემაგნიტების დენზე $Q = f(I_{-})$, ხოლო ნახ. 2.6.5-ზე დოზირების ცდომილების დამოკიდებულება შემაგნიტების დენზე $\Delta Q = f(I_{-})$. როგორც ნახ. 2.6.4-ზე ჩანს მწარმოებლურობის დამოკიდებულება შემაგნიტების დენზე წრფეს უახლოვდება, ხოლო ნახ.2.6.5-ზე აბსოლიტური ცდომილება-ΔQ, რეგულირების ტელ დიაპაზონში (I_{-}=1,25...1,75ა) არ აღემატება 5%-ს. აღსანიშნავია, რომ მინიმალური ცდომილება დოზირების მოცემული შემთხვევისათვის გააჩნია ხორბალს.



ნახ.2.6.4 დოზატორის მწარმოებლურობის დამოკიდებულება შემაგნიტების დენზე



ნახ.2.6.5 დოზირების ცდომილების დამოკიდებულება შემაგნიტების დენზე

დადგინდა, რომ ვიბროდოზატორის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ღარის დახრის კუთხეს, მასალის ფენის სისქეს (რომელიც დამოკიდებულია პროდუქტის ფიზიკურ და ტექნიკურ მაჩვენებლებზე) და რხევების ამპლიტუდას.

დოზატორის მწარმოებლურობის და დოზირების ცდომილების რეგულირებისათვის მიზანშეწონილად ჩაითვალა დოზატორის ამძრავის მართვა მკვებავი ცვლადი ძაბვის ამლიტუდისა და სიხშირის ცვლილების საშუალებით, როდესაც შემაგნიტების დენი მუდმივია, ან შემაგნიტების დენის რეგულირებით უცვლელი მკვებავი ცვლადი ძაბვის შემთხვევაში.

ცდებით დადგინდა, რომ ფხვიერი მასალის ფენის სისქის ზრდასთან ერთად ვიბროტრანსპორტირების საშუალო სიჩქარე მცირდება და პასუხობს ვ. ბაუმანის ნახევრადემპირიულ ფორმულას.

$$V = k_1 k_2 k_3 A f \cos\beta \qquad (2.6.1)$$

სადაც, A – რხევის ამპლიტუდაა, მ; f – რხევის სიხშირე, წმ$^{-1}$; β – ვიბრაციის კუთხე, გრად; k_1, k_2, k_3 – უგანზომილებო კოეფიციენტები.

ფხვიერი მასალის დოზატორის ღარში გადაადგილებისას, მაგალითად ქვიშისათვის რომლის სიმკვრივე $\gamma = 1.6$ ტ/მ^3, ხოლო ტენიანობა არ აღემატება 10%-ს, f= 50 წმ$^{-1}$ პირობებში მასალაზე დამოკიდებული კოეფიციენტისათვის ვღებულობთ $k_1 = 0.7$ და როდესაც ფენის სისქე $h < 50$, $k_2 \approx 1$, k_3 – კოეფიციენტი დამოკიდებულია ღარის დახრის კუთხე α-ზე და რადგან ჩვენს დოზატორში $\alpha = 0°$-ს, $k_3 = 1$. განხილულ კონსტრუქციაში $\beta = 18°$, საბოლოოდ ვღებულობთ

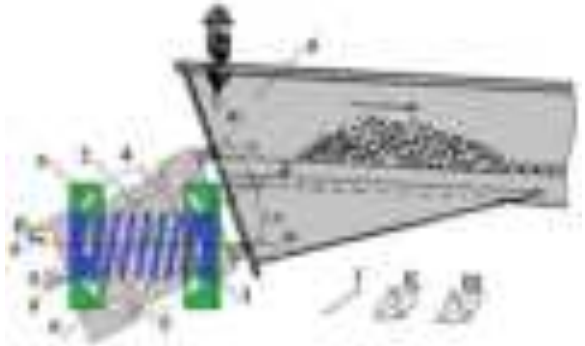
$$V = 0.7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.0015 \cdot 50 \cdot 0.95 = 0.05 \text{ მ/წმ.}$$

ვიცით რა ფენის სისქე $h = 0.5$ სმ და ღარის სიგანე $b = 0.52$ მ. მაქსიმალური მწარმოებლურობისათვის ვღებულობთ $Q = 0.05 \cdot 0.005 \cdot 0.52 \cdot 1600 = 0.21$ კგ/წმ.მიღებული შედეგი კარგად ემთხვევა ნახ.2.6.4-ზე მოყვანილ ექსპერიმენტულ შედეგს.

2.7. ცვლადი მუშა რეჟიმის მქონე ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავით აღჭურვილი მკვებავ-ტრანსპორტიორი

ნახ. 2.7.1-ზე ნაჩვენებია ელექტრომაგნიტური ვიბრომკვებავი ვიბროაღმგზნებით, რომელიც შეიცავს ერთმანეთთან დაკავშირებულ დრეკად და ელექტრომაგნიტურ სისტემებს. დრეკად სისტემებს წარმოადგენენ შეჭრილი ხრახნული ცილინდრული ზამბარები 2, რომლებიც კრონშტეინული სისტემით ერთი მხრიდან დაკავშირებული

არიან ელექტრომაგნიტთან 4, ხოლო მეორე მხრიდან ღუზასთან 5. ამასთან კრონშტეინების სისტემა 3 უზრუნველყოფს დრეკადი სისტემის (ზამბარების) გრძივი ღერძის $a_1 - a_1$ ($a_2 - a_2$) შემობრუნებას საჭირო $\pm\alpha$ კუთხეზე ელექტრომაგნიტის მოქმედების $b - b$ ღერძის მიმართ. ღართან 6 დაკავშირებული ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი მთლიანობაში წარმოადგენს ვიბრომკვებავს, რომელიც გამოიყენება ფხვიერი, დანაწევრებული და ცალკეული მასალების მიწოდებისათვის ბუნკერებიდან და სხვადასხვა შემგროვებლებიდან; იგი დამუშავებულია სერიულად წარმოებული ელექტროვიბრაციული მკვებავის *PEV*1*A* – 065 × 1,8 მარკის ბაზაზე. ახალი ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი იძლევა მუშა ორგანოს ელიფსური რხევების აღგზნებისა და რხევის ელიფსის ღერძების სიდიდის რეგულირების შესაძლებლობას, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა გავაწყოთ მანქანის მწარმოებლობა კონკრეტული დასამუშავებელი მასალის თვისებებთან შესაბამისობაში.



ნახ.2.7.1. ვიბრაციული მკვებავი-ტრანსპორტიორი ცვლადი ვიბრაციული რეჟიმებით, (პატენტი [3]).

ვიბრატორი საშუალებას იძლევა აღიგზნოს მანქანის მუშა ორგანოში (ღარი, საცერი და სხ.) შეჭრილი ზამბარების სწორხაზოვანი – როცა $\alpha = 0$, ელიფსური – როცა $\alpha \neq 0$, ბიჰარმონიული – გრძივი ($\omega_{\text{გრძ}}$) და განივი ($\omega_{\text{გან}}$) რხევების სიხშირეების ტოლობისას ($\omega_{\text{გან}} / \omega_{\text{გრძ}} = 1$), აგრეთვე რვიანის ტიპის რხევები, როცა $\omega_{\text{გან}}/\omega_{\text{გრძ}} = 1/2$; რხევების აღნიშნული ფორმები მიიღება დამატებითი ვიბროაღმგზნების გამოყენების გარეშე.

α კუთხის ცვლილება საშუალებას იძლევა გავაწყოთ მანქანა მუშაობის ოპტიმალურ რეჟიმზე დასამუშავებელი მასალის სახის და მდგომარეობისგან დამოკიდებულებით, ზრდის მწარმოებლობას და აფართოვებს მანქანის გამოყენების შესაძლებლობას სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში.

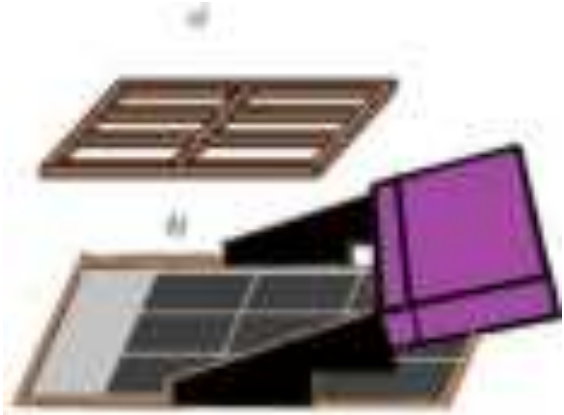
2.8. შეკავშირებადი ხასიათის ფხვიერი მასალების დახარისხების და ტრანსპორტირების ინოვაციური ვიბრაციული მოწყობილობა

ვიბრაციული სატრანსპორტო-ტექნოლოგიური მანქანების წინაშე ხშირად დგება შერჩევითი მოთხოვნები ფხვიერი მასალის ტიპის, თვისებების და სხვა მახასიათებლებისგან დამოკიდებულებით; განსაკუთრებული მოთხოვნებია დაკავშირებული ძნელად ტრანსპორტირებადი (შეკავშირებადი) ფხვიერი მასალების ვიბრაციული ტექნოლოგიური პროცესების შემთხვევაში (ტრანსპორტირება, შერევა, სეპარაცია და ა.შ.); პროცესის მოთხოვნილი შედეგების მისაღებად (სიჩქარე, ინტენსიურობა, სეპარაციის ხარისხი და ა.შ.) აქ აუცილებელი ხდება შესაბამისი

ვიბრაციული, გეომეტრიული, ფიზიკური პარამეტრების შერჩევა, ან უკიდურეს შემთხვევაში მანქანის კონსტრუქციის მოდერნიზაცია ან ახალი კონსტრუქციის დამუშავება.

არაერთგვაროვანი ფხვიერი მასალების დახარისხების (გაცრის) მიზნით ფართოდ გამოიყენება ბადიანი ზედაპირები, მათ შორის ვიბრაციულ მანქანებში, მაგრამ მუშა ორგანოს ერთიანი ბადიანი ფსკერის შემთხვევაში მისი უარყოფით მხარეა მისი მცირე სიხისტე, რაც იწვევს მასალაზე ვიბრაციული ზემოქმედების და შესაბამისად მისი მოძრაობის ინტესივობის შემცირებას.

მუშა ორგანოს ახალი გახისტებული კონსტრუქციის ვარიანტი ნავენებია ნახ. 2.8.1 ა,ბ - ზე.



ნახ. 2.8.1. ვიბრომკვებავი გახისტებული ფსკერით: ა) - ფსკერი გრძივი გახისტებით, ბ) ვიბრომკვებავთან ერთად

ასეთი კონსტრუქცია მნიშვნელოვნად ზრდის ბადის სიხისტეს და მასალაზე გადაცემული ვიბრაციული

ძალის იმპულსის სიდიდეს, ამასთან ბადის მუშა ფართის ნაწილობრივ შემცირება არ აისახება გაცრის პროცესის ეფექურობაზე.

ბადის გაზრდილი სიხისტე იძლევა გაუცრელი (დიდი ზომის ნაწილაკების) მასის შემდგომი ვიბრაციული გადაადგილების შესაძლებლობას (საკუთარი დრეკადი დეფორმაციების ხარჯზე) და მიწოდებას შემდეგ, განსხვავებულ ბადიან მუშა ორგანოზე, შემდგომი დახარისხებისთვის ან მის მიწოდებას მიმღებ ჭურჭელში.

პრობლემის არსის თვალსაჩინოებისთვის, ნახაზზე წარმოდგენილია სისტემის: „მუშა ორგანო (ჩარჩო) – დრეკადი ფსკერი“ ცალკეული შემადგენელი კომპონენტების: ა) მუშა ორგანოს, როგორც აბსოლუტურად ხისტი სხეულის, ბ) მუშა ორგანოს დრეკადი ფსკერის ვიბრაციული მოძრაობების ელემენტარული გრაფიკული ილუსტრაციები.

ა) მუშა ორგანოს ჩარჩოს ვიბრაციები (ნახ.2.8.2). მუშა ორგანოს ჩარჩოს ვიბრაციები გამოწვეულია ვიბრატორიდან უშუალოდ მასზე გადაცემული ცვლადი (ელექტრომაგნიტური) ძალით და რხევის უმარტივესი ფორმა იქნება სინუსოიდა (ნახ.2.8.2), რომლის ამპლიტუდა, ფორმა (წრფივი, არაწრფივი) და სიხშირე დამოკიდებულია ვიბროაღმგზნების ტიპზე.

ნახ. 2.8.2 ვიბრაციული მანქანის მუშა ორგანოს ჩარჩოს, როგორც ხისტი სხეულის, რხევითი მოძრაობა
(t - დრო , x - გადაადგილება, A - ამპლიტუდა)

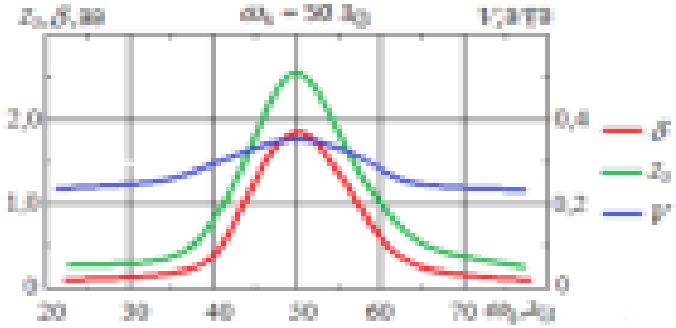
ბ) მუშა ორგანოს ფსკერის დეფორმაციები. ფირფიტის დეფორმაციების ფორმირებაში მონაწილეობას ღებულობენ: მუშა ორგანოს ჩარჩოს ინერციული ძალა (რხევები), გადასაადგილებელი ტვირთი, ფირფიტის გეომეტრიული პარამეტრები და ფირფიტის სიგრძის მიმართ შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ჯერადობის დეფორმაციები. ნახ.2.8.3-ზე ნაჩვენებია ფირფიტის პირველი რიგის დეფორმაციები.

ნახ. 2.8.3. ბადის ზედაპირის, როგორც დრეკადი სხეულის, დეფორმაციები

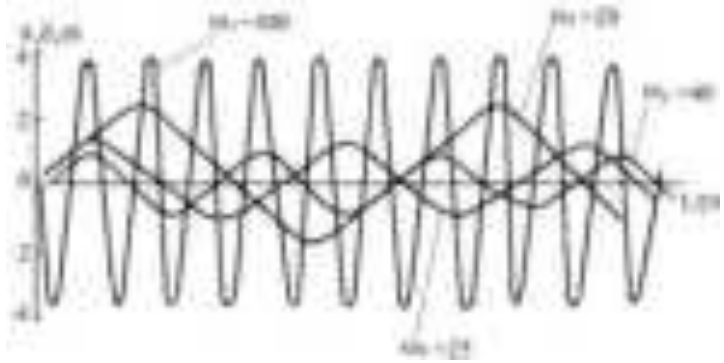
აღნიშნულთან დაკავშირებით ნახ.2.8.4 და 2.8.5-ზე წარმოდგენილია დრეკადფსკერიან მუშა ორგანოზე ფხვიერი მასალის მოძრაობის სიჩქარეზე დრეკადი დეფორმაციების (δ) გავლენის, მათემატიკური მოდელირებით მიღებული ზოგიერთი გრაფიკული შედეგი. როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, ფირფიტის დეფორმაციების და ჩარჩოს რხევების ფაზით თანხვედრის შემთხვევაში იზრდება მასალაზე მოქმედი ფირფიტის ჯამური ამპლიტუდა $(x+\delta)$, ვერტიკალური გადაადგილების (Z_3) სიდიდე და შესაბამისად, მასალის გადაადგილების სიჩქარე (V) (ნახ.2.8.4).

ფაზების არათანხვედრის შემთხვევაში ადგილი აქვს სიჩქარის შემცირებას (ნახ.2.8.6). ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია ფირფიტაზე საპირწონეების დამაგრება,

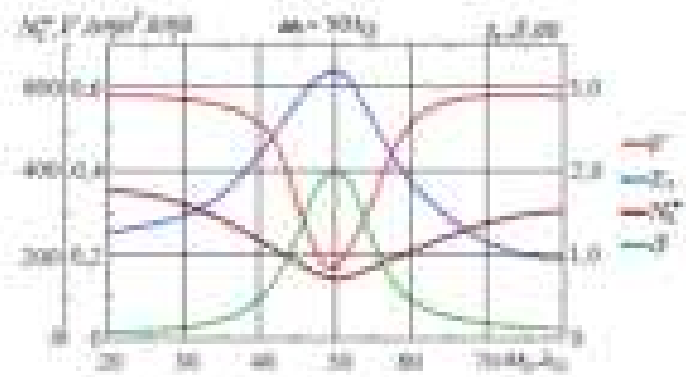
რაც გამოიწვევს დეფორმაციის მიმართულების ცვლილებას და ჯამური ამპლიტუდის გაზრდას.



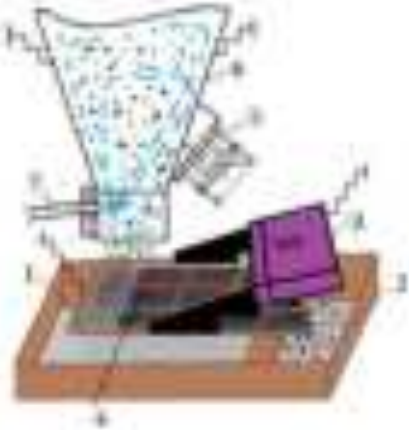
ნახ. 2.8.4. ძირითად რეჟიმში (ω_x = 50 ჰც) ტვირთის სიჩქარე (V) და ვერტიკალური გადაადგილება (Z_3) დრეკადი მუშა ორგანოს დეფორმაციის (δ) სიხშირის (სიხისტის) ცვლილებისგან დამოკიდებულებით ფაზის მუშა რხევასთან თანხვედრის პირობებში



ნახ.2.8.5. δ (დეფორმაციების) და x (რხევების) ოსცილოგრამები სხვადასხვა სიხშირეების დროს.



ნახ. 2.8.6. ძირითად რეჟიმში (ω_x = 50 ჰც) ტვირთის სიჩქარე (V), ვერტიკალური გადაადგილება (Z_3) და ზედაპირის ნორმალური რეაქცია (N_z) დრეკადი მუშა ორგანოს დეფორმაციის (δ) სიხშირის (სიხისტის) ცვლილებისგან დამოკიდებულებით δ და x ფაზების დაძვრის პირობებში



ნახ. 2.8.7. ვიბრაციული სატრანსპორტო-დამხარისხებელი ტექნოლოგიური მოწყობილობა, (პატენტი [4]).: 1-ვიბრაციული ფსკერი გადით, 2-მიმღები კონტეინერი, 3-ელექტრომაგნიტური ვიბროაღმგზნები, 4-ვიბრაციული გადაადგილება, 5-ვიბრატორი, 6-ბუნკერი, 7-წყლის შემფრქვევი მოწყობილობა

მოწყობილობა შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისგან: ბუნკერი ვიბრატორით, ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მკვებავ-ტრანსპორტიორი ბადიანი ფსკერით, წყლის შემფრქვევი სისტემა; აქედან, ბუნკერის ვიბრატორი, საჭიროების შემთხვევაში, უზრუნველყოფს ბუნკერის სრულფასოვან დაცლას, ხოლო წყლის შეფრქვევა საჭირო იქნება შეწებებადი (შეკვრადი) თვისებების და მდგომარეობის მასალებისთვის მათი ბუნკერში ან ბუნკერის ყელში გაჭედვის შემთხვევაში.

მოწყობილობის ძირითადი ნაწილია – მუშა ორგანო ბადიანი ფსკერით, სადაც, როგორც აღინიშნა, ბადის გაზრდილი სიხისტე იძლევა გაუცრელი (დიდი ზომის ნაწილაკების) მასის შემდგომი ვიბრაციული გადაადგილების შესაძლებლობას (საკუთარი დრეკადი დეფორმაციების ხარჯზე) და მიწოდებას შემდეგ ოპერაციაზე.

ლიტერატურა

1. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ., მაჭავარიანი კ. ორტაქტა ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი. საქართველოს პატენტი # 114, "საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი", # 2, 1994.
2. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ., მაჭავარიანი კ. ფხვიერი მასალების ტრანსპორტირება ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მკვებავის გამოყენებით. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, ტ.I; გვ. 173-181; სსაუ, 1997.
3. ზვიადაური ვ., ნადირაძე თ., ჭელიძე მ., თუმანიშვილი გ., გოგია გ. პატენტი გამოგონებაზე „ვიბრაციული ტრანსპორტიორი“, GE P 2013 5794 B, საქპატენტი, 2013, ბიულეტენი 6(370).
4. ზვიადაური ვ., თუმანიშვილი გ., ნატრიაშვილი თ., სახვაძე დ., ნადირაძე თ. პატენტი გამოგონებაზე „მოწყობილობა ფხვიერი შეკავშირებადი მასალის ბუნკერიდან დოზირებული მიწოდების, ტრანსპორტირებისა და გაცრისათვის“. 2022, P 2022 7390 B, სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი 12(591)
5. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., ჯავახიშვილი გ., ქსოვრელი ზ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნები. საქართველოს პატენტი #P2611; გამოქვეყნების ბიულეტენი #23, 25.12.2001.
6. ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნები მიმდევრობით შეერთებული ცვლადი დენის გრაგნილებით. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ.XXX; გვ. 150-152; სსაუ, 2005.

7. ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ. უკუქცევით-წინსვლით ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნების ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშება. სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ II, #3(48); გვ 75-79; სსაუ, 2009.
8. ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ., მიდელაშვილი ე. რძის საწველი აპარატი ვაკუუმტუმბოს ვიბროამძრავით. სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ I, #4(45); გვ 70-72; სსსსუ, 2008.
9. ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ., მიდელაშვილი ე., ქსოვრელი ნ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნები. საქართველოს პატენტი # P 3108; გამოქვეყნების ბიულეტენი #20, 27.10.2002.
10. ჯავახიშვილი გ. ელექტრომაგნიტურ ვიბროამგზნებში დენების ფერომაგნიტური რეზონანსის დამყარების პირობები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ. XV; გვ. 107-112; სსაუ, 2001.
11. ჯავახიშვილი გ. ორტაქტა ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნებიანი მკვებავ-ტრანსპორტიორის გაანგარიშება ე.გ.მ-ის გამოყენებით. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ. XVI; გვ. 160-165; სსაუ, 2002.
12. ჯავახიშვილი გ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნების მუშაობის რეჟიმები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ.XXIV; გვ. 96-98; სსაუ, 2003.
13. ჯავახიშვილი გ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნების მაგნიტური გამტარი. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ.XXXII; გვ. 151-153; სსაუ, 2005.

14. ჯავახიშვილი გ. მუდმივი დენის შემაგნიტებიანი ორტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბროამგზნებში მიზიდვის ძალის საკითხისადმი. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული; ტ.XXXIV; გვ. 152-153; სსსსუ, 2006.
15. ჯავახიშვილი გ., დიდებულიძე ა. მარცვლეული კულტურების თესლის უკუქცევით-წინსვლითი ელექტრომაგნიტური ვიბროდამხარისხებელი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ხორბალი ევროპის ქვეყნებში და საქართველო, როგორც ხორბლის წარმოშობის ერთ-ერთი კერა“, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია, კონფერენციის შრომათა კრებული, თბილისი 2019.-გვ. 306-312.
16. ჯავახიშვილი გ., დიდებულიძე ა. უკუქცევით-წინსვლით ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმები. ჟურნალი „ენერგია“, სერია: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, # 4(96), თბილისი, 2020, II. - გვ. 40 – 45.
17. ჯავახიშვილი გ., დიდებულიძე ა. ენერგიის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი ცალნახევარპერიოდიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის გენერატორულ რეჟიმში. ჟურნალი „ენერგია“, სერია: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, # 2(98), თბილისი, 2021, II. - გვ. 15 – 19.
18. ჯავახიშვილი გ., ქსოვრელი რ. ორტაქტა ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნებით აღჭურვილი მკვე-

ბავ-ტრანსპორტიორის დაპროექტება. აკადემიის მოამბე #7; გვ. 121-125; თბილისი, 2000.
19. Didebulidze A., Javakhishvili G. Energy Conversion in an Electromagnetic Reciprocating Motor. „Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences", vol 13, # 2, 2019. – pages 49-57.
20. Javakhishvili G., Didebulidze A. Vibrocalibration of walnuts. Annals of Agrarian Science Vol.19, #3, 2021, – pages 204-210.
21. Javakhishvili G., Didebulidze A. Hazelnut calibrator based on electromagnetic vibration drive of reciprocating motion. International Scientific Conference „AGRICULTURAL MECHANIZATION ANDTECHNOLOGY IN EUROPE AND PERSPECTIVES", Union of European Academies for Science Applied toAgriculture, Food and Nature (UEAA); Georgian Academy of Agricultural Sciences (GAAS)", TBILISI, 2022.
22. Zviadauri V., Chelidze M., Tedoshvili M.. Dynamics of vibratory technological machines and processes. Monograph; Publisher: Lambert Academic Publishing Group, ISBN: 978-620-3-58109-6. 2021.
23. Zviadauri V., Tumanishvili G., Tsotskhalashvili M. Mathematical model of complex control of the vibratory transportation and technological process; Journ Marcetal of Vibroengineering, Vol. 22, Issue 8, p. 1770-1781. https://doi.org/10.21595/jve.2020.20793 , 20793 I BookSSN (Online) 2538-8460, 2020.
24. Джавахишвили Г. Вибрационная очистка корнеплодов. Аграрная наука. Ежемесячный научно-теоретический и

производственный журнал, ном. 11. Москва, 2005 г. стр. 14.
25. Джавахишвили Г. Электромагнитный виброустановка в виноделии. Международный сельскохозяйнственный журнал. ном. 1. Москва, 2006 г. стр. 50-51.
26. Звиадаури В. Динамика вибраценных транспортно-технологических машин; “Мецниереба”, 2001.
27. Ксоврели Р., Джавахишвили Г. Однотактный электромагнитный вибрационный погружной насос. Аграрная наука. Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал, ном. 12. Москва, 2005 г. стр. 26.
28. Ксоврели Р., Джавахишвили Г. Электромагнитные вибрационные погружные насосы. Известия аграрной науки, том 5, ном. 1. 2007г. стр. 108-109.

რეკომენდებულია გამოსაქვეყნებლად სსიპ რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ, ოქმი #4, 02.04.2025

კვლევა განხორციელდა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით.
გრანტის ნომერი - FR 24 -14148, პროექტის სახელწოდება – ვიბრაციული სატრანსპორტო-ტექნოლოგიური პროცესების კომპლექსური კვლევა და ახალი, მაღალეფექტური მოწყობილობების დაპროექტება.