

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

კაათა ბარბაქაძე

**წემის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდის
სრულყოფა**

სპეციალობა – "სარკინიგზო ტრანსპორტის ექსპლუატაცია"

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი
დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე უ ე რ ა ტ ი

თბილისი 2012 წ.

სადისერტაციო ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის
ელექტრული ტრანსპორტის №62 მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი
სერგო კარიპიდისი

რეცენზენტები: სრული პროფესორი
პეტრე ქენქაძე

ტ. მ. კ. უფრ. მეცნ. მუშაკი
არჩილ ზერეკიძე

დისერტაციის დაცვა შედგება 2012 წ. “-----“ -----, “-----“
საათზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო ----- კოლეგიის
სხდომაზე

მისამართი: 0175, ქ. თბილისი, კოსტავას 77, I კორპუსი,
აუდიტორია № -----

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ცენტრალურ სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში.

ავტორეფერატი დაიგზავნა “-----”-----2012 წ.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული
მდივანი, ასოცირებული პროფესორი

რ. ველიჯანაშვილი

სამუშაოს ზოგადი ღახასიათება

ნაშრომის აქტუალობა წვეის გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. რადგან მოძრაობის განტოლებები არაწრფივია და დღემდე მსგავსი განტოლებების ამოხსნა შეუძლებელია ისეთი ფორმით, როგორც ეს ხდება წრფივი დიფერენციალური განტოლებების შემთხვევაში, ბევრი სპეციალისტი მიმართავდა და დღესაც მიმართავს ყველა ტიპის მიახლოებით (ასიმპტოტურ) მეთოდებს. გარდა ამისა სხვადასხვა შეზღუდვების გამო, როგორიცაა ჩაჭიდება, წვეის ძრავის ველის შესუსტება და ა.შ. რეზულტირებული წვეის მახასიათებელის ნაწილს დამატებით ხდის არაწრფივი ფორმის მქონეს, რაც დამატებით პრობლემებს ქმნის ამოცანის გადაწყვეტისას. ამ მიზეზით, სამწუხაროდ, დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ძირითად მეთოდს წარმოადგენს გრაფო-ანალიზური (საანგარიშო-გრაფიკული) მეთოდები.

ელ. წვეის თეორიის შემსწავლელ ლიტერატურაში აღწერილია ეს მეთოდები როგორც ერთადერთი და უალტერნატივო. XXI საუკუნეში, როცა კომპიუტერული ტექნიკა მკვიდრდება ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში, აუცილებელია აქცენტი გაკეთდეს ახალ მეთოდებზე თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ ცნობილი გზით ამჩქარებელი და შემანელებელი ძალის აპროქსიმაცია ვერ უზრუნველყოფს რეალური მრუდის ზუსტ ცვლილებას და თანაც ინტეგრირების შედეგად საბოლოოდ მიგვივართ რთულ გამოსახულებებამდე, რომელიც უვარგისია გამოთვლითი პროცესის ჩასატარებლად, მათ შორის ე.გ.მ.-ის გამოყენებით, რთული მონაცემთა ბაზის გამო. დიდი რაოდენობის ცვლადების არსებობა მონაცემთა ბაზის ბიბლიოთეკაში და ამ ცვლადების საჭირო დროს სწორი ურთიერთკავშირის მოძიება ფაქტიურად შეუძლებელია კვალიფიციური პროგრამისტის გარეშე. დღეს არსებული ანალიზური გამოსახულებები არ არიან უნივერსალური ხასიათის მქონენი და ამჩქარებელი და შემანელებელი ძალების ფორმულები ას წელზე მეტია მოცემულია ხვედრით ერთეულებში (კგ/ტ). არსებული მეთოდებით გაანგარიშების წარმოება ე.გ.მ.-ზე საჭიროებს სპეციალური გადამყვანი კოეფიციენტების მოძიებას,

რომელიც დღემდე სსრკ-ის გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მიერ რეკომენდებულია ცხრილის სახით, რაც ასევე ერთგვარ პრობლემას ქმნის პროგრამირების პროცესში. ამ მიზეზთა გამო გაცილებით ადვილია ანალიზური მეთოდების ნაცვლად გრაფო-ანალიზური ან სუფთა გრაფიკული მეთოდებით ანგარიშების ჩატარება, რომლებიც სიზუსტით საკმარისია პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის.

აღნიშნულიდან გამომდინარე არსებული პრობლემის გადაწყვეტა და მარტივი და ზუსტი აპროქსიმაციის გზით მიღებული ანალიზური გამოსახულებების გამოყენება პრაქტიკულ ანგარიშებში ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მეტად აქტუალურ მეცნიერულ პრობლემას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანია ახალი ანალიზური მეთოდის სიზუსტის შემოწმება და მისი მეშვეობით წვეის გაანგარიშების ჩატარება ე.გ.მ.-ზე რაც სამომავლოდ საშუალებას მოგვცემს წვეის ანგარიშები ტრადიციული “მილიმეტროკების” ნაცვლად მარტივად, საკმარისი სიზუსტით ვაწარმოოთ თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების გამოყენებით.

მითითებული მიზნის მისაღწევად გადაჭრილ იქნა შემდეგი **ძირითადი ამოცანები**:

- შესწავლილ იქნა მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ყველა ცნობილი მეთოდი.
- გაანალიზებულ იქნა ცნობილი მეცნიერების მიდგომა ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაციის საკითხებში.
- დამუშავებულ იქნა წილად-წრფივი ფუნქციით ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაცია.
- აბსოლუტური ერთეულების ნაცვლად ფარდობითი ერთეულების გამოყენების მეთოდიკა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ანალიზურად გადაწყვეტისას.
- პრაქტიკულად რეალიზებულ იქნა თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მოძრაობის მრუდების აგების პროცესი.

კვლევის ობიექტი დაფუძნებულია მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირებაზე ანალიზური სახით, ისეთი ფორმით, რომ ის მოსახერხებელი იყოს საკმარისი სიზუსტით

მარტივად გაწარმოთ გაანგარიშებები თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერის გამოყენებით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე

- გაანალიზებულია მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების გრაფიკული და ანალიზური მეთოდები, გამოვლენილია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

- შეთავაზებულია სრულიად ახალი ანალიზური მეთოდი და დასახულია გზები აღნიშნული მეთოდის პრაქტიკული განვითარებისათვის.

- მიზანშეწონილია მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტა მოხდეს ფარდობით ერთეულებში, რათა შევამციროთ მოსალოდნელი შეცდომების ალბათობა და უარი ვთქვათ გადამყვანი კოეფიციენტების გამოყენებაზე, რომლებიც რეკომენდებულია ცხრილების სახით. ფარდობითი ერთეულების გამოყენება ამოხსნის შედეგებს უნივერსალური ხასიათის მქონედ აქცევს, ვარგისს ნებისმიერი გამოთვლებისათვის როგორც პერსონალური კომპიუტერის, ისე მინიატურული გამოთვლითი მანქანების გამოყენებით, რომლებსაც გააჩნიათ ელემენტალური ფუნქციები.

- ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაცია მოვახდინოთ წილად-წრფივი ფუნქციით, რომელიც სხვა ცნობილ ფუნქციებზე უკეთ ახდენს რეალური მრუდის ცვლილებას და საბოლოოდ ინტეგრირების შემდეგ მარტივად მივყავართ მარტივ გამოსახულებებამდე.

- თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მოყვანილია შეთავაზებული ანალიზური მეთოდით ელექტრული წევის ანგარიში.

დისერტაციის პრაქტიკული ღირებულება

ე.გ.მ.-ის გამოყენებით წევის გაანგარიშების საშუალებას იძლევა საბოლოოდ ვთქვათ უარი ე.წ. შაბლონების და “მილიმეტროვკების” გამოყენებაზე, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის შრომის ნაყოფიერებას, გაანგარიშების პროცესს ხდის საინტერესოს და არაა საჭირო მოვახდინოთ გეომეტრიული მანიპულაციებით მიღებული მრუდების საკმაოდ შრომატევადი ანალიზი. ე.გ.მ.-ი იძლევა საშუალებას უმოკლეს ვადაში მივიღოთ დამუშავებული სახით საჭირო ინფორმაცია და ამით დაგზოგოთ ძვირადღირებული დრო. მატარებლის მოძრაობის საჭირო

რეჟიმის არჩევა საშუალებას იძლევა ავტომატურ რეჟიმში განესაზღვროთ მოძრაობის დრო, მოხმარებული ელ. ენერგია, მივიღოთ ინფორმაცია ძრავის გახურების ტემპერატურაზე და, თუ საჭიროა, დროულად განვახორციელოთ მოძრაობის რეჟიმის ცვლილება, რათა შენარჩუნებულ იქნას ლოკომოტივის ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები.

ნაშრომის აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული და განხილულ იქნა: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 76-ე და 78-ე ღია სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციების სხდომებზე (2008, 2010წ.წ.); საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “ელექტრული ტრანსპორტის” №62 მიმართულების სხდომებზე (2008, 2009, 2010 წ.წ.)

პუბლიკაცია

დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, 2 ნაწილის, 2 თავის, დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან. ნაშრომი შეიცავს კომპიუტერზე დაბეჭდილ 154 გვერდს, მათ შორის 13 ცხრილს და 51 ნახაზს.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

შესავალში ნაჩვენებია ნაშრომის აქტუალობა, მიზანი, ძირითადი ამოცანები, მეცნიერული სიახლე და მოკლედ გადმოცემული სამუშაოს არსი.

პირველ თავში განხილულია და გაანალიზებულია არსებული ლიტერატურული წყაროები, რომელიც ეხება წვეის გაანგარიშების არსებულ მეთოდს და მოიცავს მატარებლის მოძრაობის განტოლების რაობას, მბრუნავი ნაწილების ინერციის კოეფიციენტის განსაზღვრას, მოძრაობის განტოლების გარდაქმნას პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის. საუბარია მატარებლის მოძრაობის განტოლების გამოყენებაზე მოძრაობის რეჟიმების ანალიზისათვის, მოყვანილია

მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების საერთო პრინციპები და განხილულია მოძრაობის განტოლების ინტეგრირების საკითხები.

მეორე თავში მოყვანილია წევის გაანგარიშების შეთავაზებული მეთოდი, როგორც ფარდობით, ისე აბსოლუტურ ერთეულებში გამოთვლების ჩატარების დროს და აღწერილია მათი მეთოდოლოგია.

ფარდობითი ერთეულები გაცილებით ამარტივებენ დიფერენციალური განტოლებების სისტემას, რომელიც აღწერს გამოსაკვლევ ფიზიკურ პროცესს. აღნიშნულის მეშვეობით მინიმუმამდე დაიყვანება განტოლებაში შემავალი პარამეტრების რაოდენობა, რაც გარკვეულწილად ამარტივებს რიცხობრივ გაანგარიშებას, ამასთან შეცდომების აღბათობა გაცილებით მცირდება, რადგანაც ყოველი სიდიდის განლაგება ჩვეულებრივ ცნობილია. როგორც წესი, ამ შემთხვევაში გამოსაკვლევი სიდიდის მნიშვნელობა ერთთან ახლოსაა, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ე.გმ.-ის გამოყენებისას. უგანზომილებო სიდიდეების უბრალო ჩასმები იძლევა გაცილებით მეტ ინფორმაციას მოვლენების არსის შესახებ, რომელიც მიმდინარეობს ამა თუ იმ ობიექტში, ვიდრე განზომილებიანი სიდიდეების ანალიზი. ანალიზური ან გრაფიკული გადაწყვეტა ამოსავალი დიფერენციალური განტოლებისა ფარდობით ერთეულებში ხდის ამოხსნის რეზულტატებს უნივერსალურს, ვარგისს გაანგარიშების მრავალი ვარიანტისათვის.

საყოველთაოდ ცნობილია ფარდობითი ერთეულების გამოყენება მსგავსების თეორიაში ამ დროს ცვლადების საბაზისო მნიშვნელობებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მათი ნომინალური სიდიდეები, ანდა სხვა სიდიდეები, რომელიც ახასიათებს სისტემის ამა თუ იმ რეჟიმს (მაგალითად სათაური) ჩვენს შემთხვევაში ფარდობით ერთეულებში გადასვლა პრინციპში შესაძლებელია განვახორციელოთ უშუალოდ ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნიდან, ჩაწერილს აბსოლუტურ ერთეულებში, შესაბამისი ცვლადის გაყოფით საკუთარ ბაზისურ მნიშვნელობაზე. თუმცა ასეთი გადასვლა რამდენადმე ართულებს ამოცანას, რადგანაც დღემდე არსებული ემპირიული ფორმულები ხვედრითი ძალებისათვის წინააღმდეგობა "W" და დამუხრუჭება "B" მოიცემა ხვედრით ერთეულებში კგძ/ტ. ამ მიზეზით მიზანშეწონილია

ფარდობით ერთეულებზე გადასვლა, გამოვდივართ რა ხვედრითი ძალებისათვის დაწერილი განტოლებებიდან.

ჩვენს შემთხვევაში ფარდობით ერთეულებში გადასვლა პრინციპში შესაძლებელია განვახორციელოთ უშუალოდ ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნიდან, რომელიც ჩაწერილია აბსოლუტურ ერთეულებში, შესაბამისი ცვლადის გაყოფით საკუთარ ბაზისურ მნიშვნელობაზე. თუმცა ასეთი გადასვლა რამდენადმე ართულებს ამოცანას, რადგანაც დღემდე არსებული ემპირიული ფორმულები ხვედრითი ძალებისათვის წინააღმდეგობა „W“ და დამუხრუჭება „B“-თვის მოიცემა ხვედრით ერთეულებში კგძ/ტ. ამ მიზეზით მიზანშეწონილია გადასვლა ფარდობით ერთეულებზე, გამოვდივართ რა ხვედრითი ძალებისათვის დაწერილი განტოლებებიდან:

$$10^3 \cdot \frac{(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{F-W}{P+Q} = f-W \quad (1)$$

$$10^3 \cdot \frac{(1+\gamma)}{g} \cdot V \cdot \frac{dv}{ds} = \frac{F-W}{P+Q} = f-W \quad (2)$$

სადაც V, S, F, W – სიჩქარის, გავლილი მანძილის, წევის ძალის და მატარებლის ძირითადი წინააღმდეგობის აბსოლუტური მნიშვნელობებია; P, Q – ლოკომოტივის და ვაგონის მასაა ტ;

თუ მივიღებთ აღნიშვნებს:

$$\begin{aligned} \frac{F}{F_6} &= \frac{f}{f_6} = f^*; & \frac{W}{f_6} &= W^* \\ y &= \frac{v}{v_6}; & x &= \frac{S}{S_6}; & f &= \frac{F_6}{P+Q}; & \frac{dx}{d\tau} &= y; \\ T_M &= \frac{10^3 \cdot (1+\gamma)}{g} \cdot \frac{V_6}{f_6}; & S_6 &= V_6 \cdot T_6; & \tau &= \frac{t}{T_M}; \end{aligned} \quad (3)$$

(1) და (2) განტოლებებიდან ფარდობით ერთეულებში, როგორც არაწრფივ სისტემათა თეორიაშია მიღებული შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{dy}{d\tau} = f^* - W^* = Q(x, y) \quad (4)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = P(x, y) = y \quad (5)$$

$$y = \frac{dy}{dx} = f^* - W^* = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)} \quad (6)$$

(4) და (6) ში : *-სათვის აუცილებელია მხედველობაში გვქონდეს:

$$W^* = \frac{W}{F_6} = \frac{a + b \cdot V + c \cdot V^2}{F_6} = \frac{a}{f_6} + \frac{b}{f_6} V_6 \cdot y + \frac{C \cdot V_6^2}{f_6} \cdot y^2 = a_1 + b_1 \cdot y + C_1 \cdot y^2 \quad (7)$$

$$\text{სადაც } a_1 = \frac{a}{f_6}; \quad b_1 = \frac{b}{f_6} V_6; \quad c_1 = \frac{c}{f_6} V_6^2$$

როგორც (4) და (6)-დან ჩანს, მათში არ არის არანაირი კოეფიციენტი. ფიზიკური სიდიდეების საჭირო ერთეულებში მისაღებად საჭიროა ვისარგებლოთ (3) გამოსახულებით. ასე მაგალითად, თუ აჩქარება $g=9,81\text{მ/წმ}^2$ -ს გავზომავთ კმ/სთ^2 -ში, მაშინ T_M გამოჩნდება რიცხვი 127000 ნაცვლად 9,81-ის, შეიცვლება ასევე $S = V_6 \cdot T_6$

რა ერთეულებში იქნება გამოსახული ბაზისური სიდიდეები, იმავე ერთეულებში იქნებიან თავად ცვლადები. გარდა ამისა, გრაფიკულ და გრაფო-ანალიზური ხერხებით ამოხსნა (4) (6)-ის არაა საჭირო. არაა აუცილებელი მასშტაბების შერჩევა, რადგანაც ყველა ცვლადი გამოსახულია წილობრივ ერთეულებში და აქვთ ერთი და იგივე მასშტაბი. გამოსახულება (6) წარმოადგენს ფიზიკური ტრაექტორიის დიფერენციალურ გამოსახულებებს, ფიზიკურ Y და X სიბრტყეში და მათი ამონახსნი მთლიანად დამოკიდებულია ფუნქციაზე $\frac{Q(x, y)}{P(x, y)}$. იმ შემთხვევაში, როცა

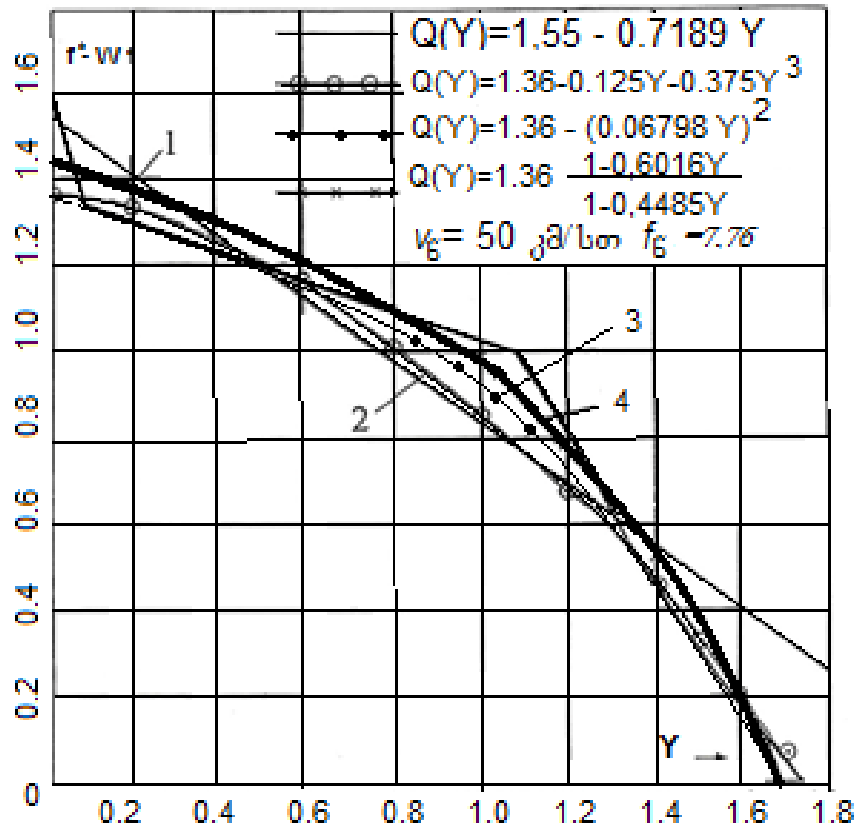
ანალიზურად (6) შეუძლებელია ამოვხსნათ, მაშინ მიმართავენ ცნობილ გრაფო-ანალიზურ მეთოდს იზოკლინას ან “დელტა” მეთოდს რომელიც ფართოდ გამოიყენება არაწრფივი სისტემების გამოკვლევაში.

ამოცანის ანალიზური გადაწყვეტისათვის აუცილებელია შეირჩეს მარტივი ფუნქცია, რომელიც კარგად მოახდენს არაწრფივი დამოკიდებულების აპროქსიმაციას.

$Q(Y) = f^* - W^*$ ამასთან მარტივად ინტეგრირდება და იძლევა საშუალებას ინტეგრირების შემდეგ მივიღოთ მარტივი ფორმულები, შესაბამისად ჩატარდეს მარტივი გაანგარიშებები.

სხვადასხვა დროს, სხვადასხვა ავტორის მიერ შეთავაზებულ იქნა სხვადასხვა ფუნქციები, რომლებიც მთლიანად ან ნაწილობრივ ახდენდა

$Q(Y)$ არაწრფივი დამოკიდებულების აპროქსიმაციას მაგალითად, მთლიანად წრფის, სამწევრა პარაბოლის და ა.შ. სახით. ყველა ამ მეთოდმა დღემდე ვერ ნახა პრაქტიკული გამოყენება უზუსტობის და საბოლოო ფორმულების სირთულის გამო.



ნახ. 1. წევის მახასიათებელი ფარდობით ერთეულებში და მისი აპროქსიმაციის სხვადასხვა ვარიანტი

ნახ. (1)-ზე კოორდინატებში ($f^* - W^*$) და Y ფარდობით ერთეულებში მოყვანილია БЛ10 ელექტრომავლის $Q(Y)$ დამოკიდებულება შემადგენლობის საერთო წონით 5000ტ (ცხიმოვანი რელსი). აქვე ნაჩვენებია $Q(Y)$ -ის ერთი წრფით ($f_m - k \cdot y$) და პარაბოლით $a' \cdot y^2 + b' \cdot y + c'$ (მრუდი 2). როგორც სურათიდან ჩანს, ნაჩვენები მრუდები შორსაა რეალური დამოკიდებულებისაგან $Q(Y)$.

სადისერტაციო ნაშრომში შეთავაზებულია წილად-წრფივი ფუნქციის გამოყენება, რომელიც სხვა ფუნქციებზე უკეთ ახდენს არაწრფივი $Q(Y)$ დამოკიდებულების აპროქსიმაციას და ინტეგრირების შემდეგ გვაძლევს მარტივ გამოსახულებებს, რომელიც მოსახერხებელია

გამოთვლების ჩასატარებლად თანამედროვე კალკულატორის გამოყენებით, რომლებსაც გააჩნია ელემენტალური ფუნქციები. მითითებულ ფუნქციას შემდეგი სახე აქვს:

$$Q(y) = f_m \cdot \frac{1 - a \cdot y}{1 - b \cdot y} \quad (8)$$

სადაც f_m , a და b კოეფიციენტები, განისაზღვრება საცდელი წერტილების საფუძველზე შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$b = \frac{f_0}{(f_2 - f_1)} \cdot \frac{A_1 \cdot y_2 - A_2 \cdot y_1}{y_1 \cdot y_2}; \quad a = \frac{1}{y_1} \left[A_1 + \frac{f_1}{f_0} \cdot y_1 \cdot b \right] \quad (9)$$

$$\text{სადაც } A_1 = \frac{f_0 - f_1}{f_0}; \quad A_2 = \frac{f_0 - f_2}{f_0};$$

$$f_0 \text{ განისაზღვრება (8)-დან, როცა } y=0; \quad f = f_0$$

როგორც ნახ. 2.1-დან ჩანს, მრუდი, რომელიც შეესაბამება (8), ძალიან ახლოსაა $Q(Y)$. ქანობის გათვალისწინება (8)-ში ხდება შემდეგი გამოსახულების საფუძველზე:

$$Q(y) \pm i = f_0 \cdot \frac{1 - a \cdot y}{1 - b \cdot y} \pm i \quad (10)$$

უბრალო გარდაქმნების ჩატარებით (7 . 10) საბოლოოდ მივიღებთ:

$$Q(y) \pm i = f_{0i} \cdot \frac{1 - a_i \cdot y}{1 - b \cdot y} \quad (11)$$

სადაც

$$f_{0i} = (f_0 \pm i); \quad a_i = \frac{f_0 \cdot a \pm i \cdot b}{f_0 + i} \quad (12)$$

გამოსახულება (11) გულისხმობს იმას, რომ ქანობების შემთხვევაში $\pm i$ (8) გამოსახულებაში საჭიროა (12)-დან განესაზღვროთ მხოლოდ f_0 და a .

დღემდე არსებული წევის გაანგარიშების გრაფიკული მეთოდები, რომლებსაც გვთავაზობს წევის გაანგარიშების წესები, საკმარისად ზუსტია, ამიტომ ჩვენს მიერ შეთავაზებული წმინდა ანალიზური მეთოდით მიღებული შედეგები შედარებულ იქნება წ.გ.წ.-ის მეთოდთან. თუ (8) ჩავსვამთ (4) და (6)-ში, ინიტეგრირების შემდეგ საწყისი პირობების გათვალისწინებით, საერთო შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\Delta \tau = \frac{1}{a^2 \cdot f_m} \cdot \left[(b-a) \cdot \ln \frac{1-a \cdot y}{1-a \cdot y_0} + b \cdot (a \cdot y - a \cdot y_0) \right] \quad (13)$$

$$\Delta x = \frac{1}{a^3 \cdot f_m} \cdot \left[(b-a) \cdot \ln \frac{1-a \cdot y}{1-a \cdot y_0} + (b-a) \cdot (a \cdot y - a \cdot y_0) + \frac{b}{2} \cdot ((a \cdot y)^2 - (a \cdot y_0)^2) \right] \quad (14)$$

სადაც Y_0 ფარდობითი სიჩქარის საწყისი მნიშვნელობაა.

დამოკიდებულებები $x = \varphi(Y)$ და $\tau = f(Y)$, რომლებიც განსაზღვრულია (13) და (14)-ში, მოყვანილია ნახ. 2-ზე და აღნიშნულია “ჯვრებით”, გრაფიკული გზით მიღებული იგივე მონაცემები მრუდზე ასახულია “წერტილებით”.

x -ის დამოკიდებულება τ დროზე, შესაძლოა განისაზღვროს გრაფიკული მეთოდით, გამოვლივართ რა ორი მრუდიდან $x = \varphi(Y)$ და $\tau = f(Y)$ -დან, (13) და (14)-ის საფუძველზე.

ცალკე შემთხვევაში, საჭიროებისას, ეს დამოკიდებულებები ასევე შეიძლება მივიღოთ გრაფო-ანალიზური მეთოდით $x = \varphi(Y)$ მრუდიდან დამოკიდებულების საფუძველზე:

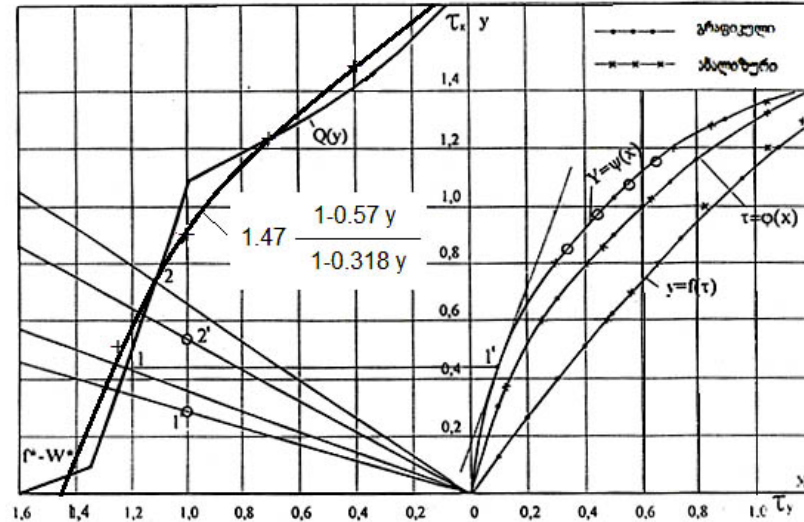
ეს დამოკიდებულებები ასევე შეიძლება მივიღოდ გრაფო-ანალიზური მეთოდით $y=f(x)$ მრუდიდან. დამოკიდებულებების საფუძველზე:

$$\frac{\Delta x}{Y_{\text{საშ}}} = \Delta \tau \quad (15)$$

ნახ. (2)-ზე (4) და (6) ანალიზური და გრაფიკული მეთოდით მიღებული შედეგების ანალიზი აჩვენებს მათ კარგ დამთხვევას.

თვალსაჩინოებისათვის ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილ. 1-ში, საიდანაც ასევე ჩანს მათი კარგი დამთხვევა.

ამ შემთხვევაში სამუხრუჭო ამოცანის გადაწყვეტა ხდება, ასევე დიფერენციალური განტოლების (4), (5) და (6)-ის ინტეგრირებით, რომლებიც ასევე არაწრფივია.



ნახ. 2. გრადიკული და შეთავაზებული ანალიზური ფორმულებით მიღებული $x = f(Y)$ და $\tau = f(Y)$ მრუდები

ცხრილი 1

წვეის რეჟიმის გაანგარიშება

Q(Y)	y	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$f_m \cdot \frac{1-ay}{1-by}$	τ	0	0.1478	0.304	0.468	0.832	1.055	1.055	1.353
	x_2	0	0.0149	0.0617	0.1437	0.438	0.682	0.682	1.076
გრად.	τ_5	0	0.15	0.3	0.47	0.84	1.08	1.08	1.37
	x_5	0	0.025	0.07	0.17	0.47	0.7	0.7	1.15

სამუხრუჭო ამოცანის გადაწყვეტისას $Q(Y)$ ფუნქციის ნაცვლად გვექნება:

$$Q(Y) = W^* + b^* \pm i^*$$

W^* -სათვის ჩვენს მიერ დაწერილია ანალიზური გამოსახულება (7) ფარდობით ერთეულებში.

მოვნახოთ ანალიზური გამოსახულება b^* , რომელიც ტოლი იქნება:

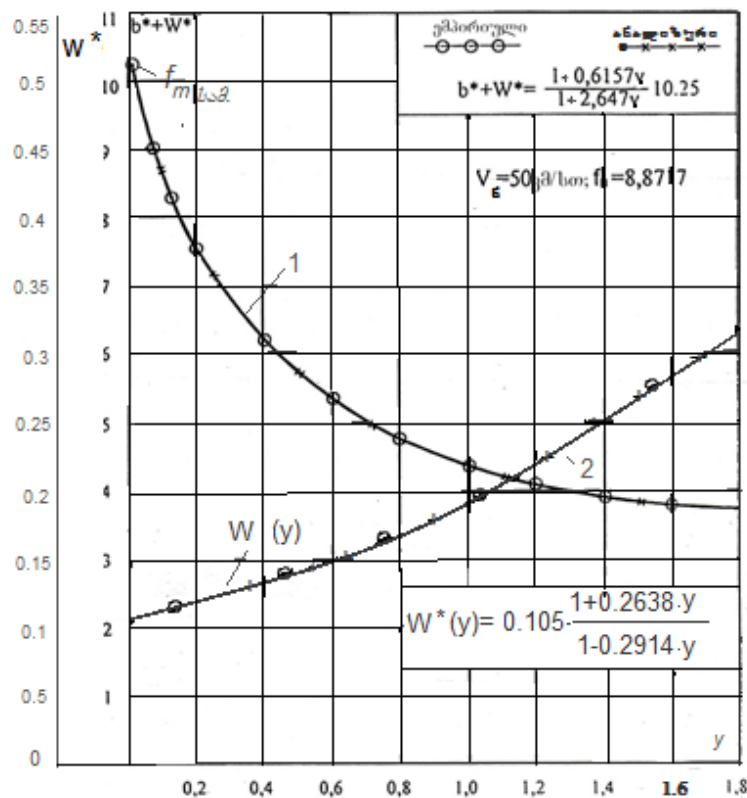
$$b^* = \frac{b}{f_6} = \frac{\varphi \cdot \vartheta \cdot 10^3}{f_6} = 0.27 \cdot \frac{V+100}{5 \cdot V+100} \cdot 0.33 \cdot \frac{10^3}{f_6}$$

$$b^* = \frac{90}{f_6} \cdot \frac{V_H \cdot Y + 100}{5 \cdot V_6 \cdot Y + 100} = \frac{90}{f_6} \cdot \frac{Y+2}{5 \cdot Y+2} \quad (16)$$

ჩავსვათ (7) (16)-ში და ავაგოთ დამოკიდებულება W^*+b^* ფარდობით სიჩქარესთან Y .

ეს მრუდი მოცვანილია ნახ. 3-ზე.

ბევრი სხვა ავტორისაგან განსხვავებით, რომლებიც უშუალოდ სვამენ ანალიზურ გამოსახულებას (W^*+b^*) ძირითად დიფერენციალურ განტოლება (7)-ში და ინტეგრირების შედეგად იღებენ რთულ ფორმულებს, რომელთა გამოყენებაც დაკავშირებულია დიდი მოცულობის გამოთვლით სამუშაოებთან, ჩვენ გამოთვლების გამარტივებისათვის W^*+b^* მრუდს შევცვლით წილად-წრფივი ფუნქციით, რომლის ჩასმაც (4) და (5)-ის ინტეგრირების შედეგად გვაძლევს შედარებით მარტივ გამოსახულებებს.



ნახ. 3. ემპირიულად და ანალიზურად მიღებული $Y=f(W^*+b^*)$ და $Y=f(W^*)$ შემანელებელი ძალის მრუდები

მოვახდინოთ $W^*+b^*=Q(Y)$ დამოკიდებულების აპროქსიმაცია:

$$Q_{\text{სამ.}} = W^* + b^* = f_{m_{\text{სამ.}}} \cdot \frac{1 + m \cdot y}{1 + n \cdot y} \quad (17)$$

სადაც $f_{m,სამ}$, m და n – მუდმივებია, რომლებიც განისაზღვრება ცნობილი მეთოდით $Q_{სამ}(Y)$ მრუდიდან და შეესაბამება, ანალოგიურ გამოსახულებას (9)-ს:

$$n = \frac{f_{m,სამ}}{f_2 - f_1} \cdot \frac{A_1 \cdot y_2 - A_2 \cdot y_1}{y_1 \cdot y_2} ; m = \frac{1}{y_1} \cdot \left[A_1 + \frac{f_1}{f_{m,სამ}} \cdot n \cdot y_1 \right], \quad (18)$$

სადაც $A_1 = \frac{f_1 - f_{m,სამ}}{f_{m,სამ}} ; A_2 = \frac{f_2 - f_{m,სამ}}{f_{m,სამ}}$

გადასარბენზე ქანობების არსებობის შემთხვევაში:

$$W^* + b^* \pm i = f_{m,i} \cdot \frac{1 + m_i \cdot y}{1 - n \cdot y} \quad (19)$$

$$f_{სამ,i} = (f_{m,სამ} \pm i) ; m_i = \frac{f_{m,სამ} \cdot m \pm i \cdot n}{f_{m,სამ} \pm i} \quad (20)$$

როგორც ეს ჩანს (19) და (20)-დან, აღნიშნული გამოსახულებები იმეორებენ (11) და (12) გამოსახულებებს.

ნახ. 3-ზე წერტილები, რომლებიც შეესაბამება $Q_{სამ}(Y)$ -ს, აღნიშნულია წრეებით და წერტილებით, რომლებიც შეესაბამება (24)-ს, აღნიშნულია “ჯერებით”. როგორც ნახაზიდან ჩანს, დამოხვევა იდეალურია.

(17)-ის ჩასმით (4) და (6)-ში და ინტეგრირებით საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\Delta \tau = \frac{1}{m^2 \cdot f_{m,სამ}} \cdot \left[n \cdot (m \cdot y_0 - m \cdot y) - (n - m) \cdot \ln \frac{1 + m \cdot y_0}{1 + m \cdot y} \right] \quad (21)$$

$$\Delta x = \frac{1}{m^3 \cdot f_{m,სამ}} \cdot \left[(m - n) \cdot (m \cdot y_0 - m \cdot y) - (n - m) \cdot \ln \frac{1 + m \cdot y_0}{1 + m \cdot y} + \frac{n}{2} \cdot ((m \cdot y_0)^2 - (m \cdot y)^2) \right] \quad (22)$$

Y -ის დამოკიდებულება τ და x ცვლადებზე, (21) და (22)-ის საფუძველზე. ჩატარებული ანგარიშის შედეგი მოყვანილია ცხრილ 2-ში. თვალსაჩინოებისათვის აღნიშნული გამოსახულების ანგარიშის შედეგი მოყვანილია ნახ. 4-ზე მრუდი 1 და მრუდი 2-ის სახით.

დამუხრუჭება

Y	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
τ	0	0.051	0.102	0.149	0.194	0.237	0.275	0.31	0.333
x	0	0.088	0.163	0.22	0.27	0.313	0.34	0.36	0.37

გორვის რეჟიმის გაანგარიშება

ამ შემთხვევაში მატარებლის ძირითადი წინააღმდეგობა იქნება $W^* \pm i^*$. (7) ჩასმით (4) და (5)-ში იტეგირების შემდეგ $4c_1 a_1 \geq b_1^2$ გათვალისწინებით მივიღებთ ამოცანის ზუსტ გადაწყვეტას, თუმცა ამ შემთხვევაში ანალიზური გამოსახულებები მიიღება რთული, რაც არ იძლევა შესაბამისად მარტივად τ და x -ის გამოთვლის საშუალებას, სხვა რომელიმე i^* ქანობის დროს, ნახ. 4-ზე მოყვანილი მრუდი 1 და მრუდი 2-ის გამოყენებით. ცნობილ სირთულეებს, რომლის შესახებაც ვისაუბრეთ თავის დასაწყისში, შეიძლება გვერდი აუაროთ, თუ მრუდ $W^*(y)$ ფუნქციას, როგორც წვეის და სამუხრუჭო რეჟიმის შემთხვევაში შევცვლით ანალიზური გამოსახულებით წილად-წრფივი ფუნქციის სახით.

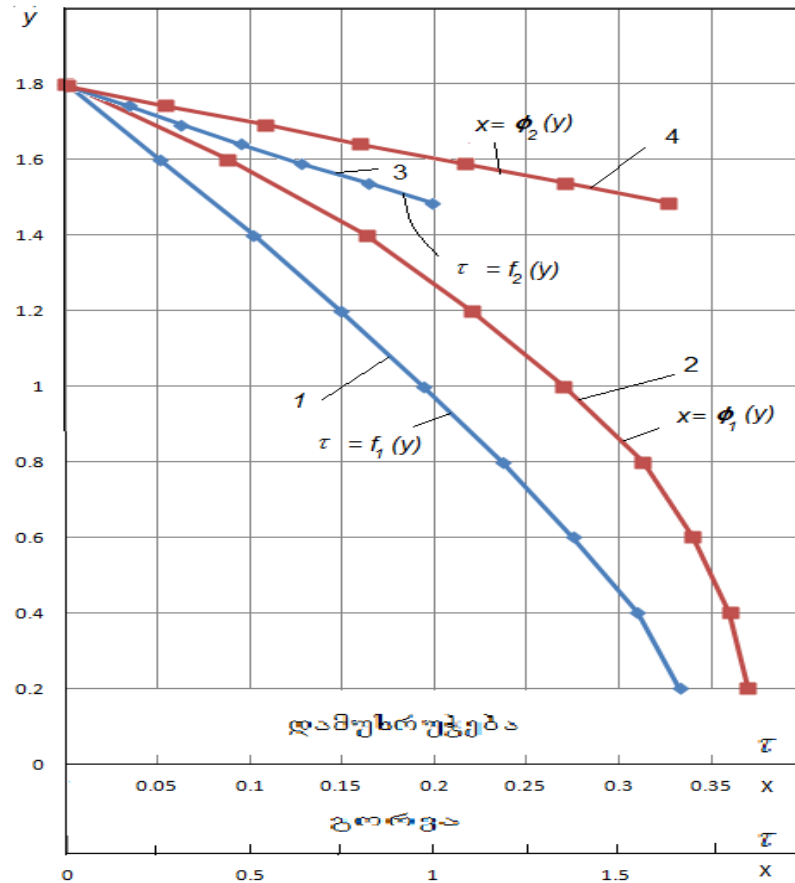
თუ ჩავსვამთ რიცხობრივ მნიშვნელობებს a_1, b_1, c_1 , (7)-ში, გარდაქმნების შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$W^*(y) \pm i^* = 0.105 + 0.03776 \cdot y + 0.0479 \cdot y^2 \quad (23)$$

აქ აუცილებელია აღინიშნოს, რომ (23)-ში უგულებელყავით სხვაობა a, b და c კოეფიციენტებს შორის წვეის და გორვის რეჟიმის დროს.

ნახ. 3-ზე, მრუდი 2, რომელიც შეესაბამება (23)-ს, როცა $i^* = 0$. აღნიშნული მრუდის ზუსტი აპროქსიმაცია შესაძლებელია მოვახდინოთ ანალიზური გამოსახულებით

$$W^*(y) = W_0 \cdot \frac{1 + m_1 \cdot y}{1 - n_1 \cdot y} \quad (24)$$



ნახ. 4. τ და x -ის y -ზე დამოკიდებულების უნივერსალური მრუდები დამუხრუჭებისას და გორვის დროს

წერტილები, რომლებიც შეესაბამება (24) გამოსახულებას, როცა $W_0=0,105$; $m_1=0,2638$; $n_1=0,2914$, აღნიშნულია „ჯერებით“. როგორც ჩანს დამთხვევა იდეალურია.

m_1 და n_1 კოეფიციენტები განისაზღვრება საცდელი წერტილების მეშვეობით შემდეგი დამოკიდებულებების საფუძველზე:

$$n_1 = \frac{W_0}{W_1^* - W_2^*} \cdot \frac{A_1 \cdot y_2 - A_2 \cdot y_1}{y_1 \cdot y_2}; \quad m_1 = \frac{1}{y_1} \cdot \left[A_1 - \frac{W_1^*}{W_0^*} \cdot n_1 \cdot y_1 \right], \quad (25)$$

სადაც $A_1 = \frac{W_1^* - W_0}{W_0}$; $A_2 = \frac{W_2^* - W_0}{W_0}$.

$\pm i$ ქანობის შემთხვევაში გამოსახულება (24) ექნება შემდეგი სახე:

$$W_i^*(y) = W_{0i} \cdot \frac{1 + m_{li} \cdot y}{1 - n_i \cdot y} \quad (26)$$

$$W_{0,i} = (W_0 \pm i) ; \quad m_{1i} = \frac{m_1 \cdot W_0 \mp n_1 \cdot i}{(W_0 \pm i)} \quad (27)$$

(24)-ის ჩასმით ამოსავალ დიფერენციალურ განტოლებებში (4) და (6)-ში საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობების გათვალისწინებით ინტეგრირების შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\tau = \frac{1}{m_1^2 \cdot W_0} \left[(m_1 + n_1) \cdot \ln \frac{1 + m_1 \cdot y_0}{1 + m_1 \cdot y} - n_1 \cdot (m_1 \cdot y_0 - m_1 \cdot y) \right] \quad (28)$$

$$x = \frac{1}{m_1^3 \cdot W_0} \left[(m_1 + n_1) \cdot (m_1 \cdot y_0 - m_1 \cdot y) - (m_1 \cdot n_1) \cdot \ln \frac{1 + m_1 \cdot y_0}{1 + m_1 \cdot y} - \frac{n_1}{2} \cdot ((m_1 \cdot y_0)^2 - (m_1 \cdot y)^2) \right] \quad (29)$$

როგორც (13), (14), (21), (22) და (28), (29) ფორმულებიდან ჩანს სტრუქტურის მიხედვით ისინი სავსებით ერთნაირია, მიუხედავად იმისა, რომ მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმებს აღწერენ. განსხვავება მხოლოდ ნიშნებშია და მუდმივი კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობებში, რომლებიც შედიან ამ ფორმულებში. ზემოთ აღნიშნული წარმოადგენს ჩვენს მიერ მოყვანილი ანალიზური მეთოდის მნიშვნელოვან უპირატესობას, წვეთის გაანგარიშების ჩატარების დროს.

(28) და (29)-ის საფუძველზე τ და x -ის დამოკიდებულება y -ზე, რომელიც მოყვანილია ნახ. 4-ზე, მრუდი 3 და მრუდი 4, გამოთვლილი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილ 3-ში.

ცხრილი 3

გორვა

Y	1.8	1.75	1.7	1.65	1.6	1.55	1.5
τ	0	0.1694	0.3128	0.475	0.643	0.824	1.0
x	0	0.267	0.5433	0.8	1.09	1.365	1.645

ასევე განხილულია განხილულია თანამედროვე ე.გ.მ.-ზე წვეთის გაანგარიშების ჩატარების პროცედურა. პრაგრაფი MathCad 14-ის და მასში Excel-ის ელემენტების გამოყენებით შექმნილია სრულიად ახალი კომპიუტერული პროგრამა. ნახ. 5-ზე ნაჩვენებია $v(s)$ დამოკიდებულების აგება. მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ხდება მოძრაობის

რეჟიმების შესაბამისი ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით. ვირტუალურ ღილაკზე „პროცესის დაწყება“ „Click“-ით ეკრანზე გრაფიკულად მოიცემა გზის მუშა პროფილი (მრუდი 1) რომელზეც წარმოებს მატარებლის შემდგომი მოძრაობა მოცემული მიმართულებით. აღნიშნულის ვიზუალიზაცია ეხმარება ოპერატორს გზის პროფილის ელემენტის გათვალისწინებით მარტივი „Click“-ის მეშვეობით აირჩიოს მოძრაობის შესაბამისი (წვეა, თავისუფალი გორვა, სამოსამსახურეო ან ექსტრემალური დამუხრუჭება) რეჟიმი. $v(s)$ დამოკიდებულება (მრუდი 2) აიგება ვირტუალურ ღილაკებზე ოპერატორის მანიპულაციებით. აგების ოპტიმიზაციისათვის ოპერატორს, რომ არ მოუწიოს ყოველი $h=1$ კმ/სთ ბიჯით მიღებული ΔS და Δt მნიშვნელობებით გრაფიკული ასახვისათვის „Click“-ის გაკეთება, გონივრულია მოხდეს რამდენიმე მნიშვნელობის ΔS და Δt შეკრება და მისი ერთ „Click“-ში მოქცევა. აღნიშნული ისე უნდა განხორციელდეს, რომ „Click“-ის ბიჯი იყოს ოპტიმალური და ოპერატორს აძლევდეს იმის საშუალებას აკონტროლოს მოძრაობის მრუდის აგების პროცესი. ჩვენს შემთხვევაში გამოიყენება „Click“-ის $h=5$ კმ/სთ-ს ბიჯი, რაც ნიშნავს იმას, რომ რომელიმე მოძრაობის რეჟიმის შესაბამის ვირტუალურ ღილაკზე ერთი „Click“-ით ხორციელდება ΔS და Δt ერთდროულად $[v_0v]$ -ს ხუთი სიჩქარის მნიშვნელობისათვის ნაანგარიშები ΔS და Δt ჯამის ერთ „Click“-ში გაერთიანება და ასეთი სახით მიღებული შედეგების გამოყენება.

ნახ. 5-ზე ნაჩვენები ვირტუალური ღილაკის „Stop 1“ და „Stop 2“ არჩევით ხორციელდება სადგურის ღიანდაგებში შემადგენლობის გაჩერების პროცესის მართვა (იხ. მრუდი 3) აღნიშნული დამუხრუჭების მრუდი აიგება სამოსამსახურეო დამუხრუჭების მონაცემების მეშვეობით მრუდის ზედა შეზღუდვა ვრცელდება მატარებლის კონსტრუქციული $v_{კონ}$ სიჩქარით. მრუდი 3-ის და მრუდი 2-ის გადაკვეთა როგორც გრაფიკული მეთოდით დროს ხდება ასრულებს $v(s)$ დამოკიდებულების ფორმირებას. „Stop 1“ ღილაკის გამოყენებით მატარებლის გაჩერება წარმოებს მთავარ ღიანდაგზე. მაშინ როცა მატარებელზე ვრცელდება სიჩქარეთა შეზღუდვა ისარზე მოძრაობისას, ვსარგებლობთ „Stop 2“ ღილაკით. v_0 და v -ის „Textbox“-ში შეგვყავს ისართან მიახლოების და

მასზე უსაფრთხოდ მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელობები, საისრე მანძილის $L_{ისარი}$ და $L_{მატ}$ მატარებლის სიგრძე (მ). აღნიშნული მოქმედება იძლევა იმის საშუალებას, რომ მოვახდინოთ მატარებლის გაჩერება პრაქტიკაში მიღებული ნებისმიერი სცენარით. რაც პროგრამის უნივერსალურობაზე და მის დადებით მხარეზე მიუთითებს.

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება წმინდა გრაფიკული ან გრაფო-ანალიზური სახით $v(s)$, $v(t)$ ან $t(s)$ დამოკიდებულებების განსაზღვრას ემყარება. საზოგადოდ მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულების გაანალიზებით ხდება საჭირო ინფორმაციის მიღება, რაც მეტად საპასუხისმგებლო და ამასთან დამღლელი პროცესია. ერთია $v(s)$ დამოკიდებულების გრაფიკული აგება, რაც ქმნის მატარებლის მოძრაობის ვიზუალურ სურათს სხვადასხვა რეჟიმში მისი მოძრაობისას და მეორე, როცა გეომეტრიული მანიპულაციებით აიგება $v(t)$ ან $t(s)$ დამოკიდებულებები იმ მიზნით, რომ შემდეგ გრაფიკულად აგებული მრუდების გაანალიზებით მივიღოთ ინფორმაცია მოძრაობის დროის შესახებ. როცა ციფრული სახით პირდაპირ შესაძლებელია საჭირო ინფორმაციის მიღება, არაა აუცილებელი $v(t)$ ან $t(s)$ დამოკიდებულებების აგება და ამით ნახაზის გადატვირთვა. მოძრაობის დროის შესახებ სრული ინფორმაცია პროგრამაში მოიცემა ცხრილის სახით და v სიჩქარის ბიჯის სიმცირის გამო მიზანშეწონილია განისაზღვროს (წმ)-ში, ხოლო მოძრაობის $v(s)$ მრუდის საბოლოო ფორმირების შემდეგ, მატარებლის მოძრაობის მთლიანი დრო განისაზღვროს (წთ.), რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 7-ზე, “H” სვეტის ბოლოში.

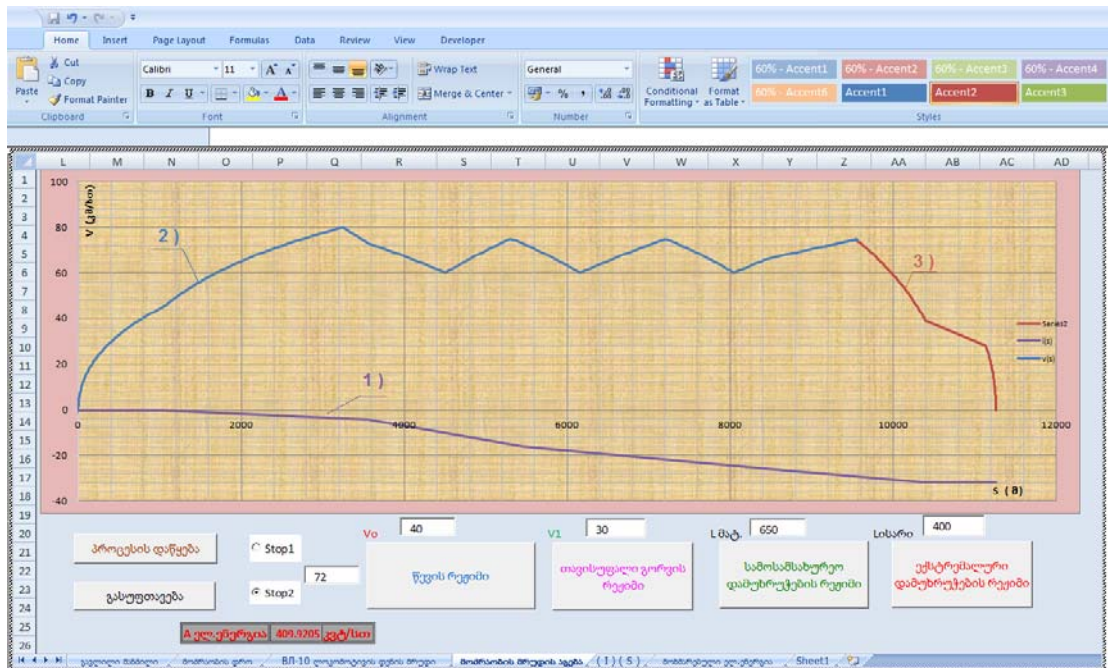
საზოგადოდ პროგრამა შექმნილია ერთი ფანჯრის პრინციპით, Microsoft Office Excel 2007-ის ცხრილის სხვადასხვა “Sheet”-ები ინფორმაციის გაცვლის თვალსაზრისით ურთიერთდაკავშირებულია. ცხრილის “Sheet1” სახელწოდებით “გაეღილი მანძილი”-ის Textbox-ებში მოცემულობაში მონაცემების შეყვანით “Sheet2”- ში ანგარიშისათვის საჭირო ცვლადების ინპორტი “Sheet1”-დან ხორციელდება და არაა აუცილებელი “მოძრაობის დრო”-ს გაანგარიშებისათვის ცხრილის ამ ნაწილში დამატებით შევიყვანოთ რაიმე მონაცემი.

“Sheet4” -ში “მოძრაობის მრუდის აგება” ხორციელდება “Sheet 1” და “Sheet 2”-ის საშუალებით, სხვადასხვა მოძრაობის რეჟიმისათვის შექმნილი ცხრილიდან საჭირო ΔS და Δt მნიშვნელობების გამოყენებით.

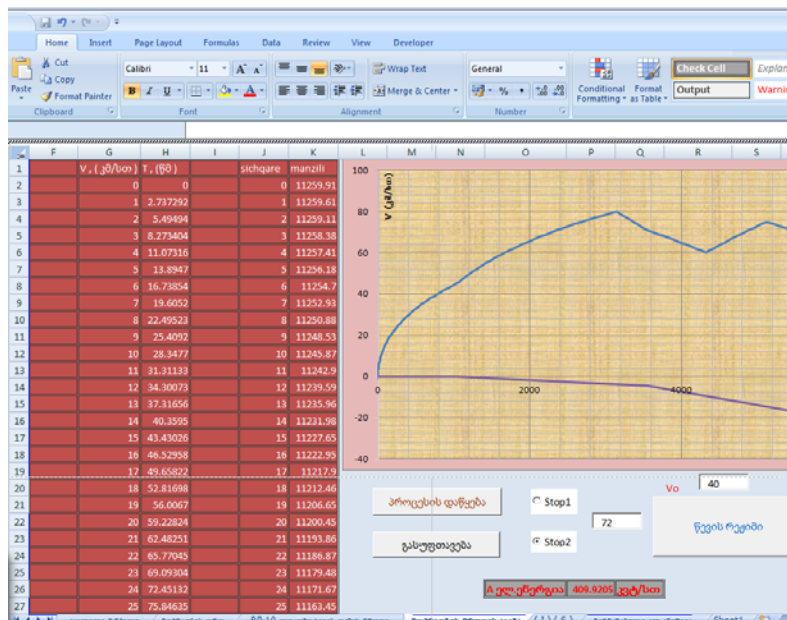
“Sheet5”-ში “(I)(S)” I ლოკომოტივის დენის S გავლილ მანძილზე დამოკიდებულების აგება ხორციელდება “Sheet 4” - დან (იხ. ნახ. 6 და ნახ. 7 “D” და “E” სვეტები) $v(s)$ დამოკიდებულებისა და “Sheet 3” “БЛ-10 ლოკომოტივის დენის მრუდი”-ს “БЛ-10” ლოკომოტივის დენის მუშა მახასიათებლის გამოყენებით (იხ. ნახ. 8) I (S) მრუდის აგება დაწერილებითაა განხილული ნაშრომის 1.11.1 პარაგრაფში, პროგრამაში აღნიშნული მრუდის ილუსტრაცია ნაჩვენებია სურ. 9-ზე ანალიზური სახით მიღებული შედეგი ილუსტრირებულია სურ. 6-ზე ცხრილის “A” და “B” სვეტებში. პროგრამაში გრაფიკული ნაწილის ცალკე Sheet-ებში განთავსება და მათი შედეგის ერთ კონკრეტულ ცხრილში თავმოყრა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 6-ზე (იხ. “A:K” სვეტები). მეტად მოსახერხებელია წევის გაანგარიშების ჩატარების შემდეგ მონაცემების ანალიზისათვის.

ელექტრო მოძრავე შემადგენლობის მოხმარებული ელ. ენერგიის განსაზღვრა პროგრამაში ავტომატურად ხორციელდება მოძრაობის მრუდების აგების პარალელურად. ე.მ.შ. მოხმარებული ელ.ენერგიის განსაზღვრა ილუსტრირებულია ნახ. 5-ზე.

სურ. 10-ზე ნაჩვენებია ე.გ.მ.-ს ალგორითმი, რომელიც ახასიათებს წევის გაანგარიშების წარმოებისათვის საჭირო ოპერაციების შესრულების მიმდევრობას.



ნახ. 5. $v(s)$ დამოკიდებულების აგება მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით

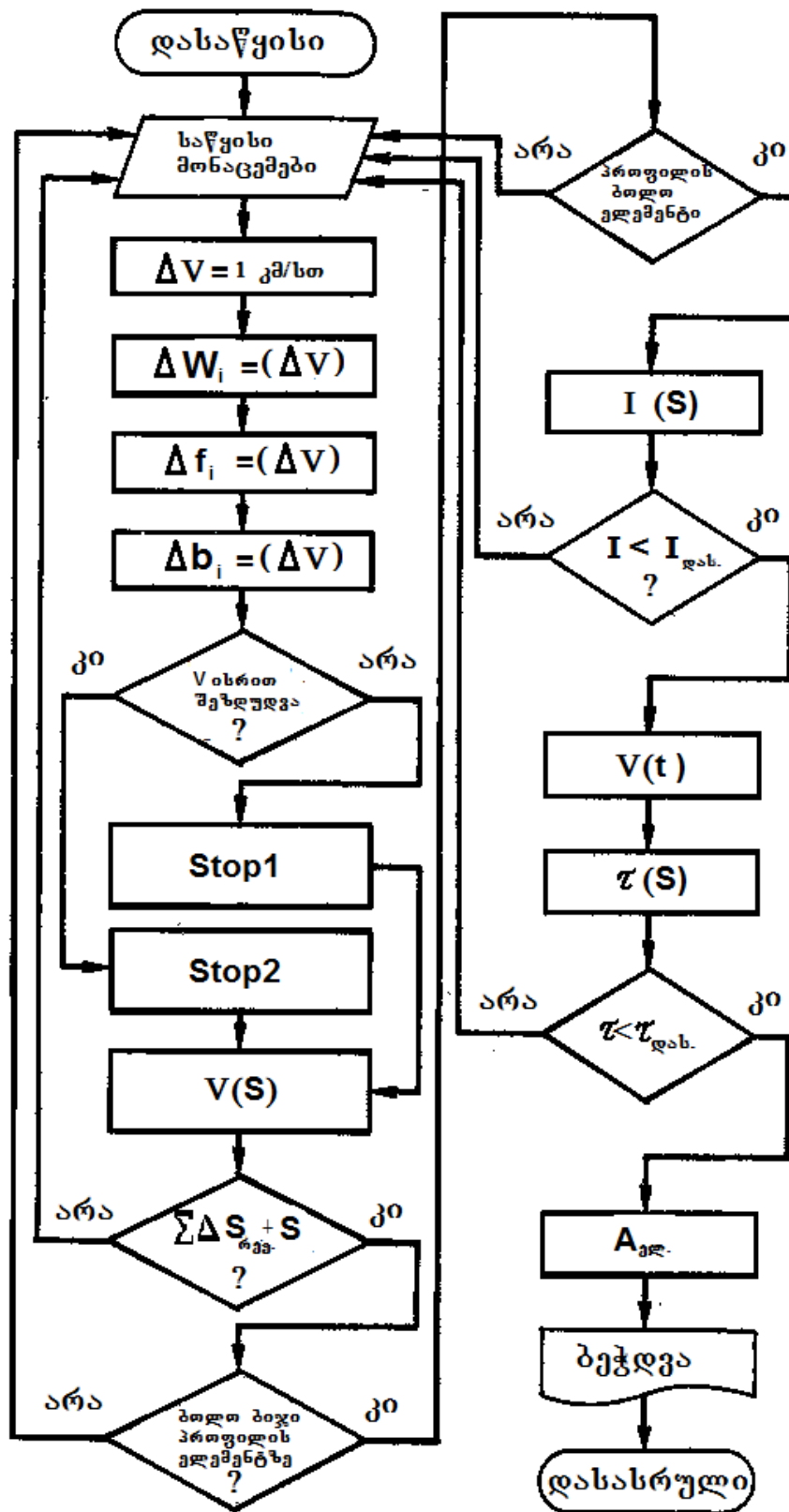


ნახ. 6. $v(s)$ მრუდის გამოყენებით მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეების მიღება და შედეგების ანალიზი

ასევე მოძრაობის მრუდების აგების პარალელურად მიმდინარეობს ლოკომოტივის ძრავის გახურებაზე შემოწმების პროცესი. ძრავის დასაშვებზე მეტად გახურების შემთხვევაში დისპლეიზე გამოდის შესაბამისი შეტყობინება “ძრავის გახურების ტემპერატურა ცილდება ნორმებს, შეცვალე მოძრაობის რეჟიმი” აღნიშნულის შეტყობინების საფუძველზე ოპერატორის მიერ ხორციელდება შემდგომი მოძრაობის რეჟიმების კორექტირება.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N
149			73	484.0718		64	9871.942		
150			72	487.1398		65	9844.214		
151			71	490.1868		66	9815.95		
152			70	493.2127		67	9787.15		
153			69	496.2171		68	9757.812		
154			68	499.2		69	9727.936		
155			67	502.1611		70	9697.518		
156			66	505.1002		71	9666.559		
157			65	508.0172		72	9635.056		
158			64	510.9117					
159			63	513.7837					
160			62	516.6329					
161			61	519.4591					
162			60	522.2621					
163			61	526.0078					
164			62	529.7551					
165			63	533.5039					
166			64	537.2543					
167			65	541.0062					
168			66	544.7597					
169			67	548.5147					
170			68	561.8751					
171			69	575.2496					
172			70	588.6383					
173			71	602.0412					
174			72	615.4584					
175			Time (min)	12.65					

ნახ.7. მატარებლის t მოძრაობის დროის განსაზღვრა (წთ).



ნახ. 10. ე.გ.მ-ზე წვეის გაანგარიშების წარმოების პროგრამული და ლოგიკური მოქმედებების ალგორითმის ბლოკსქემა

ძირითადი დასკვნები

ნაშრომის შესრულების საფუძველზე ჩამოყალიბდა შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1. ნებისმიერი, მათ შორის წვეის გაანგარიშებისათვის ანალიზური ან გრაფიკული მეთოდით, ან ე.გ.მ.-ის საშუალებით შეთავაზებულია გამოვიყენოთ ძირითადი დიფერენციალური განტოლებები ჩაწერილი ფარდობით ერთეულებში.

2. ფარდობითი ერთეულების გამოყენება საშუალებას იძლევა უარი ითქვას ცვლადების მასშტაბებისათვის. გაანგარიშების შედეგები, ამასთან ერთად, იქნება უნივერსალური ხასიათის მოცემული გზის პროფილისათვის.

3. ძირითადი განტოლების ანალიტიკურად გადაწყვეტისათვის შეთავაზებულია ამაჩქარებელი ძალის მახასიათებლის აპროქსიმაცია მოვახდინოთ ერთი წილად-წრფივი ფუნქციით, რომელიც სხვა ცნობილ ფუნქციებზე უკეთ ახდენს რეალური ამაჩქარებელი ძალის მახასიათებლის აპროქსიმაციას.

4. სამუხრუჭო და გორვის რეჟიმის გაანგარიშებისათვის შეთავაზებულია ამ რეჟიმის ემპირიული ფორმულები ასევე შევცვალოთ იგივე სახის წილად-წრფივი ფუნქციით.

5. ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების დროს გზის პროფილის ელემენტებზე გამოთვლების ცდომილების შემცირების მიზნით მიზანშეწონილია უარი ვთქვათ პროფილის ელემენტების გაერთიანებაზე.

6. ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების წილად-წრფივი ფუნქციით აპროქსიმაციის შედეგად მიღებული ანალიზური გამოსახულებები საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტით განვსაზღვროთ ე.გ.მ. -ზე ΔS გზის და Δt მოძრაობის დროის სეგმენტური მნიშვნელობები სიჩქარის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით.

7. მატარებლის მოძრაობის დროის შესახებ სრული ინფორმაცია ე.გ.მ.-ის პროგრამაში შეთავაზებულია მოიცეს ცხრილის სახით და $\Delta V=1$ კმ/სთ სიჩქარის ბიჯის სიმცირის გამო მიზანშეწონილია განისაზღვროს

(წმ.)-ში, ხოლო მოძრაობის $v(s)$ მრუდის საბოლოო ფორმირების შემდეგ, მატარებლის მოძრაობის მთლიანი დრო განისაზღვროს (წთ.)

8. ე.გ.მ.-ზე წვევის გაანგარიშებისას შეთავაზებულია მატარებლის მოძრაობის საჭირო რეჟიმის არჩევა მოხდეს მართვის ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით, რითაც მიიღწევა გაანგარიშების პროცესების თვალსაჩინოდ წარმოება და ვიზუალიზაცია.

*დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია
შემდეგ პუბლიკაციებში*

33. ს. კარიპიდისი, თ. მაღლაკელიძე, პ. ბარბაქაძე, ა. მაღლაკელიძე. მოტორ-გენერატორულ სისტემაში მიმდევრობითი და შერეული აღგზნების გენერატორის ავტორხვევების შესახებ. ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა ISSN 1512-3537 სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი №2 (10) 2008 გვ. 18-29.
34. С. Карипидис, Т. Маглакелидзе, П. Барбакадзе, Дж. Саникидзе, Ю. Схиртладзе. Применение методов фазовой плоскости для исследования различных режимов работы тяговых машин последовательного возбуждения. «Транспорт и машиностроение» ISSN 1512-3537 Научно-технический журнал. №4 (12) 2008. с 48-66.
35. С. Карипидис, Ш. Хурцилава, Дж. Саникидзе, Ю. Схиртладзе, П. Барбакадзе. Статический преобразователь для питания обмоток возбуждения тяговых двигателей электровозов постоянного тока и цепей управления. Транспорт. Научно-технический журнал. ISSN 1512-0910. ООО «Транспорт». 2008 г. №3-4 (31-32). с 3-7.
36. С. Карипидис, Ш. Хурцилава, Дж. Саникидзе, Ю. Схиртладзе, П. Барбакадзе. Статический преобразователь для вспомогательных цепей и прочих нагрузок электропоездов постоянного тока. Транспорт. Научно-технический журнал. ISSN 1512-0910. ООО «Транспорт». 2008 г. №3-4 (31-32). с 7-11.
37. С. Карипидис, Т. Маглакелидзе П. Барбакадзе. Метод расчета величины эквивалентного активного сопротивления контура вихревых токов

A b s t r a c t

Integration of nonlinear differential equation of motion is a basis of electric traction calculation. Since equations of motion are nonlinear and even today solution of similar equations is not possible by the form that is capable in case of linear differential equations, a lot of specialists turned to and turns at this moment to approach (asymptotic) methods of all types. Besides, because of various limitations, as well as of weakening of traction force field and so on part of resulting traction indices becomes kinked and has nonlinear form, that creates additional problems during solution of the problem (task). Because of this, unfortunately graph-analytical (calculation-analytical) methods represent main methods of integration of differential equation. These methods are described in scientific literature as the only and single source. In the XXI century when computer equipment penetrates in all spheres of human's activity, it is necessary to lay an emphasis on new methods with use of modern computers. It should be noted that approximation of current known accelerating and decelerating forces can't provide exact change of real curves and after integration we finally get complex expression, which is useless for carrying out of calculation processes, including the ones with the use of computer, since it requires availability of database massive in large quantities, implementation of interrelation of which will be complicated and in some cases impossible without qualified skilled programmer. Current analytic expressions are not of all-purpose (universal) character and formulas determining accelerating and decelerating forces for more than hundred years are given in specific units (kgf/t). According to current methods during programming on computer is necessary to find out corresponding conversion coefficients, that are recommended by Ministry of Railways (Soviet Union) in the tabular form, that create additional problems in the process of programming. Because of this fact at this moment is more simple to use graph-analytical or pure graphical methods instead of analytic ones, that by their accuracy are sufficient for practical calculations and are recommended for calculation of electric traction by Ministry of Railways.

New analytic methods cited in the thesis work, which are based on the approximation of accelerating and decelerating forces by fractionally linear function, allow us to easily receive simple expressions, which will be of universal character and useful for implementation of any works, both by means of computer, and of "calculator", that has got elementary functions.

Use of relative units allow to reduce to the minimum the number of variables in the equation and probability of probable errors, since the place of every variable in the equation is well known as a rule. Result of solution is of universal character and allows to get necessary data in the units necessary for us without any geometric manipulation and without carrying out of labour-consuming analysis on the scaled paper.