საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლალი ყორღანაშვილი

გარსების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა; მშენებლობა; 0406

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,
სამშენებლო ფაკულტეტზე,
საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი რევაზ ცხვედაძე

რეცენზენტები: ასოცირებული პროფესორი ნ. მურღულია.
ასოცირებული პროფესორი ლ. ქაჯაია.

დაცვა შედგება 2015 წლის 09.07. 15^{00} საათზე,
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, სასწავლო სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორია III სართული.

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.
დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული
მდივანი: სრული პროფესორი დ. ტაბატაძე

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა:

ცივილიზაციის განვითარებასთან ერთად იზრდება მოთხოვნილება დიდმალიან სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაზე, რომლებშიც გამოიყენება სივრცითი კონსტრუქციები, კერძოდ დამრეცი გარსები. ასეთი კონსტრუქციები იძლევიან მასალის დიდ ეკონომიას, კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლისა და შენობის მოცულობის შემცირების საშუალებას. სივრცითი კონსტრუქციების თაღოვან და გუმბათოვან ნაგებობათა პრიორიტეტების გამოყენებას ხუროთმოძღვრები მიმართავდნენ ჯერ კიდევ უძველეს დროში, მაგრამ სამშენებლო ტექნიკის დაბალი დონე, ადგილობრივი მასალის მცირე სიმტკიცე, სამშენებლო მექანიკის კანონების არცოდნა და სხვა, ცხადია საგრძნობლად ზღუდავდნენ გარსული ნაგებობების განვითარებას.

დღევანდელ დღეს მათემატიკური ხერხებისა და პროგრამირების მეთოდების დამუშავებამ საშუალება მოგვცა ვეძებოთ უფრო ეფექტური ალგორითმები.

დისერტაციის მიზანია:

თხელკედლიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების ამოცანები, როდესაც ვითვალისწინებთ არადრეკად დეფორმაციებს, დაკავშირებულია მნიშვნელოვან სიძნელეებთან, რაც განპირობებულია არაწრფივი დამოკიდებულებებით ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის.

კონსტრუქციებში ზღვრული მდგომარეობის მიღწევამდე საგრძნობლად ადრე უკვე არსებობს ცალკეული დაქსაქსული პლასტიკური არეები, რომელთა გავლენა ჯერ კიდევ უმნიშვნელოა და კონსტრუქცია კვლავაც შეიძლება ჩაითვალოს ხისტად. დატვირთვის ზრდასთან ერთად იწყება პლასტიკური არეების გაფართოება და როდესაც გარე ძალები მიაღწევენ გარკვეულ ზღვრულ

მნიშვნელობას ანუ ზიდვის უნარს, კონსტრუქციაში იწყება დეფორმაციათა სიჩქარეების განუსაზღვრელი ზრდა.

მოახლოვებული რღვევის პირობებში პლასტიკური დეფორმაცია საგრძნობლად აღემატება დრეკადს, რის გამოც ეს უკანასკნელი შეიძლება საერთოდ უგულებელვყოთ.

ამგვარად ვღებულობთ რეალური დეფორმადი ტანის იდეალურ პლასტიკურ - ხისტ მოდელს. ეს მოდელი გამოიყენება ზიდვის უნარის განსაზღვრის დროს. ტანი იდეალურად დრეკად-პლასტიკურია; კუმშვა-გაჭიმვის დიაგრამა გამოისახება პრანდტლის სქემით.

<u>მეცნიერული სიახლე:</u>

- ვსარგებლობთ ილიუშინის თეორიით და ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხნით ვსწავლობთ დამრეცი გარსის დრეკად-პლასტიკურ წონასწორობას.
- შევიმუშავეთ ალგორითმი და შევადგინეთ ბლოკ-სქემა ცილინდრული გარსის გადასაწყვეტად, რომლის ორი მოპირდაპირე მხარე ჩამაგრებულია ხისტად, ხოლო დარჩენილი ორი - სახსროვნად.

<u>მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება:</u>

- განხილული მეთოდით ელექტრონულ გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება ამ სახის ამოცანების გადაწყვეტა.
- დისერტაციაში მოყვანილია ფორმულები და გრაფიკები დამრეცი გარსის მახასიათებელი წერტილებისთვის.
- მიღებული შედეგებით შეიძლება ისარგებლონ მკვლევარებმა დამრეცი ცილინდრული გარსის გაანგარიშების დროს.

<u>ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:</u>

სადისერტაციო ნაშრომის, როგორც ცალკეული ისე ძირითადი შედეგები მოხსენიებული იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია სამი სტატია.

<u>ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:</u>

დისერტაცია შედგება შესავლის, სამი თავის, ძირითადი დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება გვერდისგან.

ნაშრომის შინაარსი

დამრეცი თხელკედლიანი კონსტრუქციები უმეტესწილად წარმოადგენს მთავარ მზიდ ელემენტებს, რომლებიც ხშირად გამოიყენებამშენებლობაში, მანქანათმშენებლობაში, თვითმფრინავმშენებლობაში, გემთმშენებლობასა და ტექნიკის სხვა დარგებში. ანგარიში ასეთი გარსული ელემენტებისა წრფივი-დრეკადი თეორიის ფარგლებში კარგადაა შესწავლილი, მაგრამ გამოკვლევები მათი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა დრეკადობის ფარგლებს გარეთ ნაკლებადაა შესწავლილი და მოითხოვს შემდგომ გაანგარიშებასა და კვლევას. მათი ანგარიში საკმაოდ რთული და შრომატევადია. გამოკვლევები ამ მიმართულებით ეყრდნობა პლასტიკურობის დეფორმაციულ თეორიას. ამოცანები წრფივი დრეკადი თეორიის ფარგლებში ეყრდნობა ფუნდამენტურ გამოკვლევებსა და მეთოდებს, რომლებიც შესრულებული აქვთ როგორც უცხოელ, ასევე ქართველ მეცნიერებს.

ამ თეორიებმა ფართო განვითარება ჰპოვა ისეთი საზღვარგარეთელი დიდი მეცნიერების ნაშრომებში, როგორიცაა ა. გვოზდევი, ა. ილიუშინი, ვ. ვლასოვი, ს. ამბარცუმიანი, ვ. ბალოტინი, ა. გოლდენვეიზერი, ვ. სოკოლოვსკი, ი. რაბოტნოვი, ი. ცურკოვი, პ. ლუკაში, ა. რჟანიცინი, ა. ჩირასი და სხვა.

ქართველი მეცნიერებიდან აღსანიშნავია ფუნდამენტალური კვლევები შესრულებული შემდეგი მეცნიერების მიერ: ი. ვეკუა, ვ. კუპრაძე, შ. მიქელაძე, მ. მიქელაძე, ა. კაკუშაძე, თ. გეგელია, მ. ბაშალეიშვილი, თ. ბურჭულაძე, თ. ვაშაყმაძე და სხვა.

აღნიშვნის ღირსია გარსის ტიპის ამოცანების კვლევები შესრულებული შემდეგი მკვლევარების მიერ: თ. ბაციკაძე, გ. გაბრიჩიძე, ლ. მუხაძე, ზ.გედენიძე, რ. ცხვედაძე, მ. ყალაბეგაშვილი, გ. ყიფიანი, ო. მხეიძე, დ.ტაბატაძე, ი.კაკუტაშვილი, დ. ჯანყარაშვილი და სხვა.

ნაშრომში განხილულია დამრეცი ცილინდრული გარსი, რომლის ორი მოპირდაპირე მრუდწირული კიდე დაყრდნობილია სახსრულად, დანარჩენი ორი კი ჩამაგრებულია ხისტად. დატვირთვა თანაბრად განაწილებულია და ნორმალური შუა ზედაპირის მიმართ, ხოლო დატვირთვის პროცესი მარტივი.

იგულისხმება, რომ დეფორმაციის პროცესში გარსი რჩება იზოტროპული. ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულება ერთნაირია გაჭიმვა კუმშვის შემთხვევაში, ხოლო დეფორმაციები მცირე.

ამოცანის ფიზიკური არაწრფივობა აისახება გადამწყვეტ განტოლებათა სისტემაში დამოკიდებულებებით, რომლებიც აკავშირებენ ძალებსა და მომენტებს დეფორმაციებთან. ეს დამოკიდებულებები მიღებულია ა. ილიუშინის მიერ. ისინი იძლევიან თითოეული კვეთისათვის სამ სიხისტეს, რომლითაც ღუნვისა და გრეხის დეფორმაციები გავლენას ახდენენ გრძივ და მხებ ძალებზე, ხოლო გაჭიმვა-კუმშვისა და ძვრის დეფორმაციები მღუნავ და მგრეხ მომენტებზე.

აღნიშნული სიხისტეები წარმოადგენს ცვლად ფუნქციებს. თითოეული მათგანი ჩაწერილია გარსის თითოეული წერტილისათვის, როგორც ფუნქცია დეფორმაციის ინტენსივობისა. ამ ფუნქციის სახე დამოკიდებულია გაჭიმვა-კუმშვის დიაგრამაზე. ამ სიხისტეების გამოსახულებანი თითოეული მასალისათვის მიღებული უნდა იყოს დამოუკიდებლად.

განსაკუთრებით რთულდება ამოცანა, როდესაც ძაბვა დეფორმაციის მრუდი შეიცავს საწყის დრეკად უბანს. აქ საჭირო ხდება ხუთი სახის დეფორმირებული მდგომარეობის განხილვა.

სამი მათგანი მიეკუთვნება ზონებს, სადაც ღუნვისა და გრეხის დეფორმაციები მნიშვნელოვნად აღემატება გაჭიმვა-კუმშვის და ძვრის დეფორმაციებს და ორი კი ზონებს, სადაც პირიქით, გაჭიმვა-კუმშვის და ძვრის დეფორმაციები მნიშვნელოვნად სჭარბობს ღუნვისა და გრეხის დეფორმაციებს.

უშუალო შეტანა ძალებისა და მომენტებისა წონასწორობის განტოლებებში და უწყვეტობის პირობებში გვაძლევს ორი განტოლებისგან შემდგარ შერეული ტიპის კერძო წარმოებულიან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას, რომლის ზუსტი ამოხსნა შეუძლებელია. მიახლოებითი ამოხსნის გზა ემყარება ა. ა. ილიუშინის დრეკადი ამონახსნების მეთოდს, რომელიც გარსთა თეორიაში გამოიყენა ი. ს. ცურკოვმა.

სადოქტორო ნამუშევარი შედგება სამი თავისაგან.

<u>პირველ თავში</u> გადმოცემულია ძირითადი დამოკიდებულებები, რომლებიც ასახავენ დამრეცი ცილინდრული გარსის წონასწორობას დრეკადობის ფარგლებს გარეთ. წონასწორობის განტოლებების, გეომეტრიული და ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულებების საფუძველზე, რომლებიც მიღებულია პლასტიკურობის დეფორმაციული თეორიის გათვალისწინებით, მიღებულია გადამწყვეტ განტოლებათა ორი დიფერენციალური განტოლება, რომელიც შედგება შერეული ტიპის კერძო წარმოებულებიან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემისგან.

<u>მეორე თავში</u> გადმოცემულია ძირითადი სისტემის გადაწყვეტა, დამრეცი გარსისა, რომელსაც ორი მოპირდაპირე მხარე ჩამაგრებული აქვს ხისტად და დარჩენილი ორი მხარე - სახსროვნად. იგულისხმება, რომ დეფორმაციის პროცესში გარსი არის იზოტროპული. ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულება ერთნაირია გაჭიმვა-კუმშვის შემთხვევაში, ხოლო დეფორმაციები მცირე.

ამოცანის ფიზიკური არაწრფივობა აისახება გადამწყვეტ განტოლებათა სისტემაში დამოკიდებულებით, რომლებიც აკავშირებენ ძალებსა და მომენტებს დეფორმაციებთან. ეს დამოკიდებულებები მიღებულია ა.ა.

ილიუშინის მიერ. ისინი იძლევიან თითოეული კვეთისთვის სამ სიხისტეს გაჭიმვა-კუმშვაზე, ღუნვაზე და შერეულ სიხისტეს, რომლითაც ღუნვისა და გრეხის დეფორმაციები გავლენას ახდენენ გრძივ და მხებ ძალებზე, ხოლო გაჭიმვა-კუმშვისა და ძვრის დეფორმაციები მღუნავ და მგრეხ მომენტებზე, სწრაფად დეფორმადი სხეულებისთვის გვაქვს მხოლოდ პირველი და მეორე სიხისტე. მოყვანილია ძირითადი დამოკიდებულებები უგანზომილებო პარამეტრებში.

<u>მესამე თავში</u> მოყვანილია ცილინდრულ კვადრატული გარსისთვის გეომეტრიული პარამეტრების, დატვირთვისა და წრფივი განმტკიცების კანონის დიაგრამის გათვალისწინებით გრაფიკები ნულოვანი მიახლოების მიხედვით. გამოთვლების ჩასატარებლად მოყვანილია გაანგარიშების ბლოკ-სქემა.

დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას აქვს სახე:

$$\nabla^2\nabla^2\omega(x,y) - \frac{9}{Eh^2R}\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \frac{9}{Eh^3}[q + \varphi_1(x,y)]$$

$$\nabla^2\nabla^2 F(x,y) + \frac{E}{R}\frac{\partial^2\omega}{\partial y^2} = \frac{1}{h}\varphi_2(x,y)$$

სადაც

$$\varphi_1(x,y) = -\frac{\partial^2\Delta M_1}{\partial x^2} - \frac{\partial^2\Delta H}{\partial x\partial y} - \frac{\partial^2\Delta M_2}{\partial y^2},$$

$$\varphi_2(x,y) = -\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\Delta T_2 - \frac{1}{2}\Delta T_1\right) - \frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\Delta T_1 - \frac{1}{2}\Delta T_2\right) + 3\frac{\partial^2\Delta S}{\partial x\partial y}$$

$$\Delta T_1 = \frac{4}{3}\left[(Eh - I_1)\left(\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\varepsilon_2\right) - \left(æ_1 + \frac{1}{2}æ_2\right)I_2\right]$$

$$\Delta T_2 = \frac{4}{3}\left[(Eh - I_1)\left(\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\varepsilon_1\right) - \left(æ_2 + \frac{1}{2}æ_1\right) I_2\right]$$

$$\Delta S = \frac{1}{3}[(Eh - I_1)\omega - 2\tau I_2]$$

$$\Delta M_1 = \frac{4}{3}\left[\left(\frac{Eh^3}{12} - I_3\right)\left(æ_1 + \frac{1}{2}æ_2\right) - \left(\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\varepsilon_2\right) I_2\right]$$

$$\Delta M_2 = \frac{4}{3}\left[\left(\frac{Eh^3}{12} - I_3\right)\left(æ_2 + \frac{1}{2}æ_1\right) - \left(\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\varepsilon_1\right) I_2\right]$$

$$\Delta H = \frac{2}{3}\left[\left(\frac{Eh^3}{12} - I_3\right)\tau - \frac{1}{2}\omega\, I_2\right]$$

$$\mathrm{I}_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} dz$$

$$I_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{\sigma i}{\varepsilon i}\, Z dZ$$

$$I_3 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{\sigma i}{\varepsilon i}\, Z^2 dZ$$

$$£_{i1} = £_i\left(-\frac{h}{2}\right) = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{P_£ - hP_{£æ} + \frac{h^2}{4}P_æ}\ ;$$

$$£_{i2} = £_i\left(-\frac{h}{2}\right) = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{P_£ + hP_{£æ} + \frac{h^2}{4}P_æ}\ ;$$

$$£_{i0} = £_i(z_0)\sqrt{P_£ - \frac{P_{£æ}^2}{P_æ}}\ ; \quad z_0 = -\frac{P_{£æ}}{P_æ}\ .$$

სადაც

w - ჩაღუნვაა;

F - ძაბვის ფუნქციაა;

E - დრეკადობის მოდულია;

h - გარსის სისქეა;

R - გარსის რადიუსია;

f – აწეულობის ისარი;

q - განაწილებული დატვირთვის ინტენსივობაა;

M_1, M_2, H - მღუნავი და მგრეხი მომენტებია;

T_1, T_2, S - ნორმალური და ძვრის ძალებია;

ε_1, ε_2, ω - შუა ზედაპირის დეფორმაციებია;

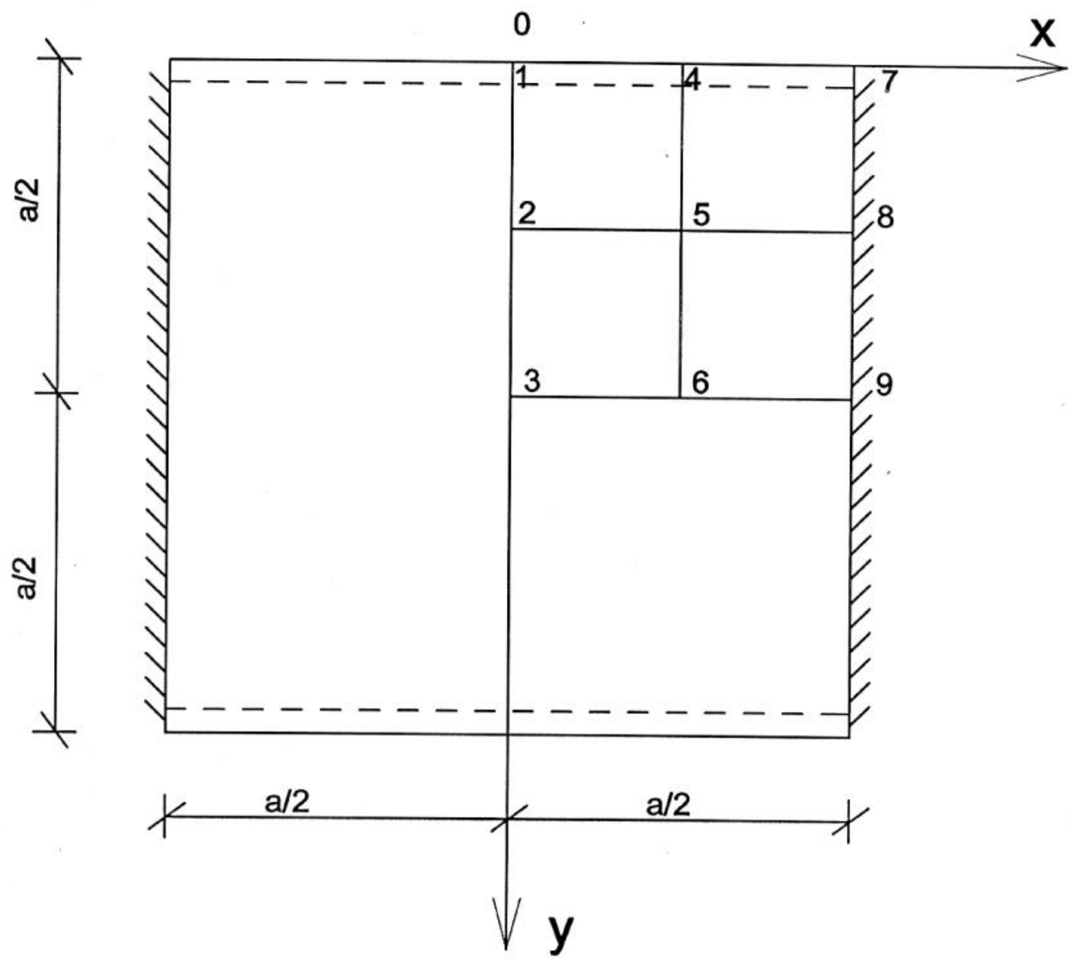
$æ_1$, $æ_2$, w – სიმრუდეებია;

σ_i, ε_i– ძაბვისა და დეფორმაციის ინტენსივობაა.

ქვემოთ მოყვანილია რიცხვითი მაგალითის გრაფიკული დიაგრამები ჩაღუნვების, ნორმალური და ძვრის ძალების სახასიათო წერტილებში.

ავტორეფერატში თვალსაჩინოების სახით მოყვანილია დისერტაციიდან ზოგიერთი გრაფიკი.

რიცხვითი მაგალითი



ნახ. 1

$$\frac{f}{h} = 10\,; \qquad ¦ = \frac{a}{h} = 100\,; \quad \frac{±_i}{±_T} = 4{,}5\,;$$

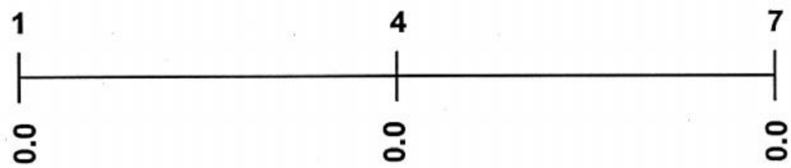
$$ª = 0{,}95\,;$$

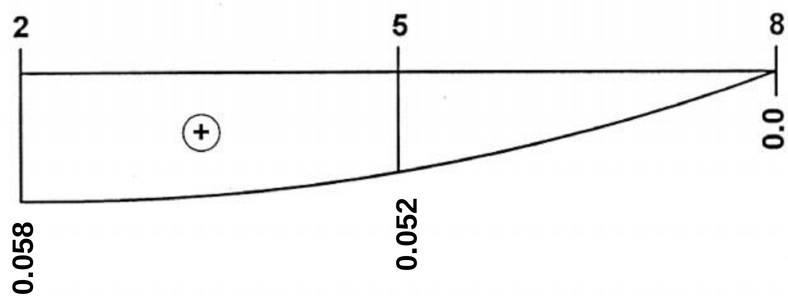
$$\overline{q} = \frac{q_0}{±_T} = 0{,}0061$$

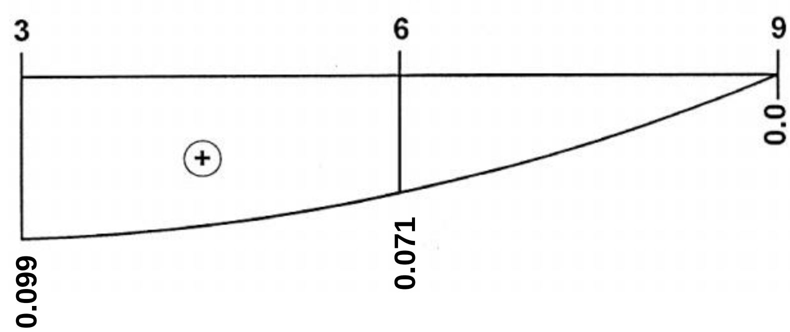
ჩაღუნვის გრაფიკები

$$\overline{W} = \frac{W\varepsilon_T h}{a^2}$$

OX ღერძზე



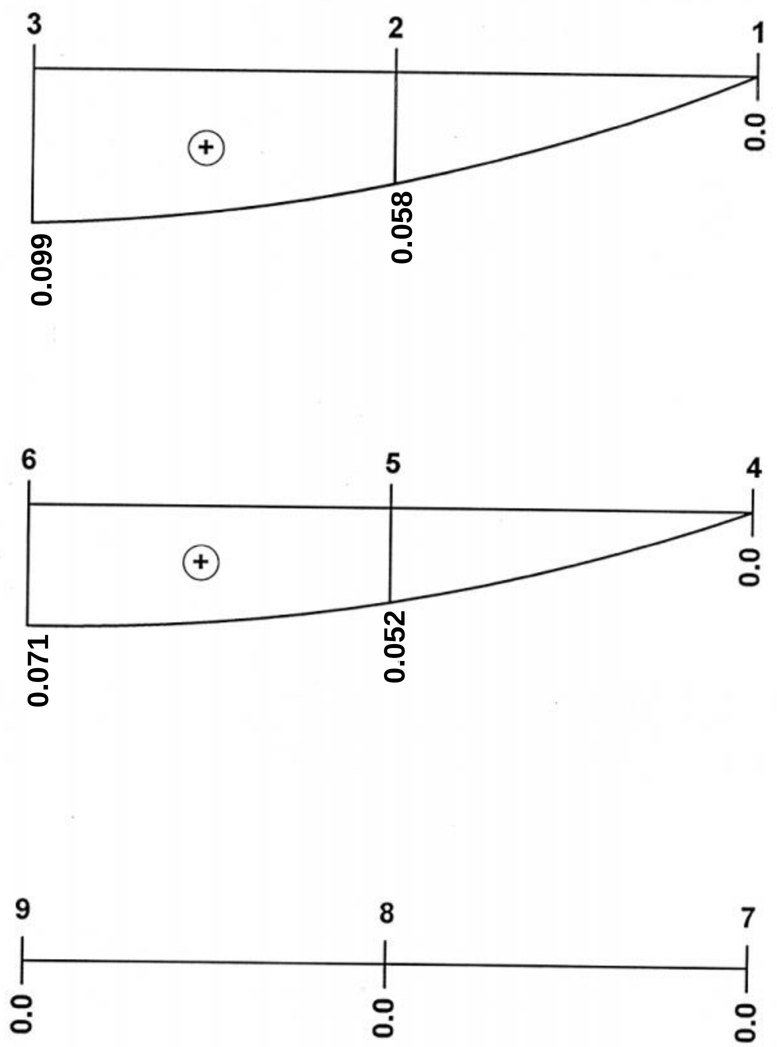




ჩაღუნვის გრაფიკები

$$\overline{W} = \frac{W\varepsilon_T h}{a^2}$$

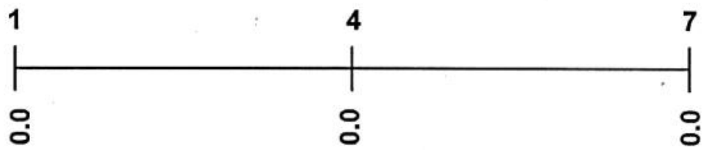
Oy ღერძზე

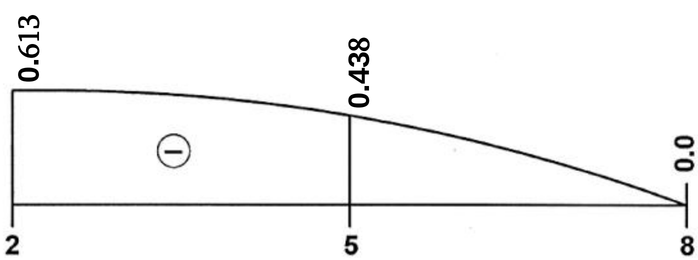


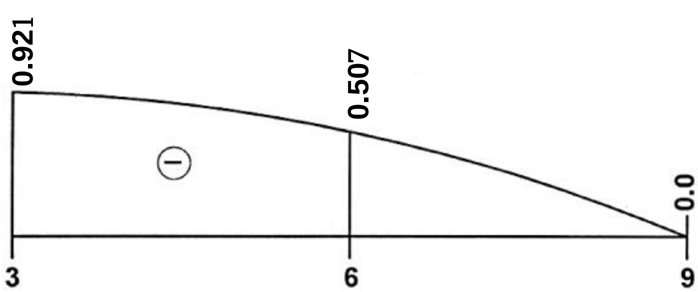
ნორმალური ძალის გრაფიკები

$$\overline{T}_1 = \frac{T_1}{\sigma_T h}$$

OX ღერძზე



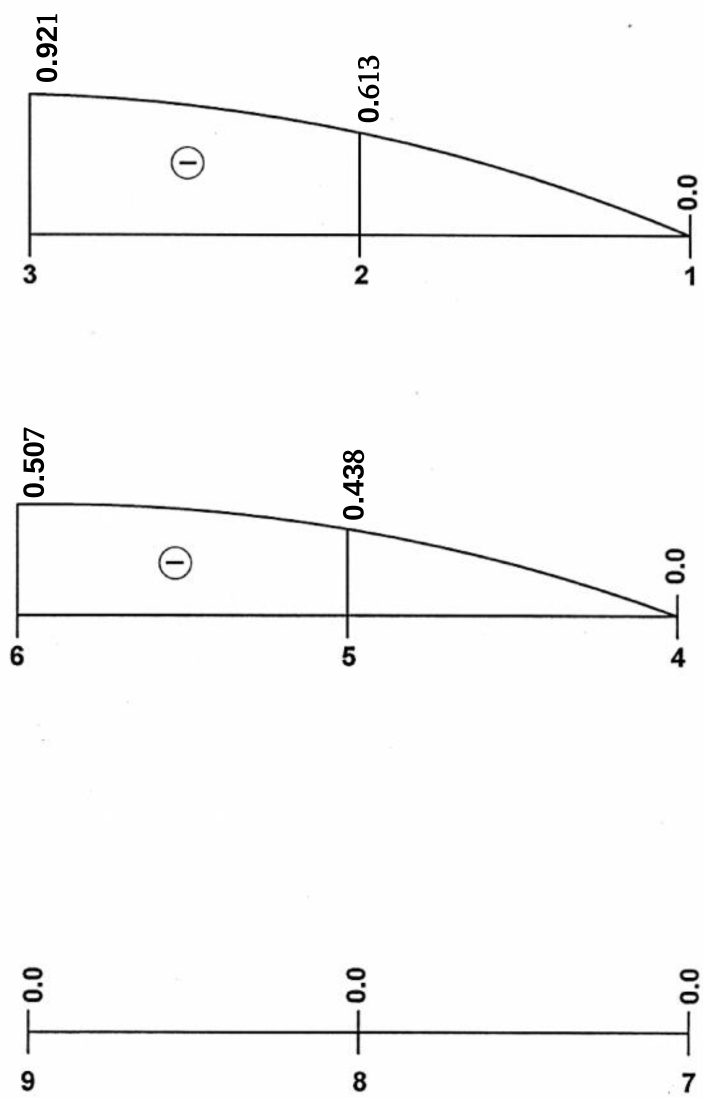




ნორმალური ძალის გრაფიკები

$$\bar{T}_1 = \frac{T_1}{\sigma_T h}$$

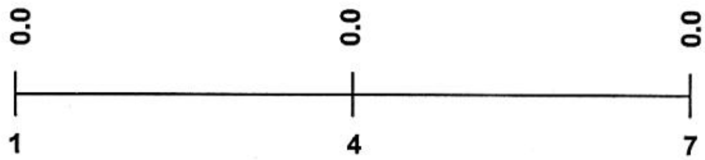
Oy ღერძზე

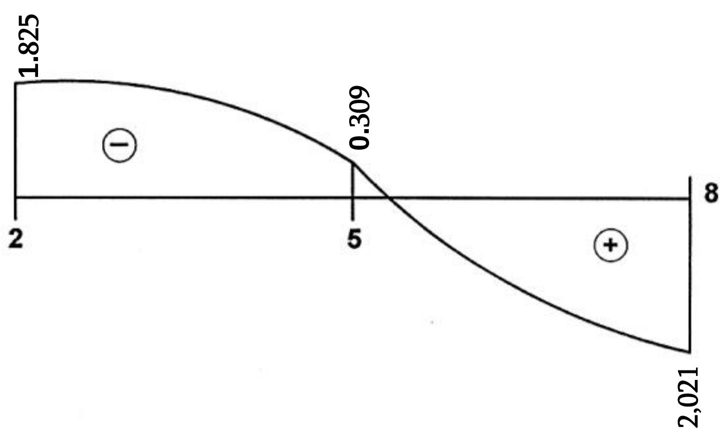


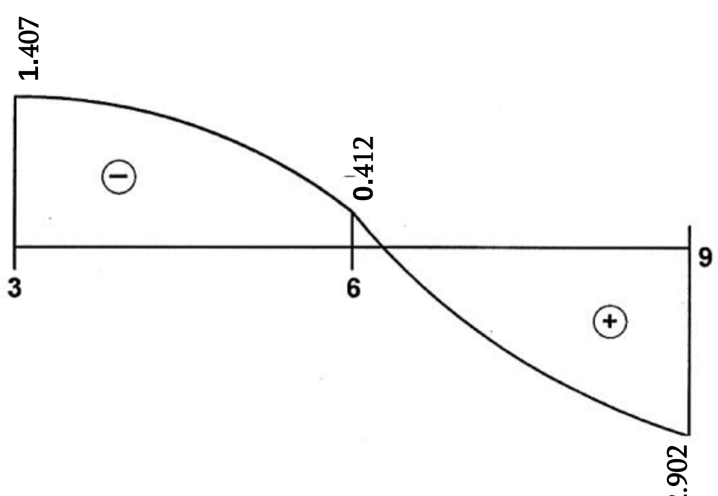
ნორმალური ძალის გრაფიკები

$$\bar{T}_2 = \frac{T_2}{\sigma_T h}$$

OX ღერძზე



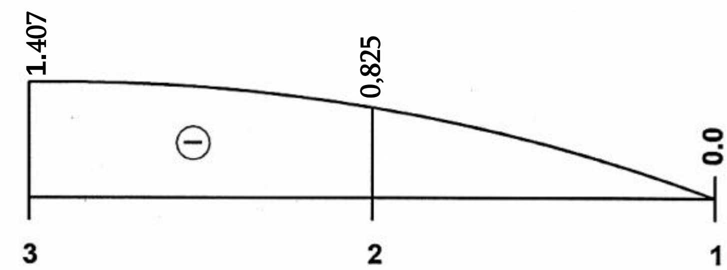


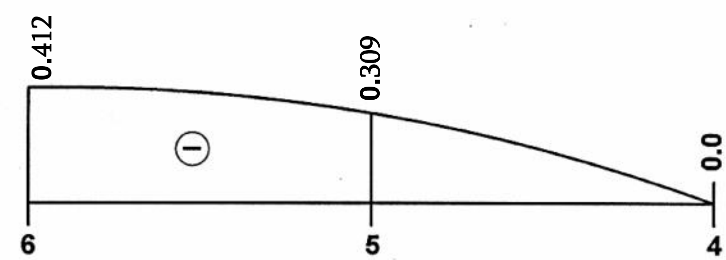


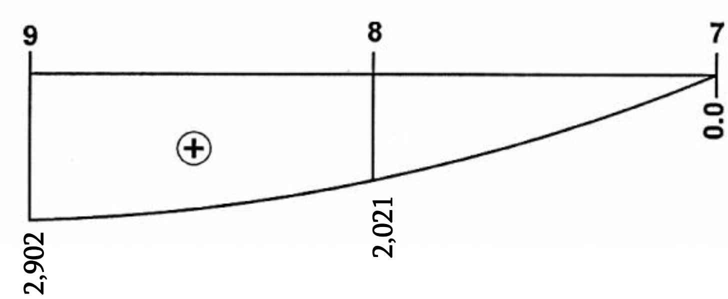
ნორმალური ძალის გრაფიკები

$$\overline{T}_2 = \frac{T_2}{\sigma_T h}$$

Oy ღერძზე



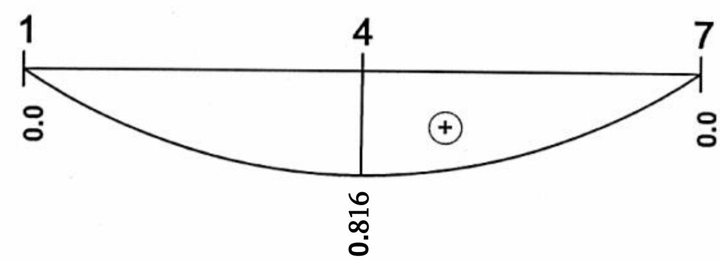


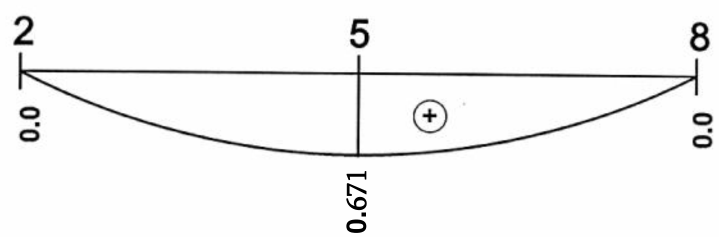


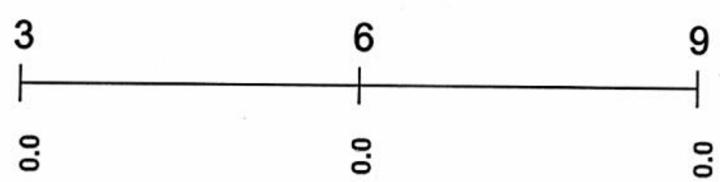
ძვრის ძალის გრაფიკები

$$\bar{S} = \frac{S}{\sigma_T h}$$

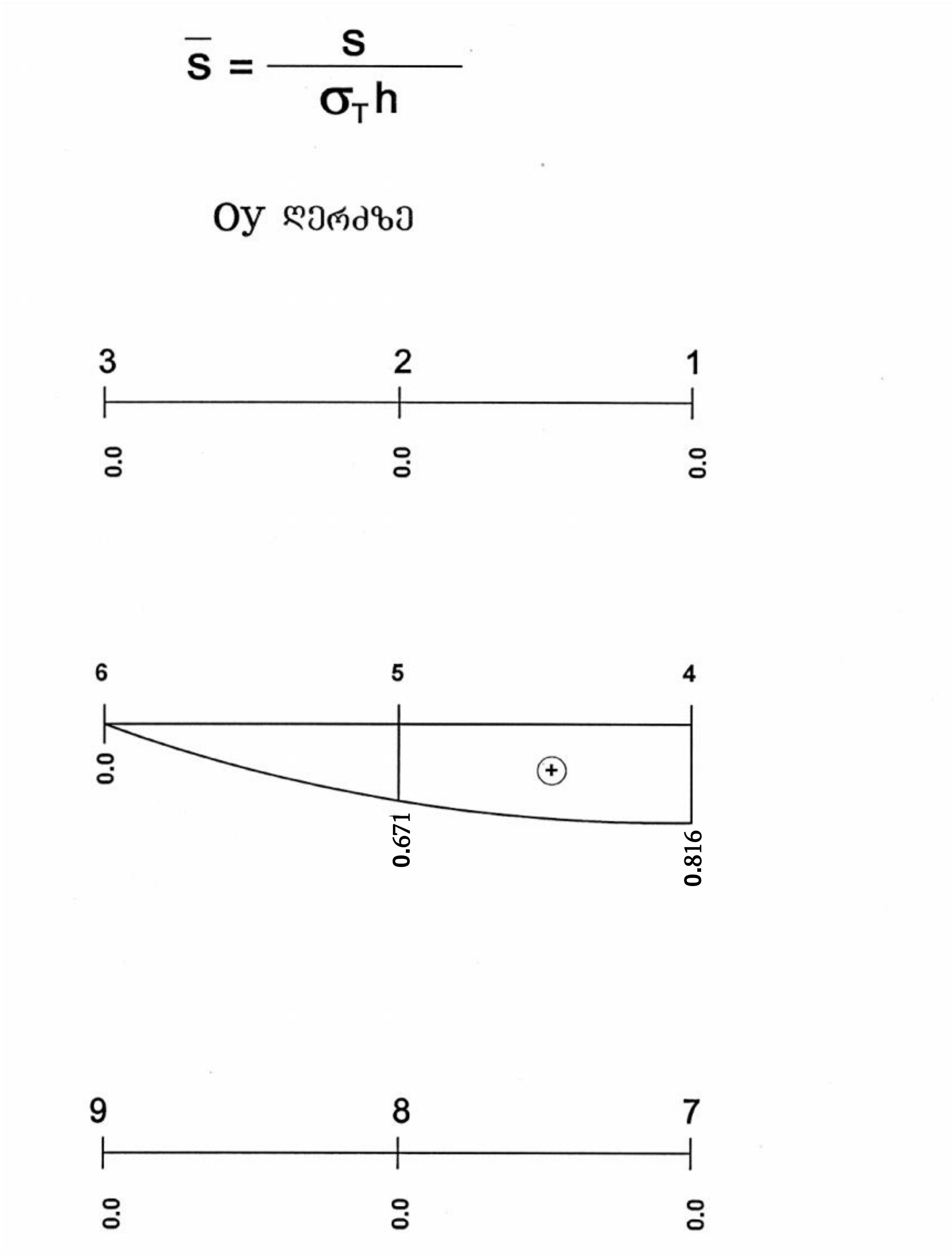
OX ღერძზე







ძვრის ძალის გრაფიკები



ძირითადი დასკვნები:

1. მცირე დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციის თეორიის საფუძველზე ა. ა. ილიუშინის დრეკადი ამონახსნების მეთოდით, შედგენილია დამოკიდებულებები ძალვებსა და დეფორმაციებს შორის დამრეცი ცილინდრული გარსისთვის დრეკადობის ფარგლებს გარეთ.
2. აგებულია არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ჩაღუნვისა და ძაბვის ფუნქციის მიმართ, რომლებიც ასახავენ დამრეცი ცილინდრული გარსის დრეკად-პლასტიკურ წონასწორობას დრეკადობის ფარგლებს გარეთ.

   განსახილავ დამრეც ცილინდრულ გარსში მოქმედი ყოველი ძალა და მომენტი წარმოდგინდება ორი შესაკრების სახით, რომელთაგან ერთი ისეთივეა, როგორც წრფივად დეფორმადი სხეულებისთვის, მეორე კი გამოსახავს სხვაობას სრულ და წრფივ კომპონენტებს შორის.

   ასეთი წარმოდგენის შედეგად გადამწყვეტ განტოლებათა სისტემის თითოეული განტოლება იყოფა ორ ნაწილად: წრფივად და არაწრფივად.

   პირველი განტოლების არაწრფივი წევრი შეიცავს მღუნავი და მგრეხი მომენტების მეორე რიგის წარმოებულებს, მეორე განტოლების არაწრფივი წევრი შეიცავს მღუნავი და მგრეხი მომენტების მეორე რიგის წარმოებულებს. არაწრფივი წევრების დაზუსტება ხდება მიმდევრობითი მიახლოვების ხერხით.
3. აგებულია ჩაღუნვების და ძალვების გრაფიკები;
4. დისერტაციის შედეგებით შეიძლება ისარგებლონ დამრეცი ცილინდრული გარსის დამპროექტებლებმა მშენებლობაში და აგრეთვე სხვა შესაბამისი დარგის სპეციალისტებმა.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. ი. კაკუტაშვილი, ნ. ჯავახიშვილი, ლ. ყორღანაშვილი „მცირე დრეკად პლასტიკური დეფორმაციების განსაზღვრა დამრეც ცილინდრულ გარსში„ ჟურნალი „მშენებლობა“ 2 [29] 2013. გვ. 72-77.
2. 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2013.
3. 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2014.
4. ლ. ყორღანაშვილი - ტრიგონომეტრიული მწკრივების გამოყენება დამრეცი გარსის წონასწორობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნისას ჟურნალი „მშენებლობა“ N1 (36) 2015. გვ. 132
5. ლ. ყორღანაშვილი - დამრეცი ცილინდრული გარსის ძაბვის ფუნქციის დიფერენციალური განტოლების მიღება ჟურნალი „მშენებლობა“ N1 (36) 2015. გვ. 123

RESUME

Calculation tasks of the thin-walled structures', when taking into account non-flexible deformations, are associated with important difficulties, which is conditioned with non-linear attitudes between stresses and deformations. For solving such tasks, the most convenient in terms of numerical realization is small flexible – plastic deformations theory of A. Iliyushin. However, rigidities obtained through relative simplicity calculation are so important that obtaining of real numerical results in case of especially strong physical nonlinearityis available only in case of boundary tasks of a certain type.

The work reviews the sloping cylindrical shell, two oppositecurve-circular edges of which are hingedly leaned, and the rest two are rigidly fixed. The load is evenly distributed towards th normal middle surface, but the process of the load is simple.

It means that during the deformation process the shell remains isotropic. Voltage – deformation dependence is the same in case of stretching and compression, but the deformations – minor (low). Physical non-rectilinear of the task reflects in crucial simultaneous equations with dependencies, which connect the strengths and moments with the deformations. These relations are obtained by A. Iliyushin.

Direct inputting of strengths and moments into the equilibrium equations and in the terms of continuity results a mixing type consisting of two equations, a system of private derivative differential equations, exact solution of which is impossible. The way of an approximate solution is based on A. Ilyushin flexible solutions method, which was used by the shell theory by I. S. Tsurkov.

In steep cylindrical shell under discussion each active strength and moment are presented in a form of assembly point, one of which is the same as for the linear reformative bodies, but the second one reflects the difference between full and linear

components. Because of such crucial equations system each equation divides into two parts: specification of linear and nonlinear members is carried out by the approximate method.