

მ. ვ. კაკოვი და ა. ს. კრუცსკი

ნაშენთა სტატიკა

თარგმანი რუსულიდან
ინჟ. მინ. დომ. კუვანიძისა

კორექტორი—შ. აფხაიძე
ს. ს. ნ.—50688
ჭ. ფ.—72×108
ტირაჟი—3000
შეკვეთა—№ 188.
მთავლ.—№ 29.
გადაეცა წარმოებას—13/III
ხელმოწერილია დასაბეჭდათ—13/IV

სტამბა—გამომცემლობა „ტექნიკა და შრომა“-სი

თავი პირველი

ბრაზიკული სტატიკის საფუძვლები

§ 1. სტატიკის ძირითადი ღებულებანი

თეორიულ მექანიკიდან ცნობილია, რომ ძალა სამი ელემენტით განიზღვრება: სიდიდით, მიმართულებით და მოდების წერტილით. ჩვეულებრივად ძალას ვექტორის სახით გამოხატავენ, ე. ი. გარკვეული მაშტაბით აღებული ხაზის მონაკვეთის სახით წარმოადგენენ, რომელსაც განსაზღვრულ მიმართულებას მინიჭებენ. ნახაზზე ვექტორის მიმართულება ისრით აღინიშნება და იკითხება მოდების წერტილიდან ისრისაკენ ორი ასოთი ან ერთი ასოთი, რომელიც ვექტორის შუა ადგილასაა დასმული; მაგალითად, ძალა AB მოქმედობს A წერტილიდან B წერტილისაკენ, ე. ი. მისი მიმართულებაა A-დან B-საკენ.

შემდგომი დასკვნების ჩაზოსაყალიბებლად თეორიულ მექანიკიდან გავიმეოროთ ჩვენთვის საჭირო ძირითადი აქსიომები და თეორემები:

ა) ერთ წერტილზე მოდებული ორი ძალა წონასწორდება; თუ იგინი სიდიდით ტოლი და წინაუკმოთ მიმართულნი არიან;

ბ) ერთ წერტილზე კუთხით მოქმედ ორ ძალას აქვს ტოლქმედი, რომელიც ამ ორ ძალაზე აგებული პარალელოგრამით მიიღება, და, ამ პარალელოგრამის დიაგონალს წარმოადგენს (სიდიდით და მიმართულებით);

გ) ერთ წერტილზე ერთმხრივ მოდებულ ორ ძალას აქვს ტოლქმედი, რომელიც ამ ორ ძალის ჯამს წარმოადგენს, იგივე წერტილზეა მოდებული და იმავე მხარესაა მიმართული;

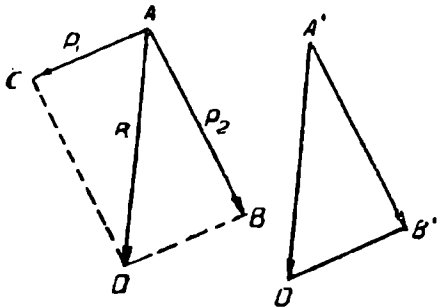
დ) ერთ წერტილზე წინაუკმოთ მოდებულ ორ ძალას აქვს ტოლქმედი, რომელიც ამ ძალთა სხვაობის ტოლია, უდიდესი ძალის მხრივაა მიმართული და იგივე წერტილზეა მოდებული;

ე) ერთ წერტილზე მოდებული მრავალი ძალის ტოლქმედის მისაღებად, შეგვიძლია ვისარგებლოთ ამ ძალთა მიმდევრობითი შეკრებით.

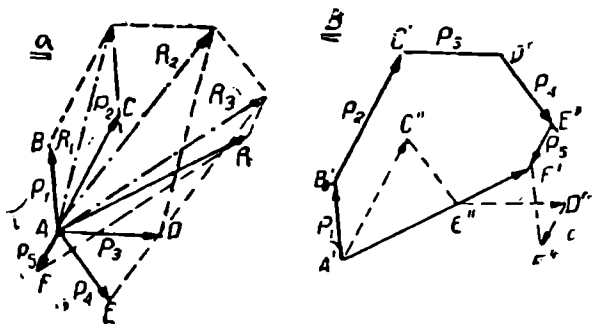
ამისათვის თავდაპირველად რაიმე ორ ძალას შევკრებთ, შემდეგ მიღებულ ტოლქმედსა და მესამე ძალას, ამის შემდეგ ახალ ტოლქმედსა და შემდეგ ძალას, და ა. შ. მანამდე, სანამ არ ამოიწურება ყველა მოცემული ძალები. ასე, მაგალითად, თუ მოცემული იქნება n ძალა, $(n - 1)$ პარალელოგრამების აგება მოგვიხდება.

§ 2. ძალთა უპირება და ღაზლა.

პარალელოგრამის აგების ნაცვლად ორი ძალის ტოლქმედის განზღვრისათვის ასეც შეგვიძლია მოვიქცეთ (ნახ. 1): ნებისმიერ A' წერტილიდან გაეატაროთ P_2 -ის გეომეტრიულად ტოლი $A'B'$ ვექტორი, უკანასკნელის B' ბოლოდან კი გაეავლოთ P_1 -ის გეომეტრიულად ტოლი $B'D'$ ვექტორი. მაშინ სამკუთხედს $A'D'$ გვერდით თუ ჩაგვეტავთ, ჩვენ მივიღებთ $A'D'$ ვექტორს, რომელიც გეომეტრიულად R ტოლქმედის ტოლია; ამ ტოლქმედის მოდების წერტილი უნდა გადავიტანოთ მხოლოდ P_1 და P_2 ძალების საერთო მოდების A წერტილში¹⁾.



ნახ. 1.



ნახ. 2.

ვაქვავთ, საპირა P_1, P_2, P_3, P_4 და P_5 ძალთა თანწყობის R ტოლქმედის განსაზღვრა (ნახ. 2, ა). ამისათვის ჯერ ვპოულობთ R_1 ტოლქმედს (რომელიც P_1 და P_2 ძალებზე აგებულ პარალელოგრამის დიაგონალს წარმოადგენს). შედეგად, ვკრებთ ამ ტოლქმედსა და P_3 ძალას და მივიღებთ ახალ R_2

¹⁾ საპირაა შენიშნოთ, რომ $A'D'B'$ ძალთა სამკუთხედში $A'D'$ ტოლქმედის მიმართულება ორ დანარჩენ გვერდთა მიმართულების შებრუნებულია.

ტოლქმედს. შემდეგ, P_1 ძალის მიმატებით მივიღებთ R_3 ტოლქმედს და, დაბოლოვს, R_3 და P_2 შეკრებით მოცემულ ძალთა სისტემის ანუ თანწყობის R ტოლქმედს მივიღებთ.

პარალელოგრამების ოთხი დიაგონალის აგების ნაცვლად იმავე ამოცანის ამოხსნას უფრო მარტივი წესით ბოვებებზე. ამისათვის ნებისმიერ A' წერტილიდან დაწყებული გავატარებთ $\overline{A'B'} = P_1$ ვექტორს. ამ ვექტორის B' ბოლოდან გავატარებთ $\overline{B'C'} = P_2$ ვექტორს. C' წერტილიდან გავატარებთ $\overline{C'D'} = P_3$ ვექტორს. D' წერტილიდან გავატარებთ $\overline{D'E'} = P_1$ ვექტორს და, დაბოლოს, E' წერტილიდან $\overline{E'F'} = P_2$ ვექტორს (ნახ. 2, ბ).

როგორც ნახ. 2-ის ნაკ. ა და ნაკ. ბ-ს შედარებიდან ჩანს, $A'F'$ ხაზი საძიებელი ტოლქმედის გეომეტრიულად ტოლ ვექტორს წარმოადგენს.

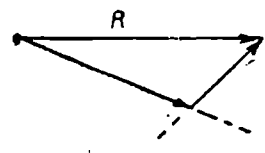
$A'B'C'D'E'F'A'$ მრავალკუთხედს ძალთა მრავალკუთხედი ეწოდება. ამნაირად, რამოდენიმე ძალის ტოლქმედი გეომეტრიულად ძალთა მრავალკუთხედის ჩამკეტი $A'F'$ ხაზის ტოლია.

ძალთა მრავალკუთხედში $A'F'$ ჩამკეტი წერტილად (ნულად) თუ იქცევა, ან სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუ ძალთა მრავალკუთხედი თავისთავად ჩაიკეტება, მაშინ ძალები ურთიერთ წონასწორდებიან¹⁾.

გრაფიკული წესით მთელი რიგი ძალების შეკრებით მიღებული შედეგი არ არის დამოკიდებული ძალთა შერჩევაზე ძალთა მრავალკუთხედის აგების დროს. ნახ. 2 ბ-დან ადვილი შესამჩნევია, რომ ძალთა მრავალკუთხედის აგებისას, ჩვენ მიმდევრობით P_2, P_1, P_2, P_1 და P_1 ძალები რომ გადავზომოთ, მაინც იგივე $A'F'$ ჩამკეტს მივიღებთ.

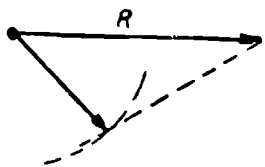
მოყვანილ მოსაზრებათა გამოყენებით, შესაძლებელი ხდება შექცეული ამოცანის ამოხსნა, სახელდობრ: შესაძლებელია მოცემული ძალის ორ ძალად დაშლა, რის დროსაც:

- 1) მოცემული უნდა იყოს ან ორთავე ძალის მიმართულება,
 - 2) ან ერთის სიდიდე და მიმართულება.
- ასეთ შემთხვევაში შემდეგნაირად იქცევით:
- 1) R ძალას დაშლიან ორ ძალად, რომელთა მიმართულება ცნობილია (ნახ. 3).



ნახ. 3.

R ძალის ბოლოებიდან მოცემულ მიმართულებათა პარალელური ხაზების გავლებით, ძალთა სამკუთხედს მივიღებთ. ისართა წესის დაცვით, ისართა ნაკადის მიმართულება ტოლქმედის ისრის შესაბევერათ მივმართოთ.



ნახ. 4.

- 2) R ძალა უნდა დავშალოთ ორ ძალად, რომელთაგანაც ცნობილია ერთის სიდიდე და მიმართულება (ნახ. 4).

¹⁾ იხე როგორც ძალთა სამკუთხედში $A'B'C'D'E'F'A'$ ძალთა მრავალკუთხედშიაც $A'F'$ ტოლქმედის მიმართულება ყველა დანარჩენი გვერდის მიმართულების შებერუნებულია.

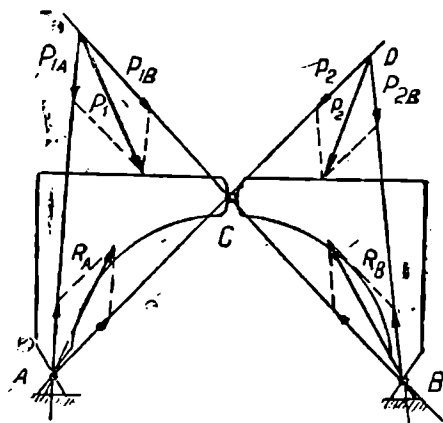
ძალის ერთ-ბოლოდან სიდიდის და მიმართულების მიხედვით გადავზომავთ მოცემულ მდგენელს. მოცემული ძალისა და პირველი მდგენელის ბოლოების მართკუთხედი მონაკვეთი მეორე მდგენელს წარმოადგენს (სიდიდით და მიმართულებით).

§ 3. საში ძალის წონასწორობა სივრცეში.

სიბრტყეზე სამი ძალის წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ სამივე ძალა ერთ წერტილზე გადიოდეს.

ეს იქიდან გამომდინარეობს, რომ სამი ძალიდან თითოეული ორი დანარჩენი ძალით უნდა წონასწორდებოდეს ან ამ ორ ძალთა ტოლქმედის წინააღმდეგ უნდა იყოს, ე. ი. იგი ამ ორი ძალის გადაკვეთის წერტილზე უნდა გადიოდეს. ამ შემთხვევისათვის აგებული ძალთა მრავალკუთხედი იქცევა ჩაკეტილ სამკუთხედათ, რომლის ყველა ისარი ერთი მხრისაკენაა მიმართული. ამ სამკუთხედის საშუალებით შესაძლებელი ხდება საყრდნობთა რეაქციების განსაზღვრისათვის მთელი რიგი პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნა, რაზედაც ჩვენ ახლა გადავდივართ.

ამოცანა 1. განვსაზღვროთ სამსახსრიანი თალის საყრდნობთა რეაქციები (ნახ. 5).



ნახ. 5.

ლები ურთიერთ შებრუნებული იყვნენ. მაშასადამე, მარჯვენა ნაწილი მარცხენა A საყრდნობს C სახსრით CA ხაზზე მიმართულ P_{2A} წნევას გადასცემს. მაშასადამე, A საყრდნობის რეაქცია P_{2A} წნევის პირდაპირ შებრუნებული მიმართულება აქვს, CA ხაზს გაჰყვება.

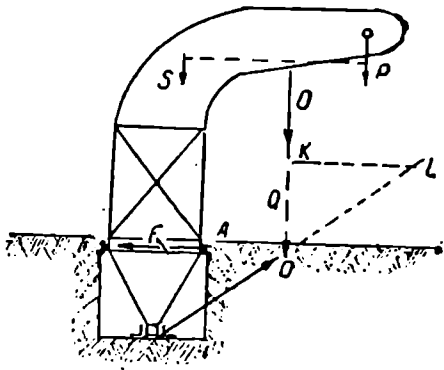
AC მიმართულებისა და P_2 ძალის მიმართულების შეხვედრის წერტილი D ასოთი აღვნიშნოთ. სამი ძალის წონასწორობის თეორემის მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ B საყრდნობის რეაქცია D წერტილზე უნდა გადიოდეს. B და D წერტილების შეერთებით მეორე P_{2B} მდგენელის მიმართულებას ვპოულობთ.

ამოხსნა. თავდაპირველად განვსაზღვროთ P_2 ძალის ქმედებით გამოწვეული რეაქციები, თუ ეს ძალა, როგორც ეს ნახაზიდან სჩანს, თალის მარჯვენა ნაწილზე მოქმედობს. P_2 ძალის ქმედება C სახსრით გადაეცემა თალის მარცხენა ნაწილს. ამნაირად, მარცხენა ნაწილი წონასწორობაში უნდა იმყოფებოდეს A საყრდნობის რეაქციისა და C სახსრით გადაცემული P_2 ძალის მდგენელის ქმედების დროს. წონასწორობის პირობა მოითხოვს, რომ ეს ძა-

საყრდნობთა P_A და P_B რეაქციების სიდიდეების მისაღებათ ჩვენ P_1 ძალა DA და DB მიმართულებებზე უნდა დავშალოთ (ისართა ნაკადი ერთ მიმართულებით მიემართოთ), თალის მარცხენა ნაწილზე მოქმედ ყველა ძალთა P_1 ტოლქმედის მიმართაც იგივე ხერხს თუ გამოვიყენებთ, საბოლოოთ R_A და R_B რეაქციებს ვიპოვით.

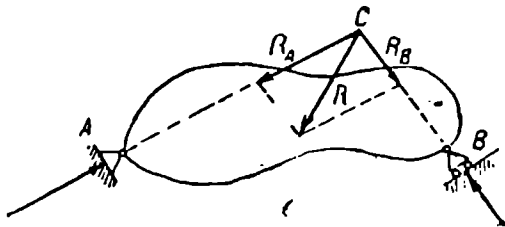
ამოცანა 2. განვსაზღვროთ სანაპირო ამწეს B საქუსლეს და A ყელის რეაქციები (ნახ. 6).

ამოხსნა. აღვნიშნოთ: ტვირთის წონა P -ით, ამწეს საკუთარი წონა S -ით, ამ ძალთა ტოლქმედი კი Q -ით. A ყელში წარმოიშობა ჰორიზონტალური რეაქცია. ეს რეაქცია F ასოთი აღვნიშნოთ. F რეაქციის Q ძალასთან D წერტილში თანაკეთის ადგილი განსაზღვრავს საქუსლეს რეაქციის მიმართულებას, რომელიც BD ხაზს თანხვედნა. რეაქციების სიდიდის განსაზღვრისათვის Q ძალა DKL სამკუთხედის მეშვეობით ორ მოცემულ მიმართულებით დავშალოთ. ამ დროს რეაქციათა მოძებნისათვის ისართა ნაკადი ერთმხრივ უნდა მიემართოთ, A და B საყრდნობებზე გადაცემული წნევის მოსაძებნად კი ისართა ნაკადი Q ძალის შესახვედრათ მიემართოთ.



ნახ. 6.

ამოცანა 3. ბრტყელი ბადრო ერთი ბოლოთი დაყრდნობილია სახსროვან საყრდნობზე და მეორე ბოლოთი სახსრითაა დამაგრებული (ნახ. 7). ვიპოვოთ ბადროზე მოდებულ ძალთა ქმედებით წარმოშობილი საყრდნობთა რეაქციები.



ნახ. 7.

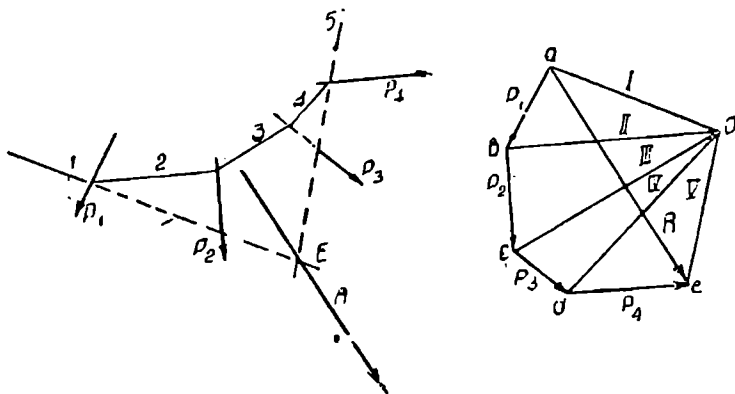
ამოხსნა. ყველა გარეძალთა ტოლქმედი R -ით აღვნიშნოთ. შოძრავი საყრდნობი წარმოშობს რეაქციას (რომელიც გორვის სიბრტყის ნორმალურია),

რომელიც R ძალასთან რომელიმე C წერტილში გადაკვეთება. სისტემის წონასწორობისათვის აუცილებელია, რათა A საყრდნობის რეაქციას C წერტილზე გამავალი მიმართულება ჰქონდეს. როცა ცნობილია ორთავე მდგენელის მიმართულება, ადვილად ვიპოვით საყრდნობთა R_A და R_B წნევებს, საყრდნობთა რეაქციები კი სიდიდით მათი ტოლები იქნებიან, ხოლო მიმართულებით შებრუნებულნი.

§ 4. თოკის მრავალკუთხედი.

ერთ სიბრტყეში მდებარე, მაგრამ სხვადასხვა წერტილებზე მოდებულ ძალების შეკრება შეიძლება ძალების გადატანით მათი ქმედების ხაზის გასწვრივ შემდეგი ძალის მიმართულების გადაკვეთამდე. ასეთი წყვილ-წყვილი შეკრებით ჩვენ საბოლოოთ ყველა ძალთა ტოლქმედს მივიღებთ. ძალთა მრავალკუთხედის აგება გვიადვილებს სხვადასხვა წერტილებზე მოდებულ ძალთა სისტემის ტოლქმედის პოვნას, რის დროსაც ამ მრავალკუთხედის ჩამოკეტი განსაზღვრავს ტოლქმედის სიდიდეს და მიმართულებას, მაგრამ არ გვაძლევს მისი მოდების წერტილს.

იმ წერტილის საპოვნელად, რომელზედაც უნდა გადიოდეს ტოლქმედის ნაპოვნი მიმართულება, გამოვიყენებთ თოკის მრავალკუთხედს (ვარიანიონის მრავალკუთხედი).



ნახ. 8.

ავიღოთ ძალთა P_1, P_2, P_3 და P_4 სისტემა (ნახ. 8). ავაგებთ ძალთა $abcde$ მრავალკუთხედს და ვპოულობთ ტოლქმედს:

$$R = \overline{ac}.$$

ნებისმიერ O წერტილიდან, რომელსაც პოლუსი ეწოდება, გავატარებთ სხივებს: Oa, Ob, Oc, Od და Oe . შემდეგ ავაგებთ თოკის მრავალკუთხედს 1, 2, 3, 4, 5. ამისათვის ნებისმიერ წერტილზე გავატარებთ Oa

სხივის პარალელურ 1 გვერდს P_1 ძალას მიმართულების გადაკეთამდე, ამ წერტილიდან გვატარებთ Ox სხივის პარალელურ 2 გვერდს P_2 ძალის მიმართულების გადაკეთამდე და ა. შ.

P_1 ანუ \overline{ab} ძალას ორ $a\overline{O}$ და \overline{Ox} მდგენელად დავშლით;

P_2 ანუ $b\overline{c}$ $b\overline{O}$ და \overline{Ox}

P_3 ანუ \overline{cd} \overline{cO} და \overline{Ox}

P_4 ანუ \overline{dc} $d\overline{O}$ და \overline{Ox}

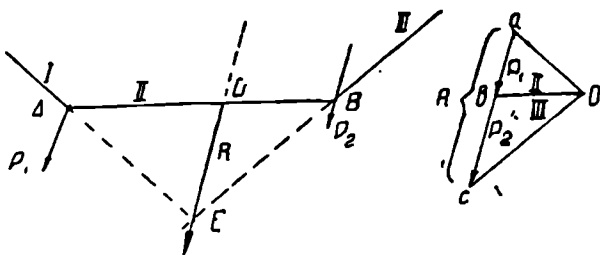
ყველა ძალების შეკრებით, ჩვენ მათ დაიყვანთ თოკის მრავალკუთხედის ნაპირა 1 და 5 გვერდების პარალელურ HO და Ox ძალებზე. მაშასადამე, თოკის მრავალკუთხედის ნაპირა გვერდების გადაკეთის წერტილზე ae ტოლქმედის ქმედების ხაზი გადის.

თოკის მრავალკუთხედის გვერდთა აგების დროს აუცილებლად ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, რომ გვერდები იმ ძალამდე იქნეს გატარებული, რომლის დასაბამში ძალთა სხივი დასახულ გეგმაში გადის. ძალთა მრავალკუთხედის აგების დროს მიღებული ძალთა მიმდევრობა დატული უნდა იყოს თავის მრავალკუთხედის აგების შემთხვევაშია!).

იმ შემთხვევაში, როცა ყველა ტვირთები შეეულია, ძალთა მრავალკუთხედი შეეულ სწორხაზად იქცევა, და, მაშინ ამ სწორხაზზე პოლუსიდან დაშვებული პერპენდიკულარის სიგრძეს საპოლუსო მანძილს უწოდებენ. მიღებულ შედეგების მეტი სიზუსტისათვის საჭიროა საპოლუსო მანძილის შერჩევა ხაზობრივი მასშტაბის მთელ ერთეულებში.

§ 5. თოკის მრავალკუთხედის საშუალებით პარალელურ ძალთა შეკრება.

ამოცანა 4. შევკრიბოთ ერთმხრივ მიმართული ორი პარალელური ძალა (ნ.ხ. 9).



ნ.ხ. 9.

ამოცანა. ძალთა მრავალკუთხედის აგების შესრულებით, რომელიც სწორხაზად იქცევა, და თოკის მრავალკუთხედის აგების შემდეგ, ეპოლობთ

1) თოკის მრავალკუთხედის პირველი გვერდის ასაგებად სხვა პოლუსს ან სხვა დასაბამ წერტილს თუ შევარჩევთ და იმავე აგებას ვაწარმოებთ შევიძინებთ, რომ მთელი ანაგები გადინაცულებს ადგილს. მაგრამ იმ წერტილის ადგილმომინაცულება, რომელზედაც გადის ტოლქმედი, მის ქმედების ხაზის გასწვრივ მოხდება.

ნაპირა I და III გვერდების თანაკვეთის E წერტილს, ე. ი. იმ წერტილს, რომელზედაც მოცემულ ძალთა ტოლქმედი გაივლის.

განვიხილოთ ΔabO და ΔAED სამკუთხედები, რომელნიც გვერდთა პარალელურობისა გამო მზგავსნი არიან. აქედან გამომდინარეობს, რომ

$$P_1 : DE = Ob : AD;$$

ΔbOc და ΔDEB სამკუთხედთა მზგავსებიდან გვაქვს:

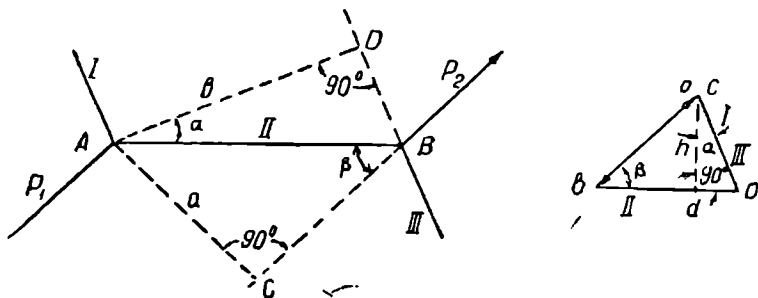
$$P_2 : DE = Ob : DB.$$

პირველი ფარდობის მეორეზე გაყოფით, ვპოულობთ:

$$P_1 : P_2 = DB : AD,$$

ე. ი. ჩვენ იგივე ფარდობა მივიღეთ, რომელიც თეორიულ მექანიკაში ანალიზურად იყო ამოხსნილი, სახელდობრ: ორი პარალელური ძალის ტოლქმედი ამ ძალების მართებელ მონაკვეთს ძალთა უკუპროპორციულ ნაწილებად დაყოფს.

ამოცანა 5. შევკრიბოთ ორი ტოლი, პარალელური და სხვადასხვა მხრივ მიმართული (წყვილი) ძალები (ნახ. 10).



ნახ. 10.

ამოხსნა. ამ შემთხვევაში ძალთა მრავალკუთხედი ab მონაკვეთზე დაიყვანება, რომელიც (მრავალკუთხედი) ჩაკეტილი იქნება, რადგან ბოლო c წერტილი საწყის a წერტილთან თანხვედება. სადაც არ უნდა ავარჩიოთ O პოლუსი, I და III სხივები ძალთა გვეგმაში თანხვედებიან, ხოლო მათი სათანადო თოკის მრავალკუთხედის გვერდები თანაპარალელური აღმოჩნდებიან. ამნაირად, ტოლქმედის სიდიდე ნულის ტოლი აღმოჩნდა, ნაპირა სხივების გადაკვეთა კი უსასრულოდ მოხდება. ეს ადასტურებს ჩვენთვის ცნობილ დებულებას, რომ წყვილ-ძალას ტოლქმედი არა აქვს.

P_1 ძალის I და II მიმართულებით დაშლით ჩვენ მივიღებთ, რომ

$$\vec{P}_1 = \vec{a}O + \vec{Ob},$$

რის დროსაც aO მიმართულია I გასწვრივ. P_2 ძალის II და III მიმართულებებზე დაშლით კი შევამჩნევთ, რომ:

$$\vec{P}_2 = \vec{b}O + \vec{Ob}.$$

სადაც \overline{bO} მდგენელი \overline{Oa} მდგენელის შესახვედრად მიენართება II მიმართულებით, \overline{Oa} ძალა კი I-ის პარალელურ III ვეგრდზე მიემართება. მაშასადამე, ჩვენ შეიერ შესრულებულმა აგებამ საშუალება მოგვცა რათა (P_1, P_2) წყვილძალა მისი ექვივალენტური მეორე (aO, Oa) წყვილძალით შეგვეცვალა.

$\triangle ABC$ და $\triangle abd$ სამკუთხედოა და $\triangle ABD$ და $\triangle adO$ სამკუთხედოა მზგავსებიდან (როგორც ტოლკუთხიანი სამკუთხედები) გამომდინარეობს, რომ ახალი წყვილძალა ექვივალენტურია მოცემულ წყვილ-ძალისადმი.

გვაქვს:

$$AB : a = P \quad h, \text{ საიდანაც } P \cdot a = AB \quad h;$$

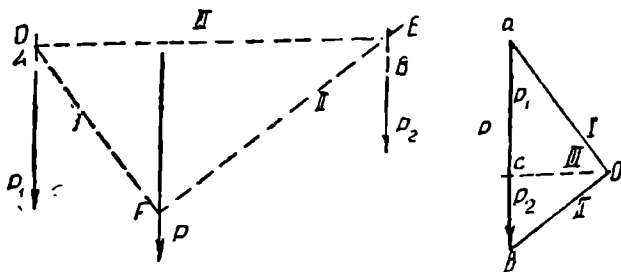
$$AB \quad b = aO \quad h, \text{ საიდანაც } aO \quad b = AB \quad h.$$

აქედან მივიღებთ:

$$P \cdot a = aO \quad b,$$

ე. ი. მოცემული წყვილძალის მომენტი უდრის იმ წყვილძალის მომენტს, რომელზედაც დაყვანილი იქმნა აგება.

ამოცანა 6. P ძალა ორ A და B წერტილებზე მოღებულ P_1 და P_2 პარალელურ ძალებად დაეშალოთ (ნახ. 11).



ნახ. 11.

ამოხსნა. ავაგებთ abO ძალთა გეგმას, სადაც O ნებისმიერი პოლუსია. P_1 ძალის მიმართულებით მდებარე D წერტილზე P ძალის F წერტილში თანაკვეთამდე გავატაროთ I სხივი. F წერტილიდან P_2 ძალის E წერტილში გადაკვეთამდე გავატაროთ II სხივი. D და E წერტილების შეერთებით III სხივის მიმართულებას მივიღებთ. O პოლუსიდან გავატარებთ Oci DE სხივს და ეპოულობთ c წერტილს, რომელიც P_1 და P_2 მდგენელთა სიდიდეს განსაზღვრავს. მიღებულ ძალებს A და B წერტილებში გადავიტანთ.

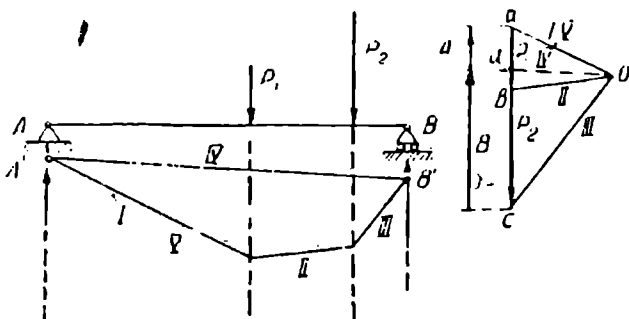
§ 6. ძალთა თანწყობის წონასწორობის პირობები. ორ საუპღნოგზე მდებარე კოზის უმთხვამაში საუპღნოგთა რეაქციების კოვნა.

ძალთა თანწყობა წონასწორობაშია, თუ დაცული იქნება ორი დებულება: 1) ძალთა სისტემის ანუ თანწყობის ტოლქმედი თუ ნულის ტოლია და 2) თუ ამ ძალებზე აგებული თოკის მრავალკუთხედის პირველი და უკანასკნელი გვერდები ერთ სწორხაზზე ძევს.

პირველი პირობა შესრულებული იქნება, როცა ძალთა მრავალკუთხედი ჩაკეტილ კონტურს მოგვცემს; ვინაიდან ძალთა ჩაკეტილ მრავალკუთხედში პირველი და უკანასკნელი სხივები თანხვედნილია, ამიტომ თოკის მრავალკუთხედის პირველი და უკანასკნელი გვერდები ერთიდაიგივე სხივის პარალელურად გავლებულნი უნდა იყვნენ. იგინი ერთ სწორ ხაზზე რომ არ ყოფილიყვნენ მდებარე, მაშინ პარალელურობისა გამო, ისეთ წყვილ ძალას შეადგენდენ, რომლის მხარი თოკის მრავალკუთხედის ნაპირა გვერდებს შორის მანძილის ტოლი იქნებოდა. წყვილძალის მდგენელ თითოეული ძალის სიდიდე ძალთა გეგმაში პირველი სხივის სიგრძით განისაზღვრება

ამრიგად, ძალთა თანწყობის წონასწორობის პირობები იმაში მდგომარეობს, რომ როგორც ძალთა მრავალკუთხედი, ისე თოკის მრავალკუთხედი ჩაკეტილი იყოს¹⁾.

ამოცანა 7 განვსაზღვროთ ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე და P_1 და P_2 ძალებით დატვირთული კოქის საყრდნობთა რეაქციები (ნახ. 12).



ნახ. 12.

ამოხსნა. მასშტაბში გადავზომავთ ძალებს

$$P_1 = ab \text{ და } P_2 = bc.$$

შევარჩევთ ნებისმიერ O პოლუსს. Oa, Ob და Oc სხივებს გავატარებთ. ნებისმიერ A' წერტილიდან A საყრდნობის რეაქციის მიმართულებაზე გავატარებთ თოკის მრავალკუთხედის I გვერდს P_1 ძალის მიმართულების გადაკვეთამდე. მიღებულ თანაკვეთის წერტილიდან გავატარებთ II გვერდს P_2 ძალის მიმართულების შეხვედრამდე. დაბოლოს, II გვერდის P_2 ძალასთან თანაკვეთის წერტილზე გავატარებთ III გვერდს B საყრდნობის რეაქციის მიმართულებაზე მდებარე B' წერტილში გადაკვეთამდე.

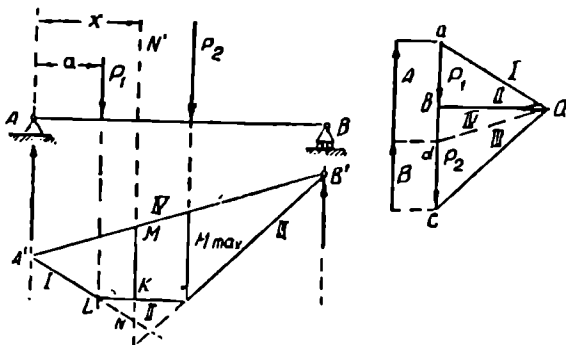
კოქზე სულ ოთხი ძალა მოქმედობს¹⁾. მაშასადამე, თოკის მრავალკუთხედის გვერდთა რიცხვი ხუთი უნდა იყოს, ვინაიდან საყრდნობთა რეაქციებმა

¹⁾ თოკის მრავალკუთხედი ჩაკეტილათ ითვლება, როცა მისი, ნაპირა გვერდები თანხვედნიან (ერთ სწორხაზზე).

¹⁾ P_1 და P_2 აქტიური ძალებია, A და B საყრდნობთა რეაქციებია.

თანწყობა წონასწორობის მდგომარეობაში უნდა მოიყვანოს. ამიტომ თოკის მრავალკუთხედი ჩაეკტილი უნდა იყოს; ე. ი. მისი I' გვერდი I გვერდს უნდა დაემთხვეს. მაშასადამე, IV' გვერდის მისაღებათ B' წერტილი (III გვერდს ბოლო) A' წერტილს (V გვერდის დასაბამი) უნდა შეუერთოთ. ძალთა გეგმაში გავატაროთ Od სხივი (თოკის მრავალკუთხედის IV' გვერდის პარალელური!).

ამოცანა 8. განვსაზღვროთ ორ საყრდნობზე თავისუფლად მცება რეკონსოლიანი კოქის საყრდნობთა რეაქციები, თუ კოქი განიცდის შთაწერტული P₁, P₂, P₃, P₄ და P₅ ტვირთების ქმედებას (ნახ. 13).



ნახ. 13.

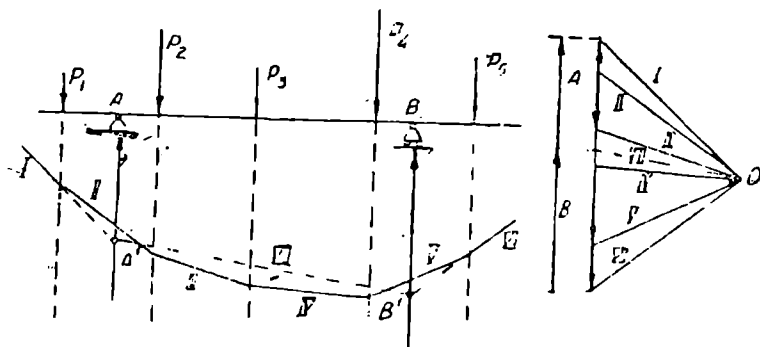
ამოხსნა. P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ ძალთა მიმდევრობით (მარცხნიდან მარჯვნივ) ავაგებთ ძალთა მრავალკუთხედს. შევარჩევთ O პოლუსს და გავატარებთ ექვს სხივს. თოკის მრავალკუთხედის გვერდთა რიცხვი (ხუთი ძალისა და ორი რეაქციის შემთხვევაში) რვის ტოლია, რის დროსაც წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ მერვე გვერდი პირველს დაემთხვეს. აგებას წინანდებურად ვიწყებთ, ე. ი. A რეაქციის მიმართულებაზე შევარჩევთ რაიმე A' წერტილს და ამ წერტილზე P₁ ძალის 'ზეხვედრამდე I სხივის პარალელურად გავატარებთ თოკის მრავალკუთხედის I გვერდს. I გვერდის P₁ ძალასთან თანაკვეთის წერტილიდან P₂ ძალის მიმართულების 'ზეხვედრამდე გავატარებთ II გვერდს, შემდეგ P₃ ძალის მიმართულების გადაკვეთამდე — III გვერდს, და, დაბოლოს P₄ ძალის მიმართულების გადაკვეთამდე გავატარებთ IV' გვერდს. V გვერდს გავატარებთ P₅ ძალის მიმართულების 'ზეხვედრამდე და VI გვერდს B რეაქციის მიმართულების B' წერტილში თანაკვეთამდე ვაგრძელებთ. ვინაიდან თოკის მრავალკუთხედის მერვე გვერდი პირველს უნდა ემთხვეოდეს, ამიტომ მეშვიდე გვერდი A' და B' წერტილებს უნდა აერთებდეს. თოკის მრავალკუთხედის მეშვიდე გვერდის პარალელურად (O პოლუსზე) გავატარებთ VII სხივს, რომელიც ძალ-

¹⁾ რადგან A რეაქცია მოთავსებულია თოკის მრავალკუთხედის IV და I (ანუ V) გვერდებს შორის, ამიტომ ძალთა გეგმაში da მონაკვეთი, რომელიც სათანადო სხივებს შორის ძევს, განსაზღვრავს A-რეაქციის სიდიდეს. ანაირადვე cd მონაკვეთი გვაძლევს ჩვენ B რეაქციის სიდიდეს.

თა მრავალკუთხედს B და A რეაქციებს სათანადო ორ ნაწილად გაყოფს. ამ დროს, ვინაიდან A მიმართულება I და VI გვერდებით გადიკრება, ამიტომ ძალთა გეგმაში A რეაქციის სიდიდე I და VI სხივებს შორის უნდა ვეძიოთ. სწორედ ასევე, იმის გამო, რომ B რეაქციის მიმართულება VI და VII გვერდებით იკვეთება, ამიტომ ძალთა გეგმაში B რეაქციის სიდიდე VI და VII სხივებს შორის უნდა ვეძიოთ.

§ 7. ორ საპარდნოგზე თავისუფლად მდებარე და შთაწერტული ტვირთების ზეგავლენაში მათი კოჰის მდუნავი მომენტის განსაზღვრა (გრაფიკული წესით).

ვთქვათ, კოჰი შთაწერტული P_1 და P_2 ტვირთებითაა დატვირთული (ნახ. 14). ძალის და თოკის მრავალკუთხედების აგებით განესაზღვრაეთ A და B რეაქციებს.



ნახ. 14.

A საყრდნობიდან x მანძილზე (P_1 და P_2 ძალებს შორის) გავატაროთ NN' კვეთი. ამ კვეთში მდუნავი მომენტი იქნება:

$$M_x = A \cdot x - P_1(x - a).$$

თოკის მრავალკუთხედის I და III გვერდები ურთიერთ თანაკვეთამდე განვავრძოთ. გვერდთა პარალელურობისა გამო

$$\Delta LKN \text{ ო } \Delta abO.$$

საპოლუსო მანძილს H ასოთი თუ აღვნიშნავთ, მივიღებთ პროპორციას:

$$KN : KL = P_1 : bO \text{ ანუ } KN : (x - a) = P_1 : H.$$

მაშასადამე:

$$P_1(x - a) = KN \cdot H.$$

შემდეგ $A'MN$ და adO სამკუთხედთა მზგაგაცხებიდან გვაქვს:

$$NM : x = A : H,$$

საიდანაც:

$$A \cdot x = NM \cdot H.$$

მიღებულ მნიშვნელობებს M_x მლუნავი მომენტის ფორმულაში თუ ჩავსვამთ, მივიღებთ:

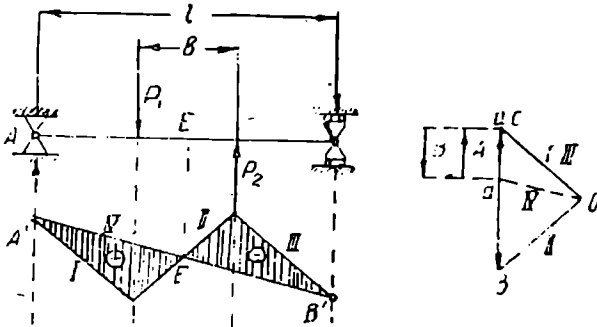
$$M_x = NM \cdot H - KN \cdot H = (NM - KN) H = MK \cdot H,$$

ე. ი. მლუნავი მომენტი უდრის საპოლუსო მანძილს გამრავლებულს მოცემული კვეთის სათანადო თოკის მრავალკუთხედის ორდინატაზე¹⁾.

ვინაიდან საპოლუსო მანძილი—მუდმივი სიღიღეა (მოცემული ნახაზისათვის), ამიტომ უდიდესი მომენტი იმ კვეთში იქნება მოთავსებული, სადაც თოკის მრავალკუთხედის ორდინატა უდიდესია. მე-14-ე ნახაზიდან ნათლად სჩანს, რომ უდიდესი მლუნავი მომენტი იმ კვეთში იქნება მოთავსებული, სადაც მოდებულია P_2 ძალა.

ღუნვის მომენტის რიცხვითი სიღიღის განსაზღვრისათვის თოკის მრავალკუთხედის ორდინატები ძალთა მასშტაბის მიხედვით უნდა გადავზომოთ, საპოლუსო მანძილი კი თოკის მასშტაბის მთელ ერთეულთა რიცხვის ჯერადათ უნდა შევარჩიოთ²⁾.

ამოცანა 9. ნახ 15-ზე წარმოდგენილ შემთხვევისათვის განვსაზღვროთ მლუნავი მომენტი, თუ თოკი (P_1 P_2) წყვილ ძალის ქმედებას განიცდის (ნახ. 15).



ნახ. 15.

ამოხსნა. ორ საყრდნობზე მდებარე თოკზე ძალის შუა ადგილას¹⁾ სიმეტრიულად მოდებულია b მხარიაანი წყვილი ძალა. ვაგებთ ძალთა aba მრავალ-

¹⁾ ამ შემთხვევაში ორდინატთა იგულისხმება MK მონაკვეთი, რომელიც კვეთზე გავლებული შეეხება ნაწილი და თოკის მრავალკუთხედის გვერდების მიერაა მოკვეთილი.

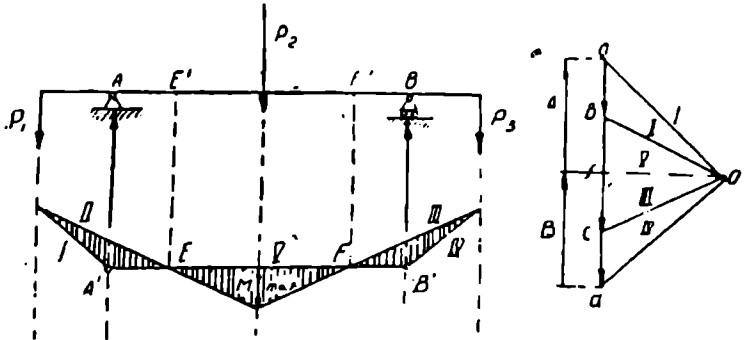
²⁾ ცხადია, რომ ჩვენ იმავე შედეგს მივიღებდით საპოლუსო მანძილი ძალთა მასშტაბში რომ აგველო, ორდინატა კი მანძილთა მასშტაბში. ადვილი დასაჯერებელია, რომ P_1 და P_2 ძალებს შორის აღებული კვეთის მიმართ ნაწარმოები ამოხსნები სამართლიანი რჩება AB თოკის ნებისმიერ კვეთისთვისაც.

კუთხედს, რომელიც ამ შემთხვევაში ჩაკეტილია, ე. ი. I და III სხივები თანხედებიან. A რეაქციის მიმართულებაზე შევარჩევთ A' წერტილს და ვაგებთ თოკის მრავალკუთხედის I და III გვერდებს. წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ საყრდნობთა რეაქციებმა შექმნან ისეთი წყვილი, რომელიც გააწონასწორობს მოცემულ (P_1, P_2) წყვილ-ძალას, ე. ი. აუცილებელია, რომ V' გვერდი დაემთხვეს I გვერდს, IV' გვერდმა კი შეაერთოს A' და B' წერტილები.

O პოლუსზე თოკის მრავალკუთხედის IV' გვერდის პარალელურად Od სხივის გავლებით დავრწმუნდებით, რომ A და B რეაქციები ურთიერთ სიდიდით თანატოლებია, მაგრამ A რეაქცია ზემოთაა მიმართული, B რეაქცია კი ქვემოლ მიემართება. მათი სიდიდე ad-ს ტოლია. ამნაირად მთელი ძალთა მრავალკუთხედი იქნება abada.

A საყრდნობზე, მალის შუა E კვეთში და B საყრდნობზე მლუნაეი მომენტი ნულის ტოლი აღმოჩნდა. მაშასადამე, E კვეთში ადგილი აქვს გალუნული ღერძის გადალუნვას (ბუნებრივ სახსარს) და მის ორთავე მხარის მომენტებს სხვადასხვა ნიშნები აქვთ. საშიში კვეთები მოცემულობით თანატოლ P_1 და P_2 ტვირთებს ქვემოდაა მოქცეული.

ამოცანა 10. განვსაზღვროთ უდიდესი მლუნაეი მომენტი კონსოლიანი კოქის დატვირთვის შემთხვევისათვის, რომელიც ნახ. 16-ზეა გამოსახული.



ნახ. 16.

ამოხსნა. ვაგებთ ძალთა მრავალკუთხედს. A რეაქციის მიმართულების ხაზზე A' წერტილის არჩევის შემდეგ P_1 ძალის მიმართულების ხაზის შეხვედრამდე ავაგებთ თოკის მრავალკუთხედის I გვერდს. შემდეგ P_2 ძალის მიმართულების შეხვედრამდე ვაგავლებთ II გვერდს, P_3 ძალის მიმართულების შეხვედრამდე III გვერდს, P_3 ძალიდან B რეაქციის მიმართულებაზე B' წერტილამდე ვაგებთ IV' გვერდს. A' და B' წერტილების შეერთებით ვპოულობთ V' გვერდის მიმართულებას, V' გვერდი კი ემთხვევა I გვერდს. ძალთა გეგმაში V' სხივის გავლებით ვპოულობთ, რომ საყრდნობთა რეაქციებია:

$$B = dF \text{ და } A = Fa.$$

ამ შემთხვევაში უდიდეს მლუნავე მომენტს შუა ტვირთის ქვეშ მივიღებთ. გვაქვს იარაღად გადაღუნის წერტილები: წერტილი E და F. ნახაზიდან ჩანს, რომ საყრდნობებზე უარყოფითი მლუნავე მომენტები მიიღება.

კითხვები და ამოცანები განმარტებისათვის.

1. მოცემულია ერთ O წერტილზე მოდებული ძალები: $P_1 = 10 \text{ kg}$, $P_2 = 15 \text{ kg}$, $P_3 = 10 \text{ kg}$ და $P_4 = 20 \text{ kg}$. ამ ძალებს შორისი კუთხეები:

$$\angle(P_1, P_2) = 30^\circ; \angle(P_2, P_3) = 90^\circ; \angle(P_3, P_4) = 120^\circ.$$

გრაფიკულად განსაზღვრეთ ძალთა ტოლქმედი ძალთა გვეგმის აგებით შემდეგი მიმდევრობით:

1) $P_1 P_2 P_3 P_4$ და 2) $P_2 P_4 P_1 P_3$.

შეადარეთ შედეგები.

2. აქვს თუ არა მნიშვნელობა ნახ. 4-ზე მოცემულ ამოცანაში იმას, თუ რა წესით გადავზომავთ მოცემულ მდგენელ ძალას? შეიძლებოდა თუ არა მისი აგება R ძალის მეორე ბოლოდან?

3. მოცემულია ძალა: $P = 18 \text{ kg}$. დაეშალოთ იგი P ძალიდან 4 და 5 cm დაშორებულ B და A წერტილებზე გამავალი ორი მისი პარალელური მიმართულებით. შედეგები შეამოწმეთ ანალიზური გამოთვლით.

4. იქნება თუ არა ძალთა სისტემა (თანწყობა) წონასწორობაში, თუ აგებ-ბის დროს ძალთა მრავალკუთხედი ჩაკეტილი აღმოჩნდა? საკმარისია თუ არა ეს პირობა?

5. როგორ უნდა განისაზღვროს მლუნავე მომენტი ორ საყრდნობზე თავის-სუფლად მდებარე კოკის რაიმე კვეთში, როცა კოქზე მოქმედობს შთაწერტუ-ლი ძალები? გამოიყენეთ გრაფიკული მეთოდი.

6. როგორ უნდა განისაზღვროს გრაფიკულად თანაბრად დატვირთული კოკის რაიმე კვეთში მლუნავე მომენტი?

7. ამოცანა 9-ში როგორ გაიკებთ A და B ძალებიდან თუ რომელი მიე-მართება ზემოდ, და რომელი ქვემოდ?

8. ნახ. 15-ზე გამოსახულ კოკისათვის გრაფიკულად განსაზღვრეთ საყრ-დნობთა რეაქციები და მაქსიმალურად მლუნავე მომენტი, თუ $P_1 = P_2 = 30 \text{ kg}$; $l = 6 \text{ mt}$; $b = 4 \text{ mt}$. შედეგები ანალიზურა წესით შეამოწმეთ.

9. მოცემულია ნახ. 16-ზე წარმოდგენილი კონსოლიანი კოქი. მალი $l = 6 \text{ mt}$, თითოეული კონსოლი $a = 1,5 \text{ mt}$; კონსოლების ბოლოებზე დატვირ-თვაა $P_1 = P_2 = 10 \text{ kg}$, მალის შუაში კი $P_3 = 25 \text{ kg}$. გრაფიკულად და ანალიზურ-რად განსაზღვრეთ საყრდნობთა რეაქციები, მლუნავე მომენტები საყრდნობებზე და მალის შუა ადგილას.

10. თოკის მრავალკუთხედი რა შემთხვევაში ითვლება ჩაკეტილად?

11. ნახ. 16-ზე წარმოდგენილი ამოცანებისათვის გამოსახეთ გალუნული ღერძის სახეობა.

12. როგორ სახეს მიიღებს მლუნავე მომენტების ეპიურა და გალუნული ღერძი, თუ ამოცანა 10-ში (ნახ. 16) P_2 ძალას შეამცირებთ 5-ჯერ?

§ 8. სიმძიმის ცენტრის განსაზღვრა გრაფიკული წესით.

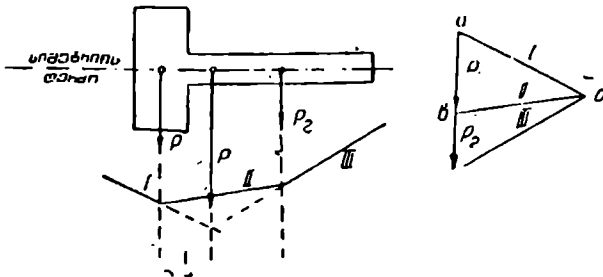
თეორიული მექანიკის კურსიდან ცნობილია, რომ სიმეტრიის თეორია აადვილებს სიმძიმის ცენტრის მოძებნის ამოცანას. როცა სხეულს სიმეტრიის ღერძი აქვს, მაშინ სიმძიმის ცენტრი ამ ღერძზეა მოთავსებული; თუ კი სხეულს სიმეტრიის ცენტრი აქვს, მაშინ იგი ამავე დროს სიმძიმის ცენტრიც იქნება.

გრაფიკულად ბრტყელი ნაკეთის სიმძიმის ცენტრის მოძებნის ამოცანა იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვენ ნაკეთის ფართობს ისეთ ნაწილებად დავყოფთ, რომელთა სიმძიმის ცენტრები ჩვენთვის ცნობილია, და ამ სიმძიმის ცენტრებზე ნაკეთის სათანადო ნაწილთა ფართობების პროპორციულ ურთიერთ პარალელურ ძალებს მოვდებთ. შემდეგ ძალების და თოკის მრავალკუთხედების საშუალებით ვპოულობთ ამ პარალელურ ძალთა ტოლქმედის ქმედების ხაზს. ამ ქმედების ხაზზე ნაკეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრი ძევს. ძალები თავის მოდების წერტილების ირგვლივ ერთიადიგივე კუთხით რომ მოგვებრუნებია და ასეთივე აგება გვეწარმოებია, მაშინ ჩვენ ტოლქმედისათვის ახალ ქმედების ხაზს ვიპოვრდით.

ძალები 90° კუთხით მოვებრუნოთ (ხაზთა გადაკვეთის წერტილები მეტი სიცხადით მიიღება 90° -თან შიახლოებული კუთხეების შემთხვევაში). შემდეგ, ახალ მდებარეობაში ახალი თოკის მრავალკუთხედის აგებით, ახალი ტოლქმედის ქმედების ხაზს ვპოულობთ. იგი პირველი ტოლქმედის ქმედების ხაზის გადაკვეთამდე გავაგრძელოთ. ამ გადაკვეთის წერტილში საძიებელი სიმძიმის ცენტრი მოთავსდება.

მეორე თოკის მრავალკუთხედის აგებისათვის აუცილებელი არ არის მობრუნებულ მდებარეობაში მეორე თოკის მრავალკუთხედის აგება, — მეორე თოკის მრავალკუთხედის გვერდები პირველი ძალთა მრავალკუთხედის სხივების პერპენდიკულარულად შეგვიძლია გავავლოთ, რის დროსაც გულდასმით უნდა მივიღოთ სათანადო ძალთა გადაკვეთამდე გვერდთა მიმდევრობითი გავლებას.

ამოცანა 11 განესაზღვროთ ტესებრი ფართობის სიმძიმის ცენტრი (ნახ. 17).

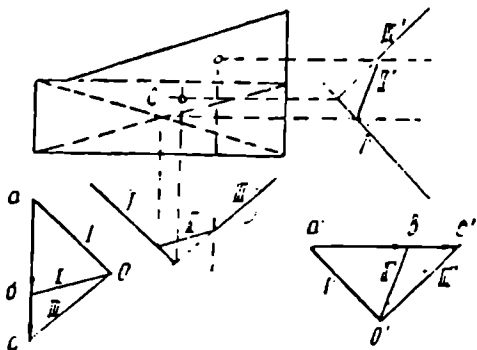


ნახ. 17.

ამოხსნა. ვინაიდან ნაკეთს სიმეტრიის ღერძი აქვს, ამიტომ მასზევე უნდა მდებარეობდეს სიმძიმის ცენტრიც. ნაკეთს დავყოფთ ორ სწორკუთხედათ

რომელთა სიმძიმის ცენტრები ცნობილია. ამ ცენტრებში სწორკუთხედების ფართობთა პროპორციულ P_1 და P_2 ძალებს მოვდებთ. ამ ძალებისათვის თოკისა და ძალთა მრავალკუთხედების საშუალებით ვპოულობთ P ტოლქმედს. ამ ტოლქმედის სიმეტრიის ღერძთან გადაკვეთა ნაკეთის სიმძიმის ცენტრს გვაძლევს.

ამოცანა 12. ნახ. 18-ზე წარმოდგენილ ნაკეთისათვის ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრი.



ნახ. 18.

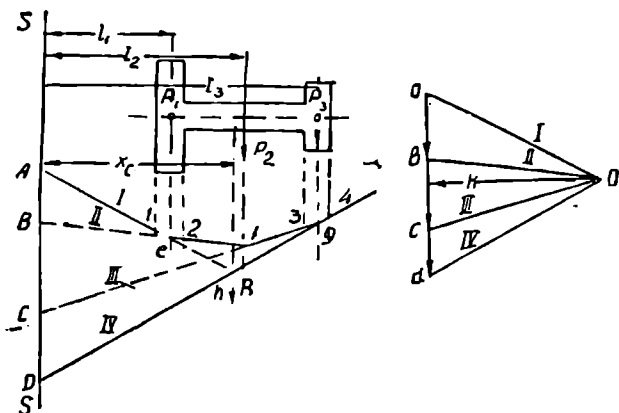
ამოხსნა. მოცემული ნაკეთის ფართობს სამკუთხედათ და სწორკუთხედათ დავყოფთ, და, მათ სიმძიმის ცენტრებში ფართობთა პროპორციულ P_1 და P_2 ძალებს მოვდებთ. წინანდელი ამოცანის პროცედურის თანაგვარად P_1 და P_2 ძალთა ტოლქმედის ქმედების ხაზს ვპოულობთ. სიმძიმის ცენტრი სადღაც ამ ხაზზე მდებარეობს. შემდეგ P_1 და P_2 ძალებს ნებისმიერ მიმართულებას თუ მივცემთ, და ხელახლა ვიპოვივთ ტოლქმედს, მაშინ ორთავე ტოლქმედის გადაკვეთის წერტილი ნაკეთის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობას განსაზღვრავს. საზოგადოთ სულერთია თუ რა მიმართულებას მივცემთ მოცემულ ძალებს, მაგრამ რადგან გრაფიკული აგების დროს უმციროესი ცდომილება ხაზების სწორი კუთხით გადაკვეთისას არის მოსალოდნელი, ამიტომ ეს მიმართულება შეტად სასურველია. მახვილი ან ბლაგვი კუთხით ხაზების გადაკვეთისას მნიშვნელოვანი ცდომილებებია მოსალოდნელი. მივდევთ ზემოდ ნათქვამ წესს. ავაგებთ თოკისა და ძალთა მრავალკუთხედებს და ტოლქმედების თანაკვეთის ადგილში სიმძიმის ცენტრს ვპოულობთ.

§ 9. მოცემული ღერძის მიმართ ფართობის სტატიური მომენტის განსაზღვრა გრაფიკულად.

ნახ. 19-ზე წარმოდგენილი ფართობისათვის განესაზღვროთ სტატიური მომენტი S_S ღერძის მიმართ. სტატიური მომენტი უდრის

$$S = F \cdot x_c = \sum F_i \cdot l_i.$$

ნაკეთის ფართობი ისეთ ელემენტებად დავეყოთ, რომელთა სიმძიმის ცენტრები ადვილად განისაზღვრებიან (ნახ. 19). სიმძიმის ცენტრებში ფართობთა პროპორციული ძალები მოვდეთ. ძალთა აგებისათვის ფართობთა სახერხულ-მასშტაბს შევარჩევთ და ძალთა მრავალკუთხედს ავაგებთ. შემდეგ ავაგებთ თოკის მრავალკუთხედს და მის სხივებს გავაგრძელებთ SS ლერძის A, B, C და D წერტილებში გადაკვეთამდე.



ნახ. 19.

საჭკუთხედთა ნზგავსებიდან გვაქვს:

- ა) $\triangle ABe$ ო $\triangle abO$, საიდანაც: $AB : l_1 = ab : H$; $ab \cdot l_1 = AB \cdot H$;
- ბ) $\triangle BCf$ ო $\triangle bcO$, საიდანაც: $BC : l_2 = bc : H$; $bc \cdot l_2 = BC \cdot H$;
- გ) $\triangle CDg$ ო $\triangle cdO$, საიდანაც: $CD : l_3 = cd : H$; $cd \cdot l_3 = CD \cdot H$;

სტატიური მომენტი წარმოადგენს ელემენტარულ ფართობთა და მათი სიმძიმის ცენტრიდან FS ლერძამდე დაშორების მანძილთა ნამრავლების ჯამს. იმის გამო, რომ ჩვენ ab , bc და cd ფართობთა მასშტაბებში გადავზომეთ, მივიღებთ:

$$ab \cdot l_1 + bc \cdot l_2 + cd \cdot l_3 = (AB + BC + CD) \cdot H,$$

საიდანაც

$$S = AD \cdot H$$

ანუ ლერძის მიმართ აღებული მთელი ფართობის სტატიური მომენტი წარმოადგენს საპოლუსო H მანძილს (რომელიც სიგრძის მასშტაბშია¹ აღებული) ნამრავლს იმ ნა-

¹ ცხადია, რომ შედეგი არ შეიცვლება, თუ საპოლუსო მანძილს გავზომავთ ფართობთა მასშტაბში, SS ლერძის ნაკეთებს კი სიგრძეთა მასშტაბში.

კვეთზე, რომელიც თოკის მრავალკუთხედის ნაპირა სხივების მიერ არის მოკვეთილი SS ლერძზე (რომელიც ფართობთა მასშტაბშია აღებული).

§ 10. ბრტყელი ნაკვეთის ინეარციის მომენტის გრაფიკული განსაზღვრა ლერძის მიმართ.

იმავე ნახ. 19-ით ვისარგებლოთ. ვთქვათ, საჭიროა უტოლო თაროებიანი ორტესებრი კვეთის ინერციის მომენტის განსაზღვრა SS ლერძის მიმართ. წინა პარაგრაფში ჩვენ გვქონდა:

$$ab \cdot I_1 = AB \cdot H; \quad bc \cdot I_2 = BC \cdot H; \quad cd \cdot I_3 = CD \cdot H.$$

ამ გამოსახულებებს ფართობების სიმძიმის ცენტრების ლერძამდე დაშორების სათანადო I_1 , I_2 და I_3 მანძილებზე თუ გადავამრავლებთ, ვიპოვით:

$$ab \cdot I_1^2 = AB \cdot H \cdot I_1; \quad bc \cdot I_2^2 = BC \cdot H \cdot I_2; \quad cd \cdot I_3^2 = CD \cdot H \cdot I_3.$$

თუ შევნიშნავთ, რომ

$$AB \cdot I_1 = \text{ფართ. } \Delta ABe \cdot 2; \quad BC \cdot I_2 = \text{ფართ. } \Delta BCf \cdot 2;$$

$$CD \cdot I_3 = \text{ფართ. } \Delta CDg \cdot 2,$$

და შევკრებთ ზემოთა ტოლობებს, მივიღებთ:

$$ab \cdot I_1^2 + bc \cdot I_2^2 + cd \cdot I_3^2 = \text{ფართ. } AefgD \cdot 2H,$$

ე. ი. მივიღებთ თოკის მრავალკუთხედით, მისი ნაპირა სხივებით და SS ლერძით შემოსაზღვრულ ფართობს, რომელიც გაორაკეცებულ საპოლუსო მანძილზეა გამრავლებული.

მასალათა გამძლეობის კურსიდან ჩვენთვის ცნობილია, რომ კვეთის სიბრტყეში მოთავსებული ნებისმიერი ლერძის მიმართ ინერციის მომენტის პოვნისათვის, უნდა მოვუძებნოთ მისი პარალელური და სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ლერძის მიმართ ინერციის მომენტი და მას ლერძებს შორის მანძილის კვადრატისა და კვეთის ფართობის ნამრავლი უნდა მიუმატოთ.

უკანასკნელი ტოლობის მარცხენა ნაწილში, იმის გამო, რომ ab , bc და cd ფართობთა მასშტაბშია აღებული, თითოეული შესაკრები წარმოადგენს ფართობის სიდიდის ნამრავლს მისი სიმძიმის ცენტრიდან SS ლერძამდე დაშორების მანძილის კვადრატზე, რის დროსაც ჯამი კვეთის ყველა ფართობთა ზღვრებშია აღებული.

ვინაიდან იმ ფართობთა სიდიდე, რომლებათაც ნაკეთია დაყოფილი, მნიშვნელოვანია, ამიტომ ამოხსნილი მიდგომით რომ ვისარგებლოთ, ინერციის მომენტი არა ზუსტათ იქნება აღებული; ცდომილება დაშვებული იქნება ფართობებთან დაყოფილ ნაკვეთის სიმძიმის ცენტრებში გამავალი ლერძების მიმართ აღებული ინერციის მომენტების სიდიდით.

მაგრამ ელემენტთა რიცხვის თანდათანობითი გაზრდით თოკის მრავალკუთხედი იქცევა მრუდად, რომელიც უკვე ფართობის ზუსტ მონახულებას გვაძლევს, ე. ი. რგი ნაკვეთის ინერციის მომენტის ზუსტ გამოსახულებას მოგვცემს. მიახლოებული გზახერხი კი მოგვცემს ცდომილებას, რომლის სიდიდე წარმოიდგინება მრუდსა და ტეხილს შორის მოთავსებული ფართობის ნამრავლით ორმაგ საპოლუსო მანძილზე ($2H$). ამ მრუდს დავხაზავთ, თუ ვისარგებლებთ იმ მდგომარეობით, რომ იგი ტეხილი ხაზის იმ წერტილებში უნდა გადაიდოს მხებად, რომელნიც ნაკვეთის (1, 2, 3, 4) ფართობებთან დამყოფ ხაზებზე მდებარეობენ. ნახაზიდან ჩანს, რომ იმ შემთხვევაში, როცა ჩვენ უყურადღებოდ ვტოვებთ მრუდ ხაზს, მაშინ უდიდესი ცდომილება მიიღება $2-3$ უბანში, მიუხედავად იმისა, რომ P_1 და P_2 ძალები ერთნაირებია. ასეთი განსხვავება იმითომ მივიღეთ, რომ ჩვენ უყურადღებოდ დავტოვეთ ცალკე ფართობთა ინერციის მომენტები მათი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. ხოლო ვინაიდან სწორკუთხედისათვის $J = \frac{bh^3}{12}$, ამიტომ გადაწყვეტ როლს თამაშობს h სიმაღლე, რომელსაც კვეთის შუა ნაწილში ნაპირა ნაწილებთან შედარებით მნიშვნელოვანი სიდიდე აქვს (სიმაღლე SS ღერძიდან მომართულ მანძილებზე უნდა გადავზომოთ).

ამასთან დაკავშირებით შეგვიძლია უფრო ზუსტი ამოხსნების მიღება ნაკვეთის ფართობის მეტად მცირე ზომის ფართობებად დაყოფის საშუალებით (ღერძიდან დაშორების მანძილის მიხედვით).

ამნაირად, ნაკვეთის ინერციის მომენტი SS ღერძის მიმართ წარმოადგენს ამ ღერძით, თოკის მრავალკუთხედის პირველი და უკანასკნელი გვერდებით და ამ გვერდებ შორის მოთავსებული მრუდი შემოფარგლური ფართობის ნამრავლს გაორკეცებულ საპოლუსო $2H$ მანძილზე.

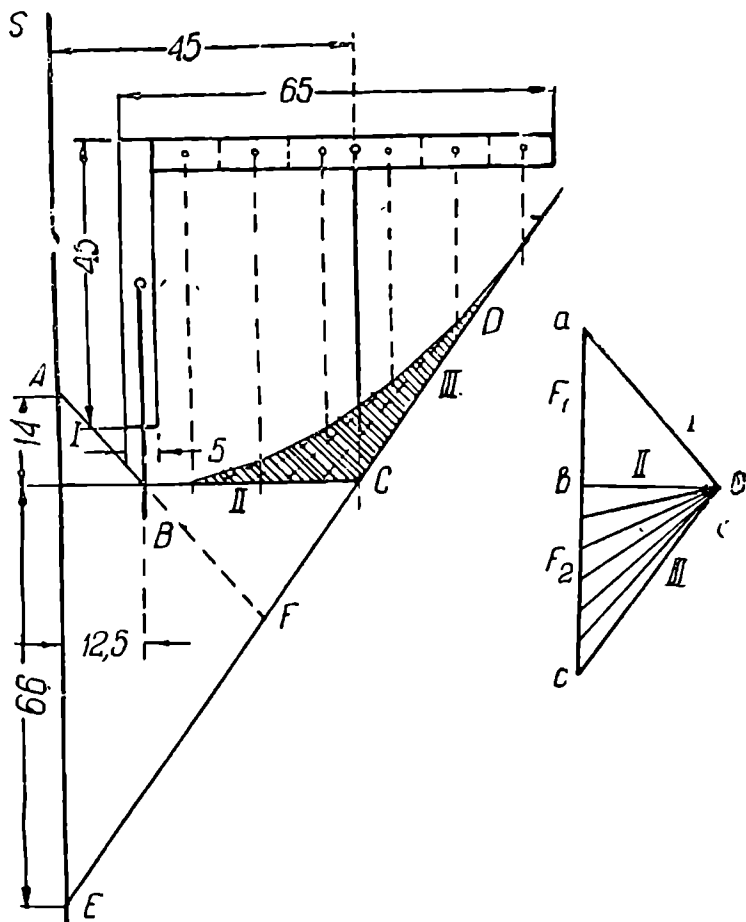
ამასთანავე, თოკის მრავალკუთხედსა და ღერძს შორის მოთავსებულ ფართობს ნაკვეთის საზომი მასშტაბით გავზომავთ (ე. ი. სამკუთხედების ფუძეს და სიმაღლეებს მანძილის მასშტაბში გავზომავთ), მაშინ საპოლუსო მანძილი ფართობთა მასშტაბში უნდა იქნეს გაზომილი, რადგან შედეგში მეოთხე რიგის განზომილება უნდა მივიღოთ.

ნახ. 19-ზე ნათლად აღისახება, რომ სიმძიმის ცენტრის მიმართ აღებული ინერციის მომენტი უმცირესი და $efgh$ ფართობის $2H$ -ზე მამრავლის ტოლია. ნებისმიერ სხვა SS ღერძის მიმართ ინერციის მომენტის მოსაძებნად, $efgh$ ფართობს უნდა მიუმატოთ SS ღერძსა და ნაპირა სხივებს შორის მოთავსებული სათანადო სამკუთხედის ფართობი.

§ 11. SS ღერძის მიმართ კვეთის სტატიუკი და ინერციის მომენტების განსაზღვრის რიცხვითი მარაღითი (გრაფიკული წესი).

ვთქვათ, მოცემულია არა ტოლფერდიანი კუთხოვანა $65 \times 45 \times 5$ "/// და მისგან 10 "///-ით დაშორებული და მისი უმოკლესი გვერდის პარალელური ღერძი (ნახ. 20). საჭიროა SS ღერძის მიმართ კუთხოვანას კვეთის სტატიური და ინერციის მომენტების განსაზღვრა.

შევარჩევთ კუთხოვანას კვეთის ასაგებ მასშტაბს, ე. ი. მანძილის მასშტაბს: 1 cm=1cm, სხვანაირად, რომ ვთქვათ, კვეთს თავისი ნატურალური (ნამდვილი) სიდიდით ავაგებთ. კვეთის ფარობს დავეოფთ, ორ სწორკუთხედათ:



6ახ. 20.

ღა $F_1 = 45 \times 5 = 225 \text{ mm}^2$
 $F_2 = 60 \times 5 = 300 \text{ mm}^2$

ფართობთა მასშტაბით 1 cm-ში 100 mm² ვიგულებთ. ამ მასშტაბით ავაგებთ ძალთა შრავალკუთხედს. შევარჩევთ O პოლუსს (კიდოს) ac ხაზის პერპენდიკულ-

ლიარზე, რისთვისაც გადავზომავთ საპოლუსო მანძილს $H=2$ cm (ეს პირობები შემოღებულია შემდგომ ანგარიშის გასამარტივებლად).

აეაგებთ თოკის ABCD მრავალკუთხედს და მის ნაპირა. გვერდებს გავაგრძელებთ SS ლერძის A და E წერტილებამდე.

ნაპირა სხივებით ლერძზე მოკვეთილ AE ხაზს გავზომავთ ფართობთა მასშტაბით:

$$AE=8 \times 100=800 \text{ mm}^2,$$

საპოლუსო მანძილი კი მანძილთა მასშტაბში იქნება

$$H=2 \times 10=20 \text{ mm}.$$

მაშასადამე, სტატიურ მომენტისათვის გვექნება:

$$S=AE \cdot H=800 \cdot 20=16000 \text{ mm}^3=16 \text{ cm}^3.$$

შედგი ანალიზური გამოყვლით შევამოწმოთ:

$$S=45 \cdot 5 \cdot 12,5 + 60 \cdot 5 \cdot 45=16312,5 \text{ mm}^3.$$

განსხვავება უმნიშვნელოა, იგი თ 2% აღწევს.

ლერძის მიმართ ინერციის მომენტის განსაზღვრისათვის გავზომოთ ABCE ფართობი, რისთვისაც იგი ორ სამკუთხედათ უნდა დავყოთ და ამ სამკუთხედების გვერდები მანძილთა მასშტაბში უნდა გავზომოთ მივიღებთ.

$$\text{ფართ. } ABCE=(1,4 \cdot 10 \cdot 1,25 + 6,6 \cdot 10 \cdot 4,5 \cdot 10):2=1572,5 \text{ mm}^2.$$

საპოლუსო მანძილის ფართობთა მასშტაბში გავზომავთ, და მივიღებთ:

$$2 \times 100=200 \text{ mm}^2.$$

ინერციის მომენტის გამოთვლისათვის დაგვრჩა მხოლოდ ABCE ფართობის გადამრავლება ორმაგ საპოლუსო მანძილზე:

$$J=\text{ფართ. } (ABCE) \times 2H=1572,5 \cdot 2 \cdot 200=629000 \text{ mm}^4=62,9 \text{ cm}^4.$$

მიღებულ შედეგს ანალიზურად ვამოწმებთ:

$$J=\frac{5 \cdot 60^3}{12} + 60 \cdot 5 \cdot 42^2 + \frac{45 \cdot 5^3}{12} + 45 \cdot 5 \cdot 12,5^2 = 733125 \text{ mm}^4=73,3 \text{ cm}^4.$$

ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გრაფიკულად შედეგი ძალზედ შემცირებულია და, მაშასადამე, ძალის მრავალკუთხედის და თოკის მრავალკუთხედის აგებისათვის ჩვენ ძალზედ დიდ სწორკუთხედებათ დავყავით კვეთი. კუთხოვანას გრძელი გვერდი 6 ნაწილად რომ დავყოთ და ხელახლად ავაგოთ თოკის მრავალკუთხედი, მაშინ მივიღებთ, რომ ABCE ფართობს დაერთობა კიდევ წახაზული ფართობი, რომლის სიდიდეა 230 mm^2 , მაშინ:

$$J=(1572,5 + 230) \cdot 2 \cdot 200=72,10 \text{ cm}^4.$$

ეს იმას აპტიკებს, რომ ფართობის ასეთი დაყოფა სწორკუთხედებით საკმარისია პრაქტიკული მიზნებისათვის, რადგან ცდომილება მხოლოდ 1,6% შეადგენს.

კითხვები და ამოცანები განმარტებისათვის.

1. გრაფიკული წესით განსაზღვრეთ № 20 მოყვანილი რკინის (შველერის) სიმძიმის ცენტრი. საჭიროა თუ არა ამ შემთხვევაში ორი თოკის მრავალკუთხედის აგება (ნახ. 20ა)?

2. იგივე შველერისათვის იპოვეთ უგრძელეს გვერდთან თანხვედნილი ლერძის მიმართ სტატიური მომენტი. როგორ განზომილებებში მიიღება სტატიური მომენტი?

3. განსაზღვრეთ გრაფიკულად იმავე ლერძის მიმართ შველერის ინერციის მომენტი. საკმარისი სიზუსტით მიიღეთ თუ არა პასუხი?

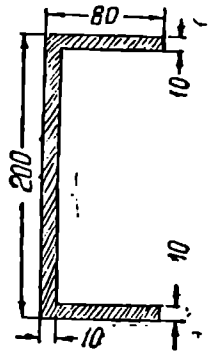
4. როგორი მასშტაბით უნდა გაზომოთ საპოლუსო მანძილი, და როგორით უნდა გაზომოთ თოკის მრავალკუთხედით შემოფარგლული ფართობი, გრაფიკულად ინერციის მომენტის მისაღებად?

5. ნახ. 20-ზე კუთხოვანასწორმედი ფართობი უნდა გაზომოთ იმისათვის, რომ განსაზღვროთ კუთხოვანას ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრში გამავალი და SS ლერძის პარალელური ლერძის მიმართ?

6. ნახ. 19 მიგვითითებს თუ არა იმაზე, თუ რას უდრის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ლერძის მიმართ განსაზღვრული ფართობის სტატიური მომენტი? რას უდრის ეს მომენტი გრაფიკულად და ანალიზურად?

7. სტატიური მომენტის განსაზღვრის დროს შეიძლება თუ არა ნაპირა სხივებით SS ლერძზე მოკვეთილი ნაკვეთის გაზომვა მანძილთა მასშტაბით, ხოლო საპოლუსო მანძილის გაზომვა ფართობთა მასშტაბით?

8. განსაზღვრეთ § 11-ის ამოცანაში პორიზონტალური თაროს ინერციის მომენტის ანგარიშის დროს დაშვებული ცდომილებანი, თუ თარო მიღებული იქნება მთლიან ფართობად და მას ექვს ნაწილად დაყოფილად ვიგულეებით?



ნახ. 20a.

§ 12. კოჭის გაღმავალი ღეხი (მოკის ანალოგია).

დაუშვათ, რომ Δx კოჭის ელემენტის ის სიგრძეა, რომელიც M მღუნავი მომენტის ქმედებით განიცდის ღუნვას. კოჭის ელემენტის ნაპირა ბოქვებში კინეის სიდიდე არის:

$$\sigma = \frac{M \cdot e}{J}$$

სადაც J — კოჭის განივი კვეთის ინერციის მომენტია ნეიტრალური ლერძის მიმართ;

e — ნაპირა ბოკოდან ნეიტრალურ ღერძამდე დაშორების მანძილია (ნახ. 21).

განსახილველი ბოკო σ კინეის დროს თავის სიგრძეს (ჰუკის კანონის მიხედვით)

$$\frac{\sigma \cdot \Delta x}{E}$$

სიდიდით იცვლის, სადაც E — მოცემული მასალის დრეკადობის მოდულია.

მეორე მხრით განსახილველი კვეთი M მომენტის ქმედებით $\Delta \varphi$ კუთხით თუ მობრუნდება, მაშინ ნაპირა ბოკოს სიგრძის ეს ცვლილება სურათის გეომეტრიული თვალსაზრისით განხილვისას $e \cdot \Delta \varphi$ ნამრავლის ტოლი იქნება, და ამიტომ

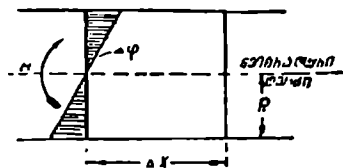
$$\frac{\sigma}{E} \Delta x = e \cdot \Delta \varphi,$$

საიდანაც

$$\Delta \varphi = \frac{\sigma \cdot \Delta x}{eE}.$$

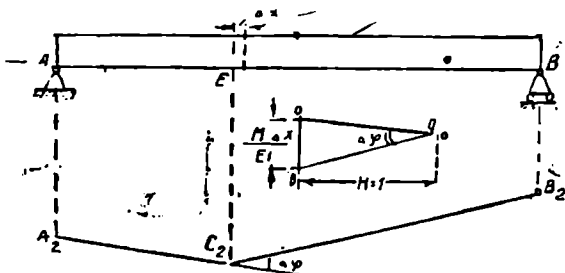
ამ გამოსახულებაში σ მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ:

$$\Delta \varphi = \frac{M \cdot \Delta x}{E \cdot J}.$$



ნახ. 21.

ახლა კოქის გაღუნული ღერძის აგების მეთოდზე გადავიდეთ. დაუშვათ, რომ AB ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე კოქია (ნახ. 22), რომელიც ნებისმიერი ტვირთითაა დატვირთული, Δx წარმოადგენს C წერტილში გამოყოფილ ელემენტის სიგრძეს და M — ღუნვის მომენტი C კვეთისათვის.



ნახ. 22.

შეუღულზე ხაზობრივი მასშტაბით გადავზომოთ $\Delta \varphi = \frac{M \cdot \Delta x}{E \cdot J}$ სიდიდე და ამნაირად მიღებული ab ნაკეთის ბოლოები შეუერთოთ მისგან „ერთეული მანძილით“ დაშორებულ O წერტილს. ამ Oa და Ob ხაზებს შორის

(კუთხის სიმცირის გამო) $\Delta \varphi$ კუთხის ტოლია¹⁾. შემდეგ C წერტილზე გავავალი შეეულის C_2 წერტილზე ორ სწორხაზს გავატარებთ:

$$A_2C_2 \parallel aO \text{ და } C_2B_2 \parallel bO.$$

$A_2C_2B_2$ ტეხილი ხაზი კოკის ღერძს იმ შემთხვევაში დაემზგავსება, როცა ელემენტი მხოლოდ C წერტილშია გალუნული, კოკის დანარჩენი ელემენტები კი არადრეკალებია. შევნიშნოთ, რომ ab -ის ძალათ თუ მივიღებთ, მაშინ ჩვენ მიერ ჩატარებული აგება $A_2C_2B_2$ თოკის მრავალკუთხედის აგების ანალოგიურია, უკეთეს საპოლუსო მანძილი $H=1$.

მთელი კოკი დრეკად ელემენტებისაგან შემდგრად რომ წარმოვიდგინოთ, მაშინ კოკის ღერძი მრავალ ადგილას აღმოჩნდება მოლუნული და ამ გარდატეხათა ქმედება შეჯამდება. ამ შემთხვევაში კოკის გალუნული ღერძის მისაღებად კოკის თითოეული ელემენტის სიგრძისათვის უნდა გამოვიანგარიშოთ სიდიდე

$$\frac{M \cdot \Delta x}{EJ},$$

და ვაწარმოთ წინანდელის თანაგვარი აგება, ე. ი. გადავზომოთ შეეულებზე მიმდევრობით გამოანგარიშებულ სიდიდეები ამ ძალების სახით და ჩვენ მიერ შერჩეულ საპოლუსო მანძილის მიხედვით ავაგოთ თოკის მრავალკუთხედი (ისე, რომ უკანასკნელის წვეროები სათანადო Δx ელემენტების სათანადო შეეულებზე გადავზომოთ).

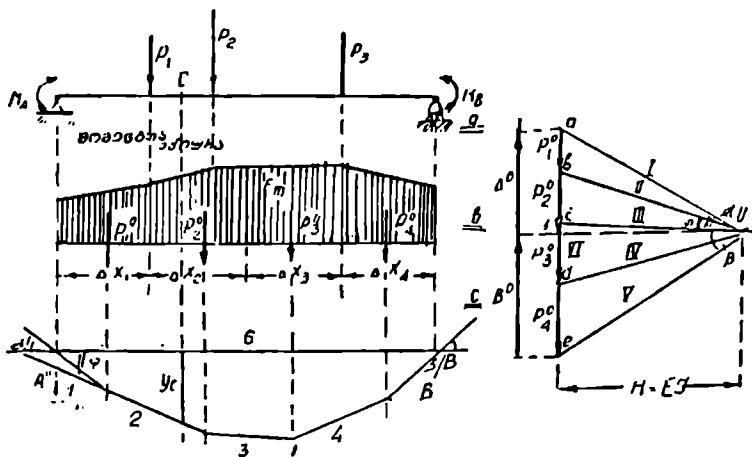
ვინაიდან ტოლკვეთიანი ერთგვაროვან ძელისათვის E და J მუდმივებია, ამიტომ შეგვიძლია ისეთი თოკის მრავალკუთხედი ავაგოთ, რომელიც $H=1$ შემთხვევის თანაგვარია, მხოლოდ ამ შემთხვევაში $H=EJ$ ვივსულოთ. ამისათვის როგორც საპოლუსო მანძილი, ისე ერთდროულად გამოანგარიშებული $\Delta \varphi$ სიდიდეები უნდა გაეამრავლოთ მუდმივ EJ მაშრავლებზე, ე. ი. ძალის მრავალკუთხედის აგებისას შეეულებზე უნდა გადავზომოთ სიდიდეები $M \cdot \Delta x$ (და არა $\frac{M \cdot \Delta x}{EJ}$, რასაც ადგილი ჰქონდა $H=1$ დროს).

აუ შევნიშნავთ, რომ $M \cdot \Delta x$ მრიცხველი მხოლოდ და მხოლოდ კოკის განსახილველი ელემენტების სათანადო სამომენტო ΔF_m ფართობის ნაწილებს წარმოადგენენ, მორის ზოგად თეორემას მივიღებთ:

კოკის დრეკადი ღერძის მისაღებად, სამომენტო ფართობი დატვირთათ უნდა მივილოთ და მისთვის ავაგოთ თოკის მრუდე, რის დროსაც საპოლუსო მანძილად უნდა მივიღოთ EJ .

¹⁾ იმის გამო, რომ ნამდვილი ნალუნება მალის სიგრძესთან შედარებით უმნიშვნელო სიდიდეს წარმოადგენენ $\left(\frac{1}{600} l + \frac{1}{2000} l\right)$ ამიტომ მობრუნების $\Delta \varphi$ კუთხეებიც უმნიშვნელო სიდიდეებს წარმოადგენენ. ამიტომ ab ნაკვეთი საპოლუსო H მანძილთან შედარებით ძალზე მცირეა და Oa და Ob ხაზებს შორის კუთხე, მისი სიმცირის გამო, შეგვიადლია $\Delta \varphi$ კუთხეს გაუტოლოთ.

ახლა ორ საყრდნობზე მდებარე კოქისა და ერთი ბოლოთი დამაგრებულ კოქისათვის ამოვხსნათ ნალუნთა და მობრუნების კუთხეთა სიდიდეები.



ნახ. 23.

ვთქვათ, ორ საყრდნობზე მდებარე კოქი დატვირთულია ნებისმიერი ტვირთით (ნახ. 23). ავავთ მისთვის ლუნვის მომენტთა ეპიურა და სამომენტო ფართობი Δx სიგრძის ელემენტებათ დავყოთ. სამომენტო F_m ფართობი კოქის ფიქტიურ დატვირთვით ვიგულებოთ, რისთვისაც სამომენტო ფართობის ელემენტთა სიმძიმის ცენტრებში მოვდოთ ფიქტიური ტვირთები:

$$P_1^0 = \Delta F_{1m}, P_2^0 = \Delta F_{2m}, P_3^0 = \Delta F_{3m} \text{ და } P_4^0 = \Delta F_{4m}.$$

სათანადო მასშტაბის შერჩევით ავავთ ძალთა პრავალკუთხედი და $H = EJ$ სიდიდეს საპოლუსო მანძილად მიღებით თოკის მრუდე გამოვხაზოთ.

ვინაიდან მიღებული თოკის მრუდე კოქის გაღუნულ ღერძს წარმოადგენს, ამიტომ ნალუნი ნებისმიერ C წერტილში თოკის მრუდსა და $A'' B''$ ჩამკეტს შორის მოთავსებული y_c ხავეთის ტოლი იქნება.

მეორეს მხრით თოკის პრავალკუთხედის y_c ორდინატას ნაპრაველი საპოლუსო მანძილზე მლუნავ მომენტს წარმოადგენს (იხ. § 7), ე. ი.

$$y_c \cdot H = y_c \cdot EJ = M^0,$$

აქედან:

$$y_c = \frac{M^0}{EJ},$$

ე. ი. ორ საყრდნობზე მდებარე კოქის ნებისმიერ წერტილში წარმოშობილი ნალუნი უდრის ფიქტიური დატვირთვის (სამომენტო ფართობის) მლუნავი მომენტის შეფარდებას კოქის სიხისტესთან.

ვისარგებლოთ ამ დებულებით და განვსაზღვროთ მობრუნების კუთხე ნებისმიერ C კვეთში. φ_c — კუთხე შედგენილია თოკის პრავალკუთხედის 2

გვერდისა და A'' B'' ჩამკეტის მიერ, და სათანადოთ უდრის bO/ კუთხეს ძალთა გეგმაში (გვერდთა პარალელურობისა გამო). აქედან გამომდინარეობს, რომ კუთხის სიმცირის გამო:

$$b_f = H \cdot \varphi_c.$$

აქ $H = EJ$ გამოსახვას თუ ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$b_f = EJ \cdot \varphi_c.$$

b_f სიდიდე C კვეთში კოქის ფიქტიური დატვირთვით გამოწვეულ გადაამკრელ Q_c^0 ძალას წარმოადგენს. მისი EJ -ზე გაყოფისას მივიღებთ:

$$\varphi_c = \frac{Q_c^0}{EJ},$$

ე. ი. ნებისმიერ წერტილში კოქის ღერძის მობრუნების კუთხე წარმოადგენს ფიქტიური დატვირთვით გამოწვეული გადაამკრელი ძალის ფარდობას კოქის სიხისტესთან.

დრეკადი ხაზის A საყრდნობში მხებსა და საყრდნო წერტილთა შერთებელ ხაზს შორის (ჩამკეტ ხაზს შორის) მოთავსებული α კუთხე წინანდელი წესით განიზღერება $\Delta \alpha O_f$ -დან, სადაც გადაამკრელ (αf) ძალათ ფიქტიური საყრდნობის A^0 რეაქცია იქნება.

მაშასადამე

$$\text{tg } \alpha = \alpha = \frac{A^0}{EJ},$$

ე. ი. საყრდნობზე მობრუნების კუთხე უდრის სამომენტო ფართობით გამოწვეული კოქის წარმოსახვითი დატვირთვის ფარდობას კოქის სიხისტესთან.

ამის შზგავსად B საყრდნობზე მობრუნების კუთხე ტოლი იქნება:

$$\text{tg } \beta = \beta = \frac{B^0}{EJ}.$$

ახლა, ვთქვათ, მოცემულია ერთი ბოლოთი დამაგრებული AB კოქი, რომელიც განიცდის ნებისმიერი დატვირთვის მოქმედებას. ამ ტვირთების მომენტთა ეპიური ნახ. 24-ზე წარმოდგენილ სახეს მიიღებს. Δx სიგრძის ელემენტებთან დაყოფით და $H = EJ$ საპოლუსო მანძილის გამოყენებით ადვილად ავაგებთ ძალთა გეგმას, რის შემდეგაც თოქის მრავალკუთხედს ისეთნაირად დაეხაზეთ, რომ მისი პირველი გვერდი პორიზონტალური იყოს.

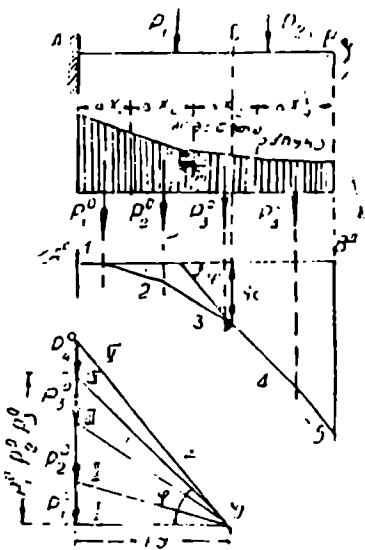
მაშინ ამ პორიზონტალურ A'' B'' გვერდსა და თოქის მრავალკუთხედს შორის მოთავსებული y_c ნაკეთი კოქის C-წერტილში ნალუნის პროპორციული იქნება:

შეორე მხრივ გრაფიკული აგების მიხედვით y_c ნაკვეთი დამაგრებასა და C კვეთს შორის მოთავსებული ყველა P_1^0, P_2^0, P_3^0 ფიქტიური ძალების სტატიური M^0 მომენტის ტოლი იქნება; ამასთანავე, მომენტი C წერტილზე გავლებული შვერულის მიმართაა აღებული, ამიტომ:

$$M^0 = H \cdot y_c = EJ y_c$$

საიდანაც:

$$y_c = \frac{M^0}{EJ}$$



ნახ. 24.

ე. ი. ერთი ბოლოთი დამაგრებული კოქის ნებისმიერი C წერტილის ნაღუნი წარმოადგენს დამაგრებასა და C კვეთს შორის მოთავსებულ მომენტთა ეპიურის C წერტილის მიმართ აღებულ სტატიკური მომენტის ფარდობას კოქის სიხისტესთან.

C წერტილში ღრეკად ხაზისადმი მხების დახრის კუთხე 1 და 4 სხივებს შორის მოთავსებულ φ კუთხეს უღრის (აგების მიხედვით). ძალთა გეგმის განხილვით ვამჩნევთ, რომ ნაკვეთი

$$P_1^0 + P_2^0 + P_3^0 = H \cdot \varphi = EJ \cdot \varphi,$$

ამის გამო, რომ φ კუთხე ძლიერ მცირეა, გვექნება:

$$\varphi = \frac{P_1^0 + P_2^0 + P_3^0}{EJ} = \frac{F_m}{EJ},$$

ე. ი. ერთი ბოლოთი დამაგრებული კოქის ნებისმიერ C წერტილში მობრუნების კუთხე უღრის დამაგრებასა და C კვეთს შორის მოთავსებულ სამომენტო ფართობის ფარდობას კოქის სიხისტესთან.

§ 13. მაგალითები ნაღუნების გამონაგარიშვებაზე.

1. განვსაზღვროთ კოქის ნაღუნი ნახ. 25-ზე წარმოდგენილი დატვირთვის სქემის მიხედვით; მოცემულია:

$$P=5 \text{ ton}; a=6 \text{ mt}; b=2 \text{ mt};$$

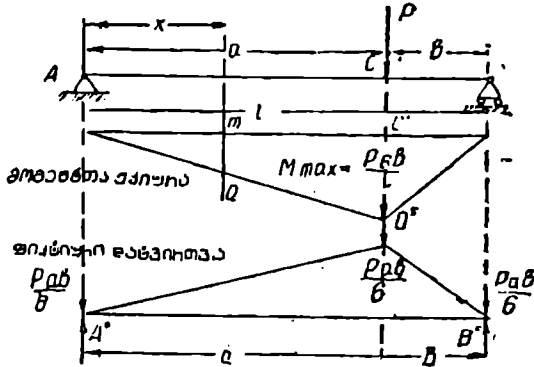
$$l=8 \text{ mt}; E=2 \text{ } 10^6;$$

$$R_b=1000 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}. \text{ (ნახ. 25)}$$

ამოხსნა. წარმოდგინოთ მაგალითში ანალიზურად აღვლილი მოსაძებნია ფიქტიური დატვირთვის M^0 მომენტი; ამიტომ ნალუნს ვიპოვიოთ

$$y^0 = \frac{M^0}{EJ}$$

სახეობის გამოთვლით, რის დროსაც აღარ მივმართავთ თოვის შრავალკუთხედის აგებას. ტვირთის ქვეშ მაქსიმალური მლუნავი მომენტი მიიღება:



ნახ. 25.

$$M_{max} = \frac{Pab}{6}$$

მომენტთა ეპიურის ფართობის ტოლი ფიქტიური ტვირთი იქნება:

$$P^0 = F_m = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot a \cdot b}{2}$$

ეს P^0 ტვირთი F_m სამკუთხედის სამ წვეროზე თანაბრად განრიგდება. მაშასადამე, ფიქტიური დატვირთვით გამოწვეული საყრდნობის A^0 რეაქცია იქნება:

$$A^0 = \frac{Pab}{6} + \frac{Pab}{6} \cdot \frac{b}{l} = \frac{Pab}{6l} (l + b)$$

ფიქტიურ დატვირთვის (ტვირთის ქვეშ) მიერ გამოწვეული მლუნავი მომენტი იქნება:

$$\begin{aligned} M^0 &= A^0 a - \frac{1}{2} \frac{Pab}{l} \cdot a \cdot \frac{a}{3} = \frac{Pa^2b}{6l} (l + b) - \frac{Pa^3b}{6l} = \\ &= \frac{Pa^2b}{6l} (2b) = \frac{Pa^2b^2}{3l} \end{aligned}$$

რიცხვითი მნიშვნელობებზე გადასვლით მივიღებთ:

$$M_{max} = \frac{5000 \cdot 200 \cdot 600}{800} = R_0 \cdot W = 1000 \text{ W};$$

მაშასადამე

$$W = 750 \text{ cm}^3.$$

ორტესებრ № 34 კოქისათვის ნორმალური სორტამენტის მიხედვით:

$$W_{34} = 833 \text{ cm}^3; J_{34} = 14161 \text{ cm}^4, \text{ ამიტომ}$$

$$y_0 = \frac{M^0}{EJ} = \frac{Pa^2b^3}{3I/EJ} = \frac{5000 \cdot 600 \cdot 600 \cdot 200 \cdot 200}{3 \cdot 800 \cdot 2000000 \cdot 14161} = \frac{15000}{14161} = 1,06 \text{ cm}.$$

უდიდესი ნალუნი იმ წერტილში მიიღება, სადაც M_x^0 აქვს თავისი უდიდესი მნიშვნელობა. A საყრდნობიდან x მანძილით დაშორებულ კვეთის მიმართ შევადგინოთ ფიქტიური მომენტის გამოსახულება.

რადგან მზგავს სამკუთხედებში ფართობთა შეფარდება შესაბამის გვერდების კვადრატთა პროპორციულია, ამიტომ $A'mn$ სამკუთხედის ფართობის სიდიდე იქნება ($\Delta A'mn$ და $\Delta A'C'D'$ სამკუთხედთა მზგავსებიდან):

$$\frac{M_{max} \cdot a}{2} \quad \frac{x^2}{a^2} = \frac{Pab}{l} \quad \frac{a}{2} \quad \frac{x^2}{a^2},$$

მაშასადამე, x კვეთში ფიქტიური მომენტის სიდიდე იქნება:

$$M_x^0 = A^0 \cdot x - \frac{Pab}{l} \quad \frac{a}{2} \quad \frac{x^2}{a^2} \quad \frac{x}{3} = \frac{Pab}{6l} (l + b) \cdot x - \frac{Pab}{6l} \cdot \frac{x^3}{a}.$$

უდიდესი მნიშვნელობა მაშინ მიიღება, როცა პირველი წარმოებულ ნულს გაეროლებ, ე. ი. როცა

$$l + b = \frac{3x^2}{a}$$

ანუ

$$x^2 = \frac{(l + b)a}{3} = \frac{600(800 + 200)}{3} = \frac{200 \cdot 000}{3},$$

საიდანაც: λ

$$x = \sqrt{200000} = 447 \text{ cm}.$$

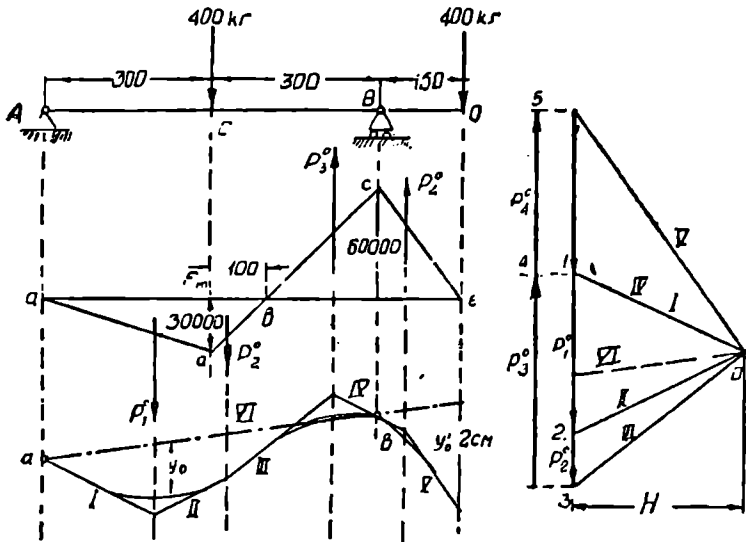
მაშასადამე, უდიდესი ნალუნი იმ კვეთში მიიღება, რომელიც A საყრდნობიდან 447 cm არის დაშორებული.

სათანადოთ, ნალუნის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$y^0_{max} = \frac{M_x^0}{EJ} = \frac{Pabx}{6EJ} \left(l + b - \frac{x^2}{a} \right) =$$

$$\frac{5000 \cdot 600 \cdot 200 \cdot 447 \cdot 667}{6 \cdot 800 \cdot 2000000 \cdot 14161} = 1,31 \text{ cm}.$$

2. განსაზღვრეთ კოქის უდიდესი ნალუნი ნახ. 26-ზე წარმოდგენილი დატვირთვის მიხედვით. კოქი ორტესებრია.



ნახ. 26.

ამოხსნა. ამოცანას გრაფიკული წესით ამოვხსნით, რისთვისაც წინასწარ მომენტთა ეპიურას ავაგებთ.

საყრდნობთა რეაქციებია:

$$A = 200 = \frac{400 \cdot 150}{600} = 100 \text{ kg.}$$

$$B = 800 - 100 = 700 \text{ kg.}$$

მლუნავი მომენტებია:

$$M_C = 100 \cdot 300 = 30000 \text{ kg cm.}$$

$$M_B = -400 \cdot 150 = -60000 \text{ kg cm} = M_{max}$$

როცა $R_s = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, მაშინ წინაღობის მომენტი არ უნდა იყოს

$W = 60 \text{ cm}^3$ -ზე მცირე.

პროფილად მივიღოთ № 14, რომლისთვისაც $W_{14} = 81,3 \text{ cm}^3$ და $J_{14} = 569 \text{ cm}^4$.

ზევითჩამოთვლილ მოცემულობათა მიხედვით F_m -თვის ავაგებთ ეპიურას. ეპიურას 4 ნაწილად დაყოფით, ფიქტიურ დატვირთვისათვის მივიღებთ:

$$P_1^0 = \frac{1}{2} \cdot 30000 \cdot 300 = 4500000 \text{ kg cm}^2;$$

$$P_2^0 = \frac{1}{2} \cdot 30000 \cdot 100 = 1500000 \text{ kg cm}^2;$$

$$P_3^0 = -\frac{1}{2} \cdot 60000 \cdot 200 = -6000000 \text{ kg cm}^2;$$

$$P_4^0 = -\frac{1}{2} \cdot 60000 \cdot 150 = -4500000 \text{ kg cm}^2.$$

ავაგებთ ძალთა გეგმას და თოკის შრეაღკუთხედს, რომელსაც AB მალით ჩაკვეტავთ, რადგან ამ ადგილებში ნალუნები ნულის ტოლებია (და მაშ y^0 ორდინატებიც ნულის ტოლები იქნება). ძალთა გეგმისათვის მასშტაბით მივიღებთ:

$$1 \text{ cm} = 1500000 \text{ kg cm}^2,$$

საპოლუსო მანძილისათვის კი 250 ჯერ მეტს, ე. ი.:

$$1 \text{ cm} = 375000000 \text{ kg cm}^2. ^1)$$

გავზომოთ y^0_{max} მასშტაბში, რომელიც ეთანადება კვეთს A საყრდნობიდან 2,5 მანძილზე. მანძილთა მასშტაბით ($1 \text{ cm} = 1 \text{ m}$), ამიტომ

$$y^0_{max} = 110 \text{ cm}.$$

ეს სიდიდე გავყოთ ჩვენ მიერ მასშტაბის დამახინჯებისათვის მიღებულ 250-ის ტოლ კოეფიციენტზე, რითაც მივიღებთ ნალუნის სიდიდეს:

$$y^0_{max} = \frac{110}{250} = 0,44 \text{ cm}.$$

იმავე მასშტაბში თუ გავზომავთ კონსოლის სათანადო y_0' ორდინატს, მივიღებთ:

$$y_0' = 2 \text{ cm} = 200 \text{ cm}.$$

აქედან კონსოლის ნალუნის სიდიდე იქნება:

$$y_0' = \frac{200}{250} = 0,80 \text{ cm}.$$

კითხვები და ამოცანები განმარტებისათვის.

1. გრაფიკული წესით დრეკადი ხაზის სახეობის განსაზღვრის დროს რა სახის იქნება ფიქტიური დატვირთვა?

2. ნალუნის გამოსაანგარიშებლად როგორ შემთხვევაში ეძლევა უპირატესობა გრაფიკულ წესს, და როგორ შემთხვევაში ანალიზურს?

3. გრაფიკული წესით დრეკადი ხაზის განსაზღვრისას რისთვის ამცირებენ საპოლუსო მანძილის მასშტაბს?

4. ფიქტიური დატვირთვების თეორემის გამოყენებით, განსაზღვრეთ კოქის შუა ნაწილის ნალუნები: 1) მალის შუაში შთაწერტილი P ტვირთის შემთხვევაში და 2) კოქის მთელ მალზე თანაბრად განრიგებულ დატვირთვისათვის.

5. იპოვეთ მალის შუაში P ტვირთით დატვირთული ერთმალისანი კოქის დრეკადი ხაზის მიერ საყრდნობებთან შედგენილი დახრის კუთხის ტანგენსი.

¹⁾ საპოლუსო მანძილად EJ სიხისტე რომ მივიღოთ და იგი იმავე მასშტაბით გადავზომოთ, როგორც ფიქტიური ტვირთები, მაშინ გაღებული ღერძი დამახინჯებული მასშტაბით წარმოიდგინებოდა. მაგრამ კოქის სიგრძესთან შედარებით ნალუნების სიმცირის გამო, სასურველი ნახაზის ვანგებ დამახინჯება, რისთვისაც უნდა შევამციროთ H-ის მასშტაბი.

თავი მეორე.

ცხრილოვანი (რიკულოვანი) წამყვანი

§ 14. ზანრაპირა წამყვანის თვისებაში. სტატიურად ჩვევადღობის პირობები.

მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, რომ ძელის ღუნვის დროს უდიდესი ნორმალური (მართივი) კინეზები წარმოიშობიან ნეიტრალურ ლერძიდან მეტად დაშორებულ ბოქოებში. ამნაირად განივი ღუნვის დროს ძელის მასალა მთელ განივკვეთზე უთანაბროდ იქნება დამძაფრული.

მასალის მეტი ეკონომიით გამოყენების სურვილმა მკვლევარები ორტესებრივ კვეთების გამოყენების აუცილებლობაში დაარწმუნა, რის დროსაც ძელის მასალა თავს იყრის მეტად დამძაფრულ ფენებში, ანუ ეგრედწოდებულ თაროებში. მაგრამ ორტესებრივ კოქშიაც კვეთის დიდ სიმაღლის შემთხვევაში შევეული კედელი მასალის მნიშვნელოვან რიოდენობას მოითხოვს, თუმცა მასალა მაინც არ იქნება მთლიანად გამოყენებული, ვინაიდან კონსტრუქციის საკმარისი სიხისტის პირობები გარკვეული სისქის შეუულ კედელს საჭიროებს.

ამ მიზეზების გამო კონსტრუქტორებმა დაიწყეს ისეთი ცხრილოვანი კონსტრუქციების გამოყენება, რომლებშიაც მასალის მთელი ძირითადი მასა თავმოყრილია გარე სარტყელებში, რომელთა შორისაც მხოლოდ შემოკოქაივი ლეროები დაჩენილი. ასეთ კონსტრუქციებს გარანაპირა (გამქვალავი) წამწეები ეწოდება. წამწეები ერთმანეთთან ბოლოებით შეერთებული ცალკე ლეროებისაგან შესდგება. წამწეს ლეროების გადაკვეთის ადგილებს კვანძები ეწოდება. ჩვენს ამოცანას შეადგენს მხოლოდ ისეთი წამწეების განხილვა, რომლებშიაც ყველა ლეროების ლერძები ერთ სიბრტყეში განრიგდებიან. ასეთ წამწეებს ბრტყელი წამწეები ეწოდება. ამ დროს წამწეზე მქმედი ყველა ძალა კი წამწეს სიბრტყეში მდებარედ იგულისხმება.

ბრტყელი წამწეები ხიდის ნაწილების, გადახურვათა, ამწეების მთავარ ნაწილებს შეადგენენ და საზოგადოთ მშენებლობაში მათ ფართო გამოყენება აქვთ.

წამწეების ანგარიშის დროს გამარტივებისათვის იგულისხმება, რომ კვანძები მოწყობილია იდეალური სახსრების სახით, რომლებიც ხელს უწყობენ ღეროთა ბოლოების თავისუფალ ბრუნვას დეფორმაციის დროს. რადგან სახსროვან შეერთებაში არ წარმოიშობა მღუნავი მომენტები, ამიტომ კვანძებში თავმოყრილი ძაღლონებები და გარეძალები ღეროებს სახსრებიდან გადაეცემა, და, ამის გამო, მათში გამოიწვევენ მხოლოდ გაჭიმვას ან კუმშვას (სიგრძივ ღუნვას), რის გამო ჩვენ საქმე არ გვექნება ღეროების განივ ღუნვასთან. სინამდვილეში კი კვანძების განხორციელება ხდება ფურცლოვან რკინასთან რამოდენიმე მოქლონით ღეროების დამოქლონების საშუალებით ისეთნაირად, რომ ეს შეერთება საკმარისი სიხისტისა იყოს. კვანძებში ხისტი შეერთების მქონე წამწეები ზუსტი პრაქტიკული ანგარიში ძლიერ რთულია და მიზანშეწონილად არის მიჩნეული ზუსტ და დაახლოებით გამოთვლებს შორის მცირე განსხვავებისა გამო. ამისგამო უსახსრო შეერთებათა აგების დროს, ჩვენ მათ სახსრისებურად მოწყობილი შეერთების საანგარიშო მეთოდით გამოვითვლით. ხისტი შეერთებების ანგარიშს ვხვდებით ჩარჩოების კონსტრუქციების ანგარიშის დროს.

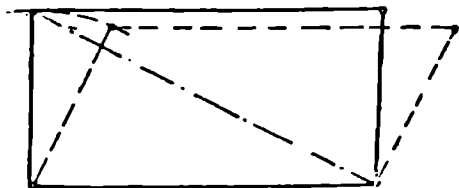
წამწეების ანგარიშის დროს მიღებული მეორე დაშვება იმაში მდგომარეობს, რომ ღეროთა მცირე დეფორმაციის გამო კვანძთა გადაადგილება შეგვიძლია უყურადღებოდ დავტოვოთ. მაშინ ღეროების მდგომარეობა დეფორმაციის შემდეგ ისე მცირედ განსხვავდება თავდაპირველ მდგომარეობისაგან, რომ ღეროებში ძაღლონების განსაზღვრისას შეგვიძლია ვისარგებლოთ წამწეს იმ სახეობით, რომელიც მას დეფორმაციამდე ჰქონდა.

ეს ორი დაშვება საშუალებას გვაძლევს, რათა გრაფიკული სტატიკის ელემენტარული აგებით მოვძებნოთ ღეროებში მქმედი ძაღლონებები.

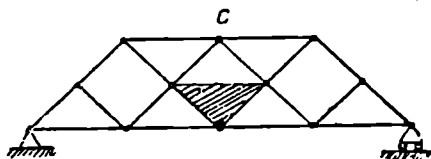
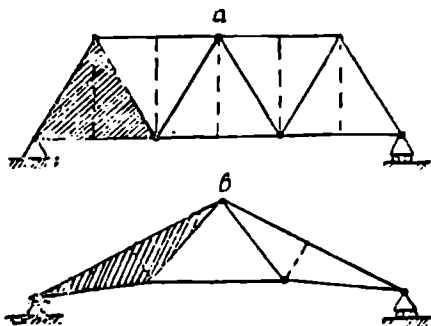
წამწეში ღეროთა შეერთების ამათუიმ სქემის შერჩევისას დიდ როლს თამაშობს სისტემის გეომეტრიულად უცვლელობის საკითხი. სახსროვანი ოთხკუთხედი რომ ავიღოთ, მაშინ გეომეტრიულად ცვლად სისტემას მივიღებთ (ნახ. 27), რადგან ნებისმიერ ორ კვანძს ორ დანარჩენის მიმართ შეუძლიათ ღეროების სიგრძის შეუცვლელად გადაადგილება, ამ სისტემის გეომეტრიულად უცვლელ სისტემად გადაქცევისათვის უნდა შემოვიღოთ დიაგონალზე მიმართული დამატებითი ღერო, ე. ი. ოთხკუთხედი უნდა დაეყოთ სამკუთხედებათ. მაშინ ჩვენ მივაღებთ ხისტ სისტემას, რომელიც თვით ღეროების სიგრძის შეუცვლელად არ სცვლის კუთხეებს ღეროებს შორის. ცხრილოვანი წამწეს სქემა აიგება ოთხკუთხედებისა და სამკუთხედებისაგან.

პირველ შემთხვევაში წამწეს არა ირიბა ეწოდება, რის დროსაც მისი აუცილებელი სიხისტის მისაღებად მოეწეობა სათანადო ხისტი კვანძური შეერთება. ეს წამწეები უმეტესად ისეთ მისაღებისაგან მზადდებიან, როგორცაა რკინა-ბეტონი და მათი ანგარიში სპეციალურ კურსის საგანს შეადგენს. მეორე შემთხვევაში ირიბა წამწეს მივიღებთ. ამ შემთხვევაში სისტემა თავისთავად გეომეტრიულად უცვლელია და არ არის დამოკიდებული იმ კვანძთა კონსტრუქციაზე, რომლებსაც როგორც ზემოდ იყო ნათქვამი სახსრისებურებად

ეთელით. ახლა გადავიდეთ ირიბა წამწეების განხილვაზე და გამოვარკვიოთ მათი შედგენისათვის აუცილებელი ღეროთა რიცხვი.



ნახ. 27.



ნახ. 28.

ავილოთ სახსრისებურად შეერთებული სამღეროვანი ძირითადი სამკუთხედი (ნახ. 28), და მას დაურთოთ დამატებითი სამკუთხედები ყოველი ახალი კვანძის ორი ღეროთი მიერთების საშუალებით. მივიღებთ სამკუთხედებისაგან შემდგარ ხის სისტემას — ხისტ გარნაპირა წამწეს. იკვანძიანი ცხრილოვანი წამწეს შედგენისათვის საკირო ღეროთა რიცხვი მიიღება, როგორც ძირითადი სამკუთხედის (სამ) ღეროთა და $n - 3$ მიერთების (ორ-ორი ღეროების) ჯამი, ე. ი. გვექნება:

$$3 + 2(n - 3) = 2n - 3.$$

ნახაზზე მთლიანი ხაზებით წარმოდგენილია ცხრილოვანი წამწეების სამი მაგალითი, რომელნიც ძირითად წახაზულ სამკუთხედთან კვანძთა თანდათანობითი მიერთების საშუალებით არიან შედგენილნი¹⁾.

ღეროთა მოცემული $2n - 3$ რიცხვი თავისთავად საეცებით არ ახასიათებს სისტემის უცვლადობას. ნახ. 29-ზე წარმოდგენილია სისტემა, რომელიც

¹⁾ ზოგიერთ შემთხვევაში სისტემას დაყოფენ მეორე რიგის სამკუთხედებათ, როგორც ეს ნახაზზე წყვეტილითაა ნაჩვენები. ეს ღეროები სისტემას უნარჩუნებენ მის სტატიურად რკვევადობას, რადგან იმდენ ახალ კვანძს დაუმატებენ, რამდენი წყვილი ღეროც ერთვის სისტემას. ამასთან ერთად თუ უკუეაგდებთ ამ ღეროებს, ამით წამწეს არ შეუცვლით გეომეტრიულად უცვლადობის თვისებას. ამ ღეროების გამოყენებას ეხედებით, როცა მაგალითად დატვირთვა თავს იყრის კვანძებში და ორთავე სარტყლის შულა ღეროებში (ნაკ. ა). მაშინ დამატებითი ღეროების (წყვეტილის) ჩართვით, ისეთ ახალ სისტემას მივიღებთ, რომელსაც მხოლოდ კვანძში ექნება დატვირთვა და რომელიც მხოლოდ გრძივ ძალოვნეთა ქმედებას განიცდის. ამნაირად ჩვენ თავიდან ავიშორებთ წამწეს ღეროთა განივ ღუნქას.

აკმაყოფილებს ნათქვამ 2 n —3 პირობას, მაგრამ გეომეტრიულად ცვლადია ($n=8$; 2 n —3=13; ლეროთა რიცხვია: ზედა სარტყელის—3, ქვედასი—3; ბრჯენია—4 და ირიბებია 3, სულ 13 ლეროა). ამ სისტემაში მარცხენა არტახის ერთი ლერო ზედმეტია, რადგან ამ არტახის მიმართ სისტემა ამ ლეროს გარეშე უცვლელი იქნებოდა. შუა არტახში კი არა გვაქვს ირიბა, ამისგამო გარე არტახებს შეუძლიათ გადაადგილება თავისი ლეროების სიგრძის შეუცვლელად არტახის გეომეტრიულ ცვლადობის გამო. ამნაირად 2 n —3 პირობის გარდა ლეროვანი სისტემის გეომეტრიულად უცვლადობის უზრუნველსაყოფად კიდევ აუცილებელია, რომ წამწე იმ სქემის მიხედვით იყოს აგებული, რომელიც მიიღება ძირითად სამკუთხედთან ორი ლეროთი კვანძის მიერთების საშუალებით¹).

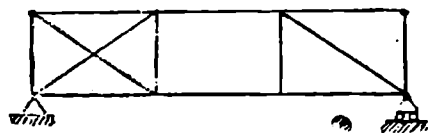
ამ თავში ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ გარეგნულად სტატიურად რკვევად წამწეებს, ე. ი. ისეთ წამწეებს, რომელთათვისაც საყრდნობთა რეაქციების განზღვრისათვის სამი უცნობი სიდიდე გვაქვს. ასეთ წამწეებს ერთი უძრავი და მეორე მოძრავი საყრდნობები აქვთ. სამი უცნობი საყრდნობთა დამატების გარდა, წამწეს გამოანგარიშებისას უცნობებთან ითვლება ლეროებში წარმოშობილი ძალღონეები, რომლებიც როგორც ვიცით 2 n —3 უნდა იყოს. რადგან წამწეს თითოეული კვანძი გარეძალების და ლეროებში წარმოშობილი ძალღონეების ქმედებით წონასწორობაში უნდა იყოს, ამიტომ თითოეულ სახსრისათვის ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ წონასწორობის ორ ორი განტოლება, სახელდობრ X ლერძზე და Y ლერძზე გეგმილთა ჯამი უნდა უდრიდეს ნულს. მესამე განტოლება ანუ მომენტთა ჯამი სახსროვანი შეერთებისათვის იგივეობათ იქცევა, რადგან კვანძზე მოდებული თითოეული ძალა და კვანძში შეერთებულ ლეროთა ძალღონეები სახსრის ცენტრზე გადიან, და ყველა ძალთა მომენტების მხარი ნულის ტოლია. მაშასადამე n კვანძისათვის, ჩვენ 2 n განტოლებას დავწეროთ, რომელთაგანაც 3 განტოლება საყრდნობთა რეაქციების განზღვრისათვისაა საჭირო, ხოლო დარჩენილი 2 n —3 განტოლება დაგვეკირდება ლეროებში უცნობი ძალღონეების განზღვრისათვის.

ამნაირად ზემოდ აღწერილი წესით აგებულ გეომეტრიულად უცვლად 2 n —3 ლეროიან წამწეებში (ცალკე არტახებში ზედმეტი ლეროების გარეშე) შესაძლებელია ძალღონეების განსაზღვრა ყველა ლეროში მხოლოდ სტატიკის განტოლებების საშუალებით, რისგამო ასეთ წამწეებს შინაგანი—სტატიურად რკვევადის სახელწოდება აქვთ.

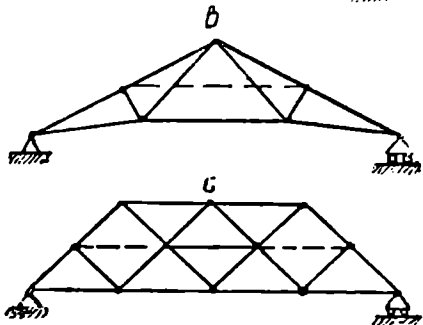
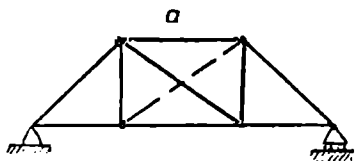
როცა ლეროთა რიცხვი (2 n —3)-ზე მეტია, მაშინ სისტემა უკვე შინაგანი—სტატიურად ურკვევადი ხდება და ლეროებში ძალღონეების მოსაძებნად დრეკად დეფორმაციითაა განტოლებებს უნდა მივმართოთ. ამ შემთხვევაში მხოლოდ სტატიკის განტოლებები უკვე საკმარისი არ არის (ნახ. 30). ნახ. 30-ზე წყვეტილით წარმოდგენილია შინაგანი სტატიურად ურკვევადი წამწეს ზედმეტი ლეროები.

¹) იმის გამო, რომ წამწეს უცვლადობისათვის ყველა ლერო იყოს საჭირო, და არც ერთი მათგანი არ იყოს ზედმეტი.

შინაგანი სტატიურად ურკვევადი წამწეების შინაგანი სტატიურად რკვევადი წამწეებისაგან განსხვავების გან.აკუთრებულობას შემდეგი მდგომარეობა



ნახ. 29.



ნახ. 30.

წარმოადგენს. შინაგანი სტატიურად რკვევად წამწეს რაიმე ლეროს სიგრძემ ელემენტარული ცვლილება რომ განიცადოს, მაშინ ეს მოვლენასისტემის დანარჩენ ლეროებში არაავითარ ახალ ძალონებს არ წარმოშობს, ადგილი ექნება მხოლოდ ლეროების მკირე კუთხით მობრუნებას სახსრების ახლოს. გეომეტრიულად უცვლად წამწეში ზედმეტი ლეროების შემოღება ზედმეტ ბმას მოგვცემს, რომელიც უკვე ლეროებს შეუღლებული ნაწილების სიგრძეთა ცვლილების გამოწვევის გარეშე სიგრძეს არაავითარ ნაზრდს აღარ ანიჭებს. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში რაიმე ლეროს სიგრძის ცვლილება სისტემის დანარჩენ ლეროებში ძალონებს წარმოშობს.

სტატიურად ურკვევადი წამწეები მე-VI-ე თავში განიხილება, ეხლა კი ჩვენ სტატიურად რკვევად წამწეთა გამოკლევაზე გადავალთ.

2 n—3 რიცხვის ლეროსთვის და ორ საყრდნობის რეაქციებისათვის 2n განტოლებათა შედგენა მეტად მომქანცაეია, რისგამო სხვადასხვა სწავლულების მიერ სტატიურად რკვევად წამწეთა ლეროებში მქმედ ძალონების განზღვრისათვის მარტივი საშუალებები იყო წარმოადგენილი, რომელთაგანაც ჩვენ მხოლოდ მეტად ცნობილებზე შევჩერდებით.

§ 15. ვაჟიების ანგარიში კულონის წახით.

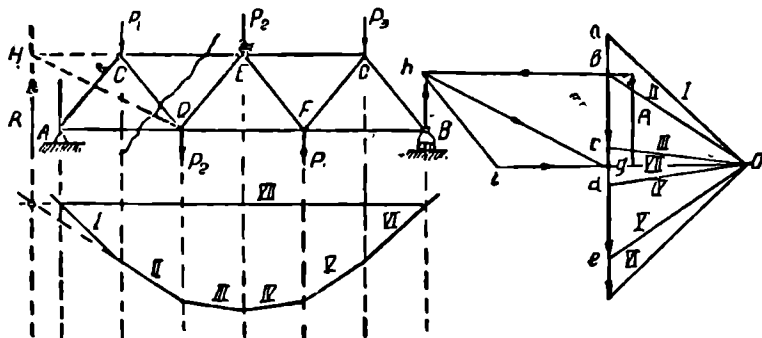
ნახ. 31-ზე მოყვანილ წამწეზე P₁, P₂, P₃, P₄ და P₅ გარეძალები მოქმედებენ. ლეროებში ძალონეთა პოვნაა საჭირო.

თავდაპირველად უნდა აღინიშნოს, რომ წამწე გეომეტრიულად უცვლელია, მას აქვს n=7 კვანძი და 11 ლერო. მაშასადამე,

$$2n - 3 = 2 \cdot 7 - 3 = 11,$$

ე. ი. ამოცანა სტატიურად რკვევადია.

ერთ წერტილში თავმოყრილ სამ ლეროზე ფიქტიური კვეთი გავატაროთ (მაგალითად, კვეთი CE, CD და AD ლეროებზე გაველოთ). უკუვაგდოთ წამწეს მარჯვენა ნაწილი და მარცხენა ნაწილის წონასწორობის პირობები განვიხილოთ.



ნახ. 31.

წამწეს მარცხენა ნაწილი წონასწორობაში იქნება, როცა მასზე მოდებულა A (საყრდნობის რეაქცია) და P_1 გარეძალები და მოქმედობენ ის ძალონეები, რომელნიც წარმოიშობიან სამ გადაჭრილ ლეროში, და, რომელთა მოქმედება უკუგდებულ მარჯვენა ნაწილიდან გადაეცემა მარცხენა ნაწილს.

თოკის და ძალთა მრავალკუთხედები ავაგოთ და მათ საშუალებით A და B საყრდნობთა რეაქციები განვსაზღვროთ. ძალის მრავალკუთხედიდან ძალთა R ტოლქმედი ვიპოვოთ, რომელიც წამწეს მარცხენა ნაწილზე მოდებულ ძალთა ტოლქმედს წარმოადგენს; იგი ამასთანავე A და P_1 ძალთა სხვაობას წარმოადგენს. R ტოლქმედის მოდების წერტილის მოსაძებნად II და VII გვერდები N წერტილში გადაკვეთაზე განვაგრძოთ (II და VII გვერდები A და P_1 ძალებისაგან შემდგარი სისტემის განაპირა გვერდებს წარმოადგენს).

ლეროებში მჭედი ძალონეები რომ მოვძებნოთ, ამისათვის R ტოლქმედი თავისი სიდიდით დნ მიმართულებით სამ მიმართულებათ უნდა დავშალოთ; ეს მიმართულებები ლეროთა გადაჭრულ ლერძებს ესაბამებიან. ამისათვის თავდაპირველად ამოცანა სამი ძალის შემთხვევაზე დავიყვანოთ, რისათანა AD და CD ლეროებში მჭედი ძალონეების ცალ-ცალკე განხილვის ნაცვლად ამ ძალონეთა ჯამი განვიხილოთ. სამი ძალონის წონასწორობის თეორიის მიხედვით დავასკენით, რომ ძალონეები AD და CD ლეროებში ერთ ტოლქმედზე დაიყვანება, რომელიც წამწეს მარცხენა ნაწილზე მჭედ ძალთა (გარეძალთა) R ტოლქმედის და CE ლეროს ძალონის გადაკვეთის H წერტილში გაივლის. CE-ხაზი R-დგ რომ განვაგრძოთ H წერტილს ვიპოვით. მეორე—მხრით AD და CD ლეროთა ძალონეების ტოლქმედი D წერტილზე გაივლის; ამნაირად ტოლქმედის მიმართულება DH ხაზს ემთხვევა.

როცა გამოარკვეულია: R ტოლქმედის, CE ღეროს ძალღონეს, AD და DC ღეროთა ძალღონეების მიმართულებანი, და ძალთა მრავალკუთხედის საშუალებით განსაზღვრულია R ტოლქმედის სიდიდე, მაშინ ადვილად განესაზღვრავთ ორი დანარჩენი ძალის სიდიდეს. ამისათვის R ტოლქმედის ბოლოებიდან $bh \parallel CE$ და $gh \parallel DH$ ხაზები გაველოთ; წონასწორობის დასაცავად ისართა ნაკადი სამკუთხედის მხოლოდ ერთ მხრივ მივმართოთ.

ახლა hg ტოლქმედი CD და AD ღეროთა პარალელურ მდგენელებად დაეშალოთ; ამისათვის ძალთა გეგმაში $hi \parallel CD$ და $ig \parallel AD$ ხაზები გაველოთ. ამ შემთხვევაში ისართა ნაკადი hg ისრის შესახვედრად უნდა მიისწრაფოდეს.

გბhig ოთხკუთხედიდან ისართა მიმართულება ღერძებზე გადავიტანოთ, რის დროსაც შევნიშნავთ, რომ CE ღერო იკუმშება, CD და AD ღეროები კი გაკიშვას განიცდიან. გაკიშული ღეროები კუთხეებს ერთმანეთისაკენ მიიზიდვენ, შეკუმშულები კი კუთხეებს განთიშავენ, ამისგამო გაკიშულ ღეროები კვანძიდან მომართულ ისრებით აღინიშნებიან, შეკუმშულებში კი ისრები კვანძისაკენ მიემართებიან.

ღეროებში ძალღონეთა სიდიდის მისაღებად bh, hi და ig ხაზები ძალის მასშტაბით უნდა გავზომოთ ძალთა გეგმაში.

ამგვარ აგებას რომ მივსდით და რაიმე სამ ღეროს იქეთ კვეთი რომ გავავლოთ, ამით ჩვენ წამწეს განსახილველ ღეროებში მქმედ ძალღონეების სიდიდეს და ნიშანს გამოვარკვევთ.

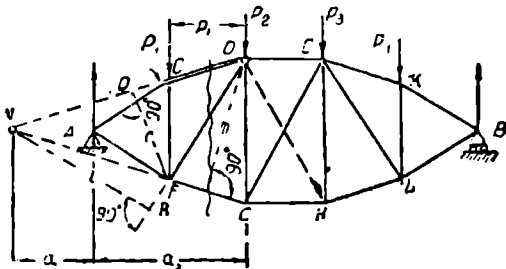
§ 16. წამწას ანგარიში რიტარის წესით.

ნახ. 32-ზე წარმოდგენილია 10 კვანძიანი და 17 ღეროიანი წამწე, რომლის ერთი საყრდნობი უძრავია, მეორე კი მოძრავია. მოცემულია:

$$2n - 3 = 10 \cdot 2 - 3 = 17.$$

ამოცანა სტატიურად რკვევადია. CD, DF და FG ღეროებში ძალღონეთა მოძებნისათვის ამ ღეროებზე კვეთი უნდა გავავლოთ, შემდეგ უნდა მოვაშოროთ წამწეს მარჯვენა ნაწილი და განვიხილოთ მარცხენა ნაწილის წონასწორობა.

წამწეს მარცხენა ნაწილი რომ წონასწორობაში დარჩეს, ამისათვის მასზე უნდა მოქმედებდეს A და P_1 ძალები და სამ გადაჭრილ ღეროში წარმოშობილი ძალღონეები. უპირველეს ყოვლისა ჩვენ ყველა ღერო დაკიმულად უნდა ვიგულოთ. წონასწორობის პირობის დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია, რომ ნათქვამ ძალთა მომენტი ნულს ეტოლებოდეს, ე. ი.



ნახ. 32.

$$\Sigma M = 0.$$

მომენტთა ცენტრად CD და DF ღეროთა თანაკვეთის D წერტილი მივიჩნით. D წერტილის მიმართ წამწეს მარცხენა მხარეში მქმედი ძალების მომენტთა ჯამი რომ შევადგინოთ, შევნიშნავთ, რომ DF და CD ღეროთა ძალონები ნულის ტოლებია, და ამისგამო ჩვენ გვექნება ერთუცნობიანი განტოლება, რომლის უცნობ წევრს FG ღეროს ძალონე წარმოადგენს. მომენტთა განტოლების შედგენისას ნიშანთა შემდეგი წესით ვისარგებლოთ: საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით მქმედ მომენტებს (+) ნიშანი ექნებათ, წინაუკმოდ მიმართულებას კი (-) ნიშანი. მომენტთა განტოლებიდან განვსაზღვროთ FG ღეროს ძალონე:

$$\Sigma M = + Aa_2 - P_1p_1 - FG \cdot h = 0,$$

საიდანაც:

$$FG = \frac{Aa_2 - P_1p_1}{h}.$$

ღეროების ორი შემდეგი წყვილი კვეთის F და N წერტილებისათვის ანალოგიურ მსჯელობით შევძლებთ თანაგვარი განტოლებების ჩამოყალიბებას. ამით ჩვენ ორ დანარჩენ ღეროში მქმედ ძალონეებს განვსაზღვრავთ:

F წერტილისათვის:

$$A(a_2 - p_1) + CD \cdot r = 0,$$

აქედან:

$$CD = -\frac{A(a_2 - p_1)}{r}.$$

N წერტილისათვის:

$$-Aa_1 + P_1(a_2 - p_1 + a_1) - FD \cdot t = 0,$$

აქედან:

$$FD = \frac{-Aa_1 + P_1(a_1 + a_2 - p_1)}{t}.$$

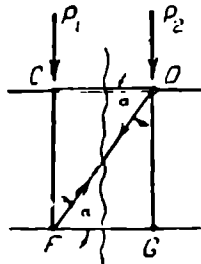
საათის ისრის ბრუნვის მიხედვით მქმედი მომენტები პლიუს ნიშნითაა აღებული, მოწინააღმდეგე მიმართულებით მქმედ მომენტებს კი მინუს ნიშანი აქვთ. ჩვენ მიერ ამოხსნილი სამი განტოლების გადაწყვეტის დროს CD, DF და FG ღეროთა ძალონეების მნიშვნელობები დადებითი რომ მივიღოთ, მაშინ ეს ფაქტი იმის დამადასტურებელი იქნება, რომ ყველა ღერო დაქიმულია. უარყოფითი პასუხი გვიკარნახებს, რომ მოცემული ღერო შეკუმშულია. უკვე

ასოებიან გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ FG დადებითია, ე. ი. ღერო გაკეიმულია, CD კი უარყოფითია, ე. ი. ღერო შეკუმშულია. ნახაზზე ჩვეულებრივად შეკუმშული ღეროები მსხვილი ან ორმაგი ხაზებით აღინიშნებიან (ან კიდევ წითელი ფერით).

წამწე პარალელური სარტყლებით რომ ავიღოთ, მაშინ დიაგონალებში ძალღონეთა განზღვრისათვის რიტერის წესი არ გამოგვადგება, რადგან პარალელური ღეროები მხოლოდ უსასრულეთში გადაიკვეთებიან, და ამიტომ არ მოიპოვება ისეთი წერტილი, რომლის მიმართაც შეგვეძლოს მომენტთა განტოლების დაწერა და რომლისგანაც გამორიცხული იქნება CD და FG სარტყელთა ძალონეები (ნახ. 33). ამ შემთხვევაში FD ღეროს ძალონეს შემდეგნაირად განესაზღვრავთ.

შეადგენთ შეუღლს ზემოდ მიმართულ ღერძზე მიღებულ გეგმილებისაგან. ერთ განტოლებას და FD ღეროს დაკეიმულად ვიგულებთ, მაშინ გვექნება:

$$\sum Y = A - P_1 + DF \cdot \sin \alpha = 0,$$



ნახ. 33.

აქედან

$$DF = - \frac{A - P_1}{\sin \alpha},$$

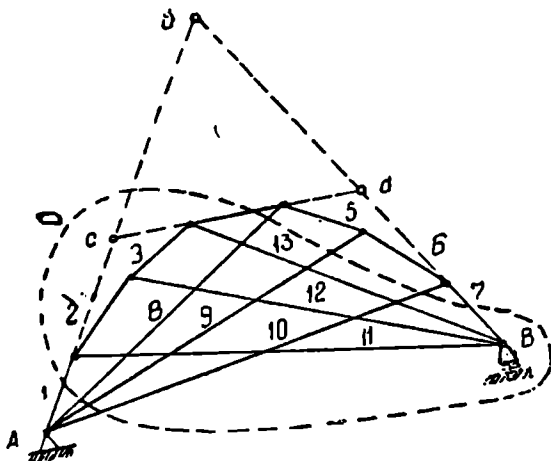
სადაც α — ირიბსა და წამწეს სარტყელს შორის მოთავსებული კუთხეა. უარყოფითი ნიშანი იმაზე მიგვითითებს, რომ ირიბა შეკუმშულია.

სხვა კვეთების გავლებით ასეთნაირადვე განესაზღვრავთ ძალონეებს ჩვენი წამწეს დანარჩენ ღეროებშიაც. რიტერის წესის სახეჩხულობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ძლიერ ადვილად გავკვავებინებს ძალონეს სიდიდეს წამწეს ნებისმიერ ღეროში, რის დროსაც არ მოითხოვს სხვა ღეროებში ძალონეთა საწინაო გამოთვლას.

§ 17. ჩაქატილ კვეთთა წახით ანბარიში.

ზოგიერთ წამწესთვის რიტერის წესი გამოუსადეგარია, რადგან მათში არ შეიძლება რაიმე ისეთი ერთი კვეთის გავლება, რომელიც ერთდროულად გადაკვეთს ერთ წერტილში გადაუკვეთავ სამ ღეროს. ასეთ შემთხვევებში წამწეს ჩაკეტილ კვეთთა წესით ანგარიშობენ, რის დროსაც გავლებული კვეთი კენტრიცხვერ უნდა კვეთდეს სამზე არა მეტ ღეროს, ხოლო წყვილ რიცხვერ უნდა გადაკვეთოს ღეროთა ნებისმიერი რიცხვი. ასეთი კვეთით გამოყოფილი წამწეს ნაწილი წონასწორობაში უნდა დარჩეს გარეძალებისა და ღეროებში წარმოშობილი ძალონეების ქმედებით, რისათანა წყვილრიცხვერ გადაკვეთილ ღეროებში ძალონეები ურთიერთ გაწონასწორდებიან (ისე როგორც ერთ სწორზე წინაუკმოდ მიმართული ძალები). ამნაირად განტოლებაში შევა მხო-

ლოდ გარეძალეები და ის ძალონეები, რომელნიც კენტრიცხვეერ გადაკრი-
ლი ღეროებში წარმოიშობიან.



ნახ. 34.

ასეთ წამწეებს ეკუთვნის, მაგალითად შუხოვის სისიემის წამწე (ნახ. 34). ამ წამწეში შეუძლებელია რაიმე ისეთი კვეთის გავლება, რომელიც გადაკვეთდეს ერთ წერტილში თავმოყურელ სამ ღეროს, მაგრამ მიუხედავად ამისა წამწე სტატიურად რკვევადია, რადგან მას აქვს 8 კვანძი და 13 ღერო, ე. ი. განტოლებათა რიცხვი იქნება:

$$2 \cdot 8 - 3 = 13.$$

ჩაკეტილი კვეთი ისეთნაირად გავატაროთ, რომ მან თითოჯერ გადაკვეთოს 1, 4 და 7 ღეროები, და ორ-ორჯერ 8, 9 და 10 ღეროები. ორჯერ გადაკვეთილ 8, 9 და 10 ღეროებში წარმოშობილი ძალონეები ურთიერთ წონასწორდებიან და გვრჩება მხოლოდ სამი უცნობი ძალონე 1, 4 და 7 ღეროში, რომლებსაც ჩვენ რიტერის წესით განვსაზღვრავთ.

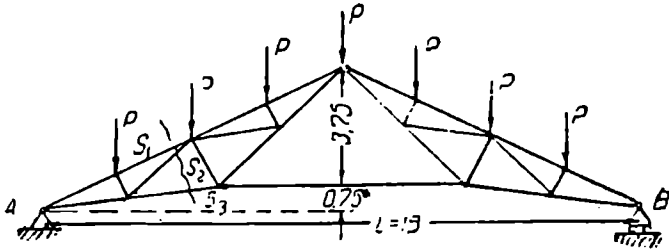
1 ღეროში ძალონეს განზღვრისათვის რიტერის წერტილი 4 და 7 ღეროთა გადაკვეთის წერტილში მოთავსდება, ე. ი. (ა) წერტილში; ძალონე 4-ის გვექნება წერტილი (ბ) და ძალონე 7 ის წერტილი (ც). ამ სამი ძალონეების განზღვრისათვის ჩვეულებრივ წესებს გამოვიყენებთ, რის დროსაც 1, 4 და 7 ძალონეებს გარეძალეებათ მივიღებთ.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. რაში მდგომარეობს შინაგანი სტატიურად რკვევადი წამწეს პირობა?
2. როგორი წესით განიზღვრება საყრდნობთა რეაქციები სტატიურად რკვევად წამწეში?

3. გამოცნობილ დატვირთვის შემთხვევაში, რანაირად უნდა შევუდგეთ წამწეს ანგარიშს რიტერის წესის მიხედვით?

4. რაში მდგომარეობს წამწეთა ანგარიშის პრინციპი კულმანის წესის მიხედვით?



ნახ. 35.

5. რაში მდგომარეობს წამწეთა ანგარიშის პრინციპი რიტერის წესის მიხედვით?

6. წამწეთა ანგარიშს რა ჩაეყარა საფუძვლად ჩაკეტბლ კვეთთა წესის გამოყენების დროს?

7. ნახ. 35-ზე წარმოდგენილი წამწეს S_1 , S_2 და S_3 ღეროებში კულმანის და რიტერის წესების მიხედვით გამოიანგარიშეთ ძალლონეები, როცა კვანძებში მოდებულია ტვირთები: $P = 3,6$ ტონა. შედეგები შეადარეთ ერთმანეთს.

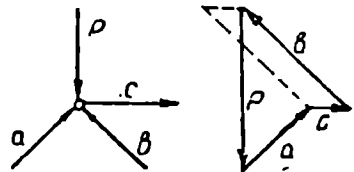
§ 18. ვამბტანისი (გარანაპირა ანუ ვამბვალაპი) ვამწუთის ანგარიში კრამონის დიაგრამის საშუალებით.

წამწედან რაიზე კვანძს თუ ამოეკრით აზრად, იგი წონასწორობაში უნდა დარჩეს მოდებულ გარეძალებისა და ამ კვანძში თავმოყრილ ღეროების ძალლონეების კმედებით (ნახ. 36).

კვანძის წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ ღეროებში მკმედი ძალლონეებისათვის აგებული მრავალკუთხედი ჩაკეტილი, ხოლო ისართა ნაკადი მასში უწყვეტლივი იყოს.

თითოეულ კვანძისათვის ძალთა მრავალკუთხედის აგება მხოლოდ მაშინ არის შესაძლებელი, როდესაც ამ კვანძში უცნობ ძალლონეთა რიცხვი ორს არ აღემატება. ამიტომ წამწეს ერთი ისეთი კვანძი უნდა ჰქონდეს, სადაც ორამდე ღერო იყრის თავს.

როცა კვანძში გამოსაცნობი ძალლონეებია, მაშინ მათ განსაზღვრას შევძლებთ, თუ უცნობი ძალლონეთა რიცხვი ორს არ აღემატება. მრავალკუთხედს ამ ძალლონეთა მიმართულების პარალელურ გვერდებით თუ ჩაეკეტათ, ამით ჩვენ ძალლონეთა სიდიდესა და მიმართულებას განვსაზღვრავთ.



ნახ. 36.

ეთქვათ, ნახ. 36-ზე ცნობილია P ძალა და ძალღონე a ლეროში. ძალთა მრავალკუთხედის აგებით ვამჩნევთ, რომ c ლერო დაქიმულია (ძალღონე კვანძიდან მოემართება), ხ ლერო კი შეეუმშუღლია (ძალღონე კვანძისაკენ მიემართება). ხ და c ძალღონეთა სიდიდე რომ განვსაზღვროთ, ამისათვის ძალთა გეგმაში სათანადო მონაკვეთები ძალთა მასშტაბით უნდა განვსაზღვროთ; ამ ძალღონეთა სიდიდე სრულიადაც არ არის დამოკიდებული იმაზე, თუ ძალთა გეგმაში როგორ თანრიგით გავავლეთ უცნობი ძალღონეების პარალელური ხაზები.

ეს ნათლათ ჩანს ნახ. 36-ზე მოყვანილი წყვეტილების აგებისაგან.

წამწეს ლეროებში ძალღონეთა განსაზღვრას ისეთ კვანძიდან ვიწყებთ, სადაც თავს იყრის ორი ლერო. ამ კვანძზე მქმედი გარეძალები თუ ცნობილი იქნება, მაშინ ზევით ნათქვამის თანახმად, ადვილად შევძლებთ ორი ლეროს თავმოყრის კვანძში ძალღონეთა მოძებნას.

ამის შემდგომ გადავდივართ შემდეგ, კვანძზე, რომელშიაც სამზე მეტი ლერო არ უნდა იყრიდეს თავს, და ერთ-ერთი ლეროს ძალღონე ჩვენ მიერ უკვე გაპარკვეული უნდა იყოს. ამ ძალღონეს დაუმატებენ კვანძზე მომქმედ გარეძალებს და მიღებულ ტოლქმედს დაშლიან ლეროებში მქმედი ორი ახალი უცნობი ძალღონეების მიმართულებით.

ამნაირი მოქმედებით ჩვენ ყველა კვანძისათვის ავაგებთ ძალთა მრავალკუთხედებს და განვსაზღვრავთ ძალღონეებს ლეროებში.

კრემონამ ცალკეული მრავალკუთხედების ნაცვლად იგინი ერთ დიაგრამაში შეაერთა, რომელსაც სახელათ კრემონას დიაგრამა დაერქვა. ასეთი წესის სახერხულობა იმაში მდგომარეობს, რომ თითოეული ძალღონე დიაგრამაზე მხოლოდ ერთხელ იხაზება, რაიც მნიშვნელოვნად ამოკლებს სამაზაველო მუშაობას და უფრო ზუსტ შედეგებს გვაძლევს.

გარდა ამისა, აგების დასასრულში ნაკეთის ჩაკეტვის საშუალებით, ასეთი დიაგრამა ნებას გვაძლევს შევამოწმოთ გრაფიკულ გამოანგარიშებათა სისწორე.

განმარტებისათვის რამდენიმე მაგალითი განვიხილოთ.

§ 19. კრემონას დიაგრამით წამწეთა ანგარიშის მაგალითები.

1. abcde წამწე ხ წერტილში P — ძალითაა დატვირთული. საჭიროა ძალღონეთა გამოთვლა წამწეს ყველა ლეროებში (ნახ. 37).

ამოხსნა. ავაგებთ ძალთა მრავალკუთხედს (ამ მაგალითში იგი P-ს ტოლ ნაკვეთს წარმოადგენს).

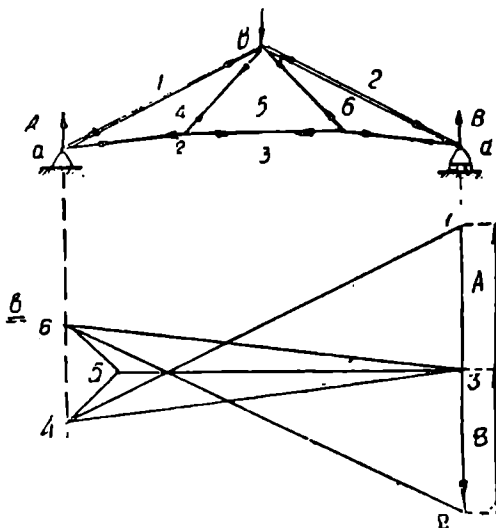
განვსაზღვროთ საყრდნობთა A და B რეაქციები, რომელნიც სიმეტრიის გამო ერთნაირნი იქნებიან:

$$A = B = \frac{P}{2}.$$

ძალების, ლეროების და უკანასკნელთა ძალღონეთათვის შემდეგი აღნიშვნები შევყოვილოთ.

უბნებს ძალებსა და ღეროებს შორის ნახ. 37, ა-ზე მოყვანილის თანახმად დაენუსხავთ.

P და A ძალებით და ab ღეროთი შემოფარგლული უბანი ციფრი 1-ით აღენიშნოთ. P და B ძალებით და bd ღეროთი შემოფარგლული უბანი ციფრი 2-ით. ნახაზის სიბრტყის დანარჩენი ნაწილი, რომელიც წამწეს გარეთ იმყოფება, აღენიშნოთ ციფრი 3-ით. წამწეს ღეროებით შემოსაზღვრული სამკუთხედები 4, 5 და 6 ციფრებით დაენუსხოთ.



ნახ. 37

გვხვდებით წამწეს ნახაზის საათის ისრის მიხედვით შემოვლის დროს. ძალების და ღეროთა ძალღონეების აღნიშვნის დროს კი ციფრითი აღნიშვნებიც ორი ციფრით ვიკითხოთ და იმ თანამიმდევრობით, რომელითაც გვხვდება იგინი კვანძის გარს საათის ისრის მიხედვით შემოვლის დროს. მაგალითად P ძალა 1—2 ძალაა და არა 2—1 ძალა. e კვანძის მიმართ be ღეროს ძალღონე ასე წაიკითხება: 4—5 ძალღონე, b კვანძის მიმართ კი იკითხება: ძალღონე 5—4.

საზოგადოთ, ძალთა ნუმერაცია ნებისმიერი თანრიგით მიჰდინარეობს, ისე როგორც ძალთა გეგმაში ძალის გადაზომვა ნებისმიერი თანამიმდევრობით შეიძლება, — როგორც საათის ისრის, ისე მოწინააღმდეგე მიმართულებით, — რისთვისაც საკმარისია მხოლოდ, რომ თითოეული კვანძის გარს ვლენა ძალღონეს მოძებნისას (იმ ღეროთა ძალღონეებისა, რომელთაგანაც კვანძი ყალიბდება), ეთანადებოდეს მონაკვეთთა გადაზომვის მიმდევრობას ძალთა გეგმაში. ამნაირად, ძალთა გეგმა საათის ისრის ბრუნვის მიხედვით თუ იქნება აგებული, მაშინ კვანძთა გარსელებიც საათის ისრის მიხედვით უნდა სრულდებოდეს.

ამნაირად, ძალთა გეგმაში (ნახ. 37, b) P ძალას კიდევ 1—2 დასახელებით აღენიშნავთ, რის დროსაც პირველ ციფრს ვექტორის დასახელებაში ვწერთ;

P ძალა იმ ორი ციფრით წაიკითხოთ, რომლებითაც აღინიშნება მისი მეზობელი უბნები, ე. ი. ასე წაიკითხოთ:

ძალა 1 — 2.

A ძალა ასე წაიკითხება: ძალა 3 — 1; ძალა B-ის გვექნება: ძალა 2 — 3. ღერო bc-ში გვაქვს ძალღონე, რომელსაც ასე წაიკითხავთ: ძალღონე 5 — 6.

იგივე აღნიშვნები მივიღოთ ძალთა გეგმისთვისაც. ამისათვის ძალთა მრავალკუთხედის აგებისას შევთანხმდეთ და გარეძალები, საყრდნობთა რეაქციების ჩართვით, იმ თანრიგით გადავზომოთ, როგორც ჩვენ ამას

მეორეს კი მის ბოლოში. ძალთა გეგმაში B ძალა 2—3 ნაკვეთით აღინიშნება A ძალა კი 3—1 ნაკვეთით.

დიაგრამის აგება დავიწყეთ საყრდნობის a კვანძიდან, რომელშიაც თავს იყრის მხოლოდ ორი ლერო 1—4 დ. 4—3. ამ ლეროებში ძალლონეთა განზღერისათვის ასეთი პირობა გვაქვს: კვანძზე მქმედი ყველა ძალები წონასწორობაში უნდა იყვნენ. ეს ძალებია ჩვენთვის სიდიდით და მიმართულებით ცნობილი რეაქცია 3—1 და 1—4 და 4—3 ლეროებში მქმედი და ჯერ ჩვენთვის სიდიდით უცნობი ძალლონებები.

4.—3 და 1—4 ძალლონებები ვაწონასწორებთ საყრდნობის 3—1 რეაქციას. ამისათვის ძალთა გეგმაში 1 წერტილიდან ab ლეროს პარალელურად გავატარებთ 1—4 ხაზს, 3 წერტილიდან კი გავატარებთ ac ლეროს პარალელურ 4—3 ხაზს. კვანძის წონასწორობისათვის 3—1—4—3 მრავალკუთხედს ერთ მხრივ მიმართული ისართა კონა უნდა ჰქონდეს. ეს კი იმაზე მიგვითითებს, რომ 1—4 ლერო შეკუმშულია, 4—3 ლერო კი გაქიმულია, რადგან პირველში ძალლონე a კვანძისაკენ მიემართება, მეორეში კი კვანძიდან მოეძართება. შემდეგ e კვანძზე გადავიღვართ.

e კვანძში სამი ლერო იყრის თავს, რომელთაგანაც ae ლეროში მქმედი ძალლონე ჩვენთვის უკვე სიდიდით ცნობილია, ჩვენ მიერ აგებული დიაგრამის მიხედვით; აგრეთვე ცნობილია, რომ ლერო დაქიმულია, ე. ი. მისი ძალლონე კვანძიდან 3—4 მიმართულებას მისდევს. რადგან კვანძზე არავითარი სხვა ძალლონე არ არის მოდებული, ამიტომ 3—4 ძალლონე უნდა ვაწონასწორდეს 4—5 და 5—3 ლეროების ძალლონეებით. 3 წერტილზე გავატაროთ 5—3 ლეროს პარალელური ხაზი, 4 წერტილზე კი 4—5 ლეროს პარალელური ხაზი. ამ ხაზთა გადაკვეთა. ძალთა გეგმაში 5 წერტილს მოგვცემს.

3—4 ძალა 4—5 და 5—3 ძალლონეებით გავაწონასწოროთ, რისთვისაც 3—4—5—3 სამკუთხედში ისართა ნაკადი 3—4 ძალლონის მიმართულებით მიემართოს. შევნიშნოთ, რომ ძალლონეები ლეროებში e კვანძიდან არიან მომართულნი, ე. ი. e კვანძში თავმოყრილი სამთავე ლერო დაქიმულია.

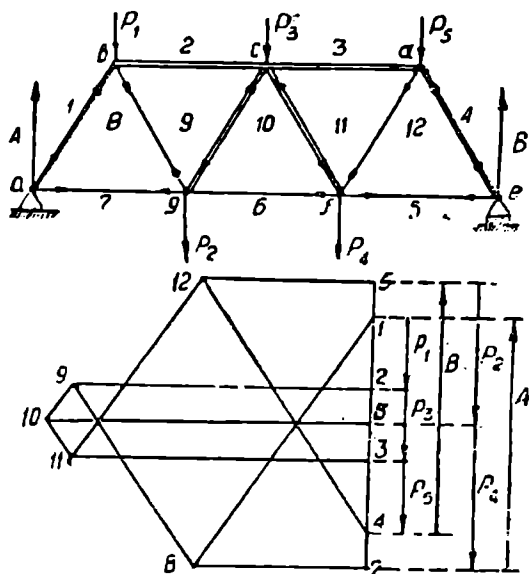
გადავიღვართ b კვანძზე. ამ კვანძში თავს იყრის: ორი ლერო ჩვენთვის ცნობილი ძალლონეებით, ორი უცნობი ძალლონეებით, და, გარდა ამისა ამ კვანძზე მოქმედობს გარე P ძალა. ამოცანა დაიყვანება სამი ცნობილი ძალის ტოლქმედის ვაწონასწორობაზე ორი უცნობი ძალით, რომელნიც უცნობ ძალლონიანი ლეროების პარალელურნი არიან.

ნახაზზე ვეძებთ 5—4, 4—1 და 1—2 ძალლონეთა ტოლქმედს, მიუხედავთ იმისა, რომ იგი ნახაზზე არ არის გავლებული, მაგრამ სიდიდით და მიმართულებით იგი 5—2 ნაკვეთის ტოლია. 5 და 2 წერტილებიდან 6—5 და 2—6 ლეროების პარალელურნი ხაზები გვატაროთ. 5—4—1—2—6—5 მრავალკუთხედის გარსელებით ისართა ნაკადი გვიჩვენებს, რომ 2—6 ლერო შეკუმშულია, 6—5 ლერო კი დაქიმულია.

ეხლა 3 წერტილიდან 6 წერტილისაკენ სწორხაზი რომ გავატაროთ, იგი cd ხაზის პარალელური უნდა იყოს, რაიც აგების სისწორეზე მიგვითითებს. 2—3—6—2 სამკუთხედიდან ჩვენ შევნიშნავთ, რომ ეს ლერო დაქიმულია.

მას შემდეგ რაც რომ გამოკვეთულ იქმნა ყველა ძალბოლოები, საჭიროა ძალთა მასშტაბით გაიზომოს მათი რიცხვითი სიდიდეები და შეირჩეს ღეროთა კვეთი საჭირო პროფილის მიხედვით.

2. ნახ. 38-ზე ნაჩვენებ წამწესათვის ავაგოთ კრემონას დიაგრამა.



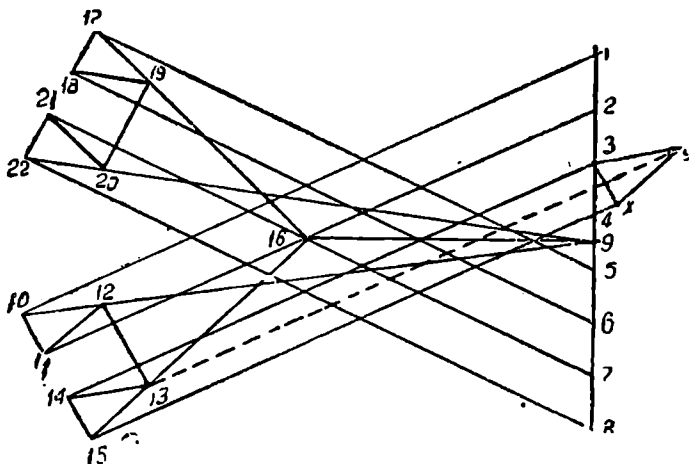
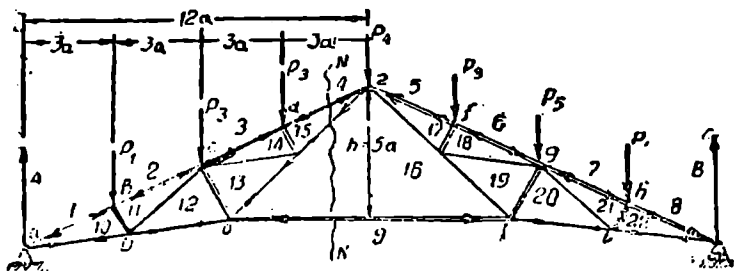
ნახ. 38.

ამოხსნა. შემდეგისათვის შევთანხმდეთ და ძალთა აღსანიშნავათ წინა ამოცანაში მიღებული ნიშნები გამოვიყენოთ. ჯერ განვსაზღვრავთ საყრდნობთა A და B რეაქციებს. შემდეგ ავაგებთ კრემონას დიაგრამის ძალთა გეგმას. ამისათვის ძალებს შემდეგი ნუმერაციით გადავზომავთ: 1—2, 2—3, 3—4, 4—5, 5—6, 6—7 და 7—1, რის დროსაც ძალები ერთმანეთს ემთხვევიან და განსასხვავებლათ ისინი ისეთი ციფრებით აღინიშნებიან, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია ნებისმიერი ძალის მოძებნა სიდიდით და მიმართულებით. ამის შემდეგ უწინდელი ამოცანის თანავარად ვიწყებთ a კვანძიდან. და კვანძიდან კვანძზე გადასვლით ავაგებთ კრემონას დიაგრამას. რადგან საბოლოოთ ჩაკეტილი დიაგრამა მივიღეთ, ამიტომ ჩვენი აგება წესიერათაა შესრულებული.

3. განვსაზღვროთ ძალბოლოები პოლონოსის წამწესში (ნახ 39).

ამოხსნა. დადგინდით ღეროები, დავხაზოთ ძალთა გეგმა და ამის შემდეგ გადავიდეთ ამოცანის ამოხსნაზე, რის დროსაც ვიხელმძღვანელოთ წინა ამოცანაში გამოყენებული გზაზე.

თავდაპირველად a კვანძს ამრებსნით, შემდეგ კი b კვანძს, რომელშიც თავს იყრის სამი ღერო. ამის შემდეგ გადავდივართ p კვანძზე, რომელშიც თავს იყრის ოთხი ღერო. p კვანძში თავმოყრილ ღეროებიდან 9 — 10 და 10 — 11 ღეროთა ძალონები უკვე ცნობილია.



ნახ. 39.

ამის შემდეგ ამავე წესით წინსვლა შეუძლებელია, რადგან c და o კვანძებში ჩვენ სამ-სამ უცნობ ძალონეს ვხვდებით. ასეთ მდგომარეობიდან გამოსულიათვის, გამოვიყენოთ რიტერის ან კულმანის წესი.

სამ ღეროზე NN' კვეთი გავატაროთ და ერთ-ერთ მათგანში მაინც განვსაზღვროთ ძალონე, მაგალითად 16 — 9 ღეროში. ახლა უკვე ადვილად ამოიხსნება o კვანძი, ამის შემდეგ კი c კვანძი და a . შ.

რიტერის წესის გამოყენებით, e კვანძის მიმართ ავიღებთ მომენტებს. ნახაზიდან ზომების აღებით, მივიღებთ:

$$x \cdot 5a = 3 \frac{1}{2} P \cdot 12a - P(9 + 6 + 3) a = 24aP.$$

$$x = \frac{24}{5} P = 4,8 P.$$

მაგრამ იმავე ამოცანის ამოხსნას შეეძლებდით, კულმანის და რიტერის წესების ნაცვლად, სრულიად მარტივი აგება რომ შეგვესრულებინა.

აეილებთ d კვანძს, რომელზედაც მოქმედობს P , ძალა. P , ძალას (ანუ 3 — 4) დავშლით cde და 14 — 15 მიმართულებებით. 14 — 3 და 4 — 15 ღეროებში შექმედ ძალონეებს ცალკე-ცალკე ვერ ვიპოვით, ვიპოვით მხოლოდ მათ ტოლქმედს. სამაგიეროდ ზუსტად ვიპოვით 14 — 15 ღეროს ძალონეს (იხ. ნახ. 38-ზე მოყვანილი აგება). 14 — 15 ძალონის სიდიდე და მიმართულება 3-დან x წერტილამდე გაყვანილი ნაკვეთით წარმოიდგინება.

14 — 15 ძალონე შემდეგ 13 — 14 ძალონეთ და one მიმართულებათ დაიშლება, რის დროსაც 13 — 14 ღეროში მივიღებთ y — 3 ძალონეს, 16 — 13 და 15 — 16 ღეროებში ვიპოვით ძალონეთა ტოლქმედს.

როცა ცნობილია 13 — 14 ღეროს ძალონე, მაშინ ადვილად ამოიხსნება ϵ კვანძი, რადგან უცნობებად რჩება მხოლოდ 13 — 12 და 3 — 14 ძალონეები.

ნახაზზე ეს აგება შესრულებულია, რისათანა ჯერ ნაპოვნია 12 — 13 და y — 13 ნაკვეთთა თანაკვეთის წერტილი 13, შემდეგ კი 13 — 14 და 3 — 14 ნაკვეთთა თანაკვეთის წერტილი 14.

როცა ცნობილია 9 — 12 და 12 — 13 ძალონეები, მაშინ 16 — 9 და 13 — 16 ნაკვეთთა თანაკვეთში ეპოვობთ 16 წერტილს. აგების სიზუსტის შესამოწმებლად სვეალდებულაა, რომ ერთი და იგივე ხაზის პარალელურად გაელებული 13 — 16 და 15 — 15 ხაზები ერთ სწორზე მდებარეობდენ.

გრაფიკულად მიღებული 16 — 9 ძალონეს სიდიდის გაზომვით შევნიშნავთ, რომ რიტერის წესით ნაპოვნ 4,8P-ს კი არ უდრის, არამედ 5P. ეს კი აგების 4% ცდომილებას გვაძლევს.

§ 20. რთულ ელემენტებიანი წამწები.

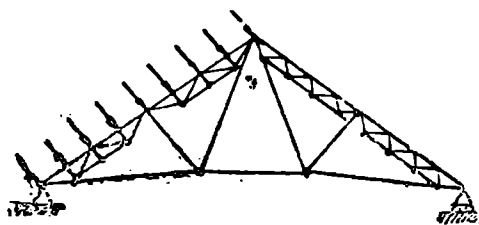
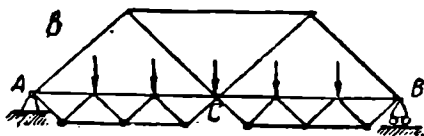
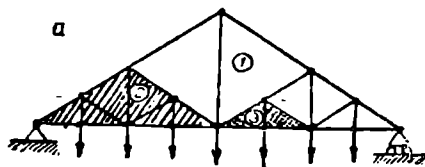
კვანძურ დატვირთვის დროს წამწეს ღეროები მხოლოდ გაქიმვას ან კუმშვას განიცდიან.

სინამდვილეში კვანძებით ძალონეების გადაცემა მუდამ მოსახერხებელი არ არის, ხშირად ტვირთის ნაწილი კვანძებს შორის თვით ღეროზეა მოდებული. ამ შემთხვევაში ღეროები რთულ დეფორმაციას განიცდიან, რადგან ღეროთა გაქიმვასა და კუმშვას კიდევ თან ერთვის ღეროთა განივი ღუნვა. განივი ღუნვისა და გაქიმვის ან კუმშვის ერთდროულ ქმედების გამო უფრო დიდი განივი კვეთის მქონე ღეროებია საჭირო. ამის თავიდან ასაცილებლად, ღეროს შპრენგელით აძლიერებენ ან მას გამტანისათ (წამწისებურად) ამზადებენ.

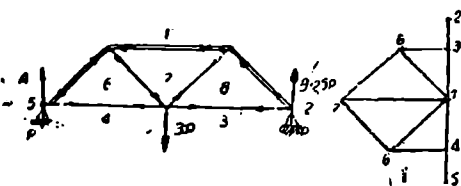
უკანასკნელ შემთხვევაში რთულ ელემენტებიანი წამწე მიიღება (ნახ. 40). განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

I. წამწეს კვანძებზე არავითარი ძალა არ არის მოდებული, ე. ი. იგი პირდაპირ ღეროს მაგიერობას სწევს. ამ შემთხვევაში დაშხმარე წამწეთი ღეროს შეცვლა ძირითადი წამწეს ანგარიშზე არავითარ გავლენას არ ახდენს.

დამხმარე წამწე იმ ძალების მიხედვით უნდა იყოს ნაანგარიშები, რომელნიც მის ნაპირა კვანძებშია მოდებული; სიდიდით ეს ძალები ძირითადი სისტემის იმ ღეროს ძალღონის ტოლი უნდა იყოს, რომელიც შეცვლილი იქმნა დამხმარე წამწეთი.



ნახ. 40.



ნახ. 41.

რე ხარისხოვანი წამწეები დროებით ღეროებით შეცვალეთ და ავაგოთ კრემონას დიაგრამა (ნახ. 41).

6-4 და 3-8 ღეროებში, რომელნიც დამხმარე მეორე ხარისხოვანი წამწეების მაგვირობას ასრულებენ, ძალღონეები 1,5 P ტოლი აღმოჩნდენ.

ერთ-ერთ მეორე ხარისხოვანი დამხმარე წამწე ავილოთ და მის ღეროებში შუქმედი ძალღონეები განვსაზღვროთ (ნახ. 42). ამ შემთხვევაში დატვირთვას წარმოადგენს ზედა სარტყლის კვანძებზე მოდებული ორი P ძალა, დამხმარე

II. დამხმარე წამწეს კვანძებზე ΣP ძალებია მოდებული. ვპოულობთ ამ ძალთა ტოლქმედს, რომელსაც გადავცემთ დამხმარე წამწეს ნაპირა კვანძებს, რისათანა ეს კვანძები ერთდროულად ძირითადი წამწეს კვანძებსაც წარმოადგენენ. ამის შემდეგ ძირითად წამწეს ძირითად კვანძებში თავმოყრილ ტვირთთა სისტემაზე განვიხილავთ. ხოლო ამის შემდეგ ვანგარიშობთ დამხმარე წამწეს ღეროებს იმ ძალღონეების მიხედვით, რომელნიც გადავცემა წამწეს ნაპირა კვანძებიდან; ანგარიშის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის ძალები, რომელნიც უშუალოდ მოქმედობენ დამხმარე წამწეზე.

მაგალითი. ნახ. 40 b-ზე წარმოდგენილი სანიმუშო წამწე განვიხილოთ.

მეორეხარისხოვან დამხმარე წამწეებზე მოდებული ძალღონეები ძირითადი წამწეს A, C და B კვანძებს გადავცეთ. მცირე დამხმარე წამწეების სიმეტრიის გამო შეგვიძლია დაბეჯითებით ვთქვათ, რომ A და B კვანძების დატვირთვა P-ს ტოლია, C წერტილის დატვირთვა კი 3P არის. ეხლა დამხმარე მეორე

წამწეს საყრდნობის სახსრებში ნოდებული ორი P რეაქცია და წინა დიაგრამიდან მიღებული დამხმარე წამწეს გაგვიშვებული ორი 1,5 P ძალა.

მიღებული ძალლონეების საშუალებით ჩვენ შევარჩევთ ღეროთა განივ კვეთებს.

აგების გასამართივებლად და განმეორებითი აგების დროს შესაძლო ცდომილებების თავიდან ასაშორებლად, უმჯობესია ერთი საერთო დიაგრამის¹⁾ აგება (ნახ. 43).

რადგან კვანძებში თავმოყრილი ღეროთა რიცხვი ორზე მეტ უნობს გვაძლევს, ამიტომ თავდაპირველად 15—4 ღეროს კინეას რიტერის წესით განვსაზღვრავთ. ამისათვის გვაქვს:

$$A = 3 \frac{1}{2} P.$$

წამწეს მარცხენა ნაწილზე მოდებული ძალების მომენტი C წერტილის მიმართ ასეთ განტოლებას გვაძლევს:

$$[(15-4) \text{ ძალა}] 2 = A \cdot 4,$$

მაშასადამე,

$$[(15-4) \text{ ძალა}] = 2 A = 7 P.$$

ამის შემდეგ მიმდევრობით ეპოულობთ ძალლონეებს: 1—10, 9—10, 10—11, 11—2, 9—12, 12—11, 3—14, 14—15, 12—13, 13—14, 9—16, 16—13, 15—16, 16—17, 9—17 და ა. შ.

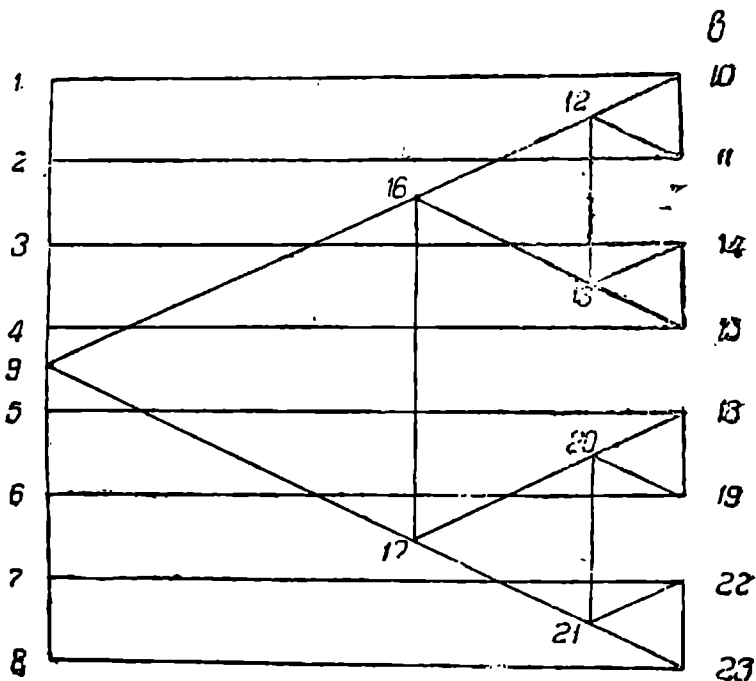
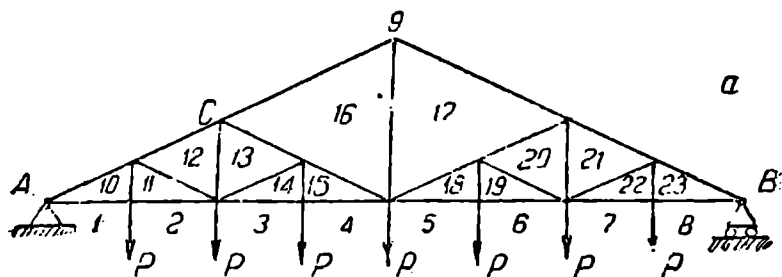
§ 21. მოკლე ცნობები კინის გამბან წამწეთა ღეროებისათვის კვეთების შერჩევაზე.

კვეთების შერჩევისა და წამწეთა დაგეგმვის დროს უნდა ვესწრაფოთ, რათა კვეთის სიმძიმის ცენტრი თანხვდეს ღერძს თეორიულ ღერძს, კვეთის მასალა კი სიმეტრიულად დალაგდეს წამწეს სიბრტყის მიმართ. ამ პირობების დაცვით წამწეში ძალლონეების განრიგება სავსებით შეესაბამება თეორიულ სქემას.

გაკიმული ღეროები. გაკიმულ ღეროებში კინეა განიზღვრება ძალლონის გაყოფით ღეროს netto კვეთზე, ან, პირიქით, F_{netto} კვეთი მიიღება ძალლონის გაყოფით დასაშვებ კინეაზე:

$$F_{netto} = \frac{P}{R_r}.$$

¹⁾ რადგან P ძალები წამწეს ქვედა სარტყელზეა მოდებული, ამიტომ ნუმერაციის თანრიგი და ძალთა მრავალკუთხედის აგება მიმდევრობით საათის ისრის მოწინააღმდეგე მიმართულულებით სწარმოებს.



ნახ. 43.

მაგალითი. გაგლინულ ფოლად 3-დან დამზადებულ წამწეს ლეროსათვის შეეარჩიოთ განივი კვეთი, თუ იგი განიკდის 25 ton ძალღონეს კმედებას. წამწეს საპოკლონო შეერთებით აიგება.

ამოხსნა. გაგლინულ ფოლად 3-ის გაკიშვაზე დასაშვები კინვა ერთიანი ნორმების მიხედვით არის:

$$R_s = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2};$$

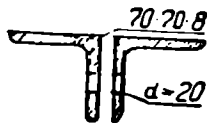
$$F_{\text{netto}} = \frac{25000}{1400} = 17,85 \text{ cm}^2.$$

შევარჩევთ ორ კუთხოვანასაგან შემდგარ სიმეტრიულ კვეთს. ნორმალური სორტამენტების ტაბულების მიხედვით ისეთ კუთხოვანას ვეძებთ, რომლის ფართობი დაახლოებით იქნება:

$$F = \left(\frac{17,85}{2} \right) \cdot 1,20 = 10,5 \text{ cm}^2 \text{ (20\% მოქლონით გამოწვეულ დასუსტებაზე მიდის).}$$

არატოლფერდა კუთხოვანები იმიტომაა გამოსადეგი, რომ მათ უფრო მაღალი თარო აქვთ, სადაც სახერხულია მოქლონების განრიგება, მაგრამ რადგან არატოლფერდა კუთხოვანთა სორტამენტში ზომებით შესაფერისი უახლოესი კვეთი არ მოიპოვება, ამიტომ ორ ასეთ ტოლფერდა კუთხოვანას ავიღებთ (ნახ. 44):

$$2 L 70 \times 70 \times 8.$$



ამ კუთხოვანებისათვის:

$$F_{\text{netto}} = (10,64 - 0,8 \cdot 2) \cdot 2 = 18,08 \text{ cm}^2,$$

ნახ. 44.

რაიცი ძლიერ უახლოვდება მოთხოვნილ მნიშვნელობას. ამ შემთხვევისათვის მოქლონთა დიამეტრია:

$$d = 20 \text{ mm.}$$

შეკუმშული ღეროები. შეკუმშულ ღეროებში აუცილებელია კინვის ორმაგი შემოწმება: 1) სიმტკიცეზე ანგარიშის დროს ძალღონეს გაყოფით ღეროს კვეთის netto ფართობზე და 2) მდგრადობაზე ანგარიშის დროს მოყვანილი ძალღონის [ძირითადი ძალღონის, რომელიც მრავლდება გრძივი ღუნვის კოეფიციენტზე (იხ. ერთიანი ნორმები)] გაყოფით brutto ფართობზე.

მაშ აქ ღეროს $e = \frac{l}{l}$ მოქნილობის გამოსაცნობათ. ძალღონეს გარდაკიდევ ღეროს l სიგრძე უნდა იყოს ცნობილი.

მიგალითი. 3 mt სიგრძის მქონე შეკუმშულ ღეროსათვის წინა მაგალითის დანარჩენი პირობის დართვით შევარჩიოთ განივი კვეთის ფართობი.

ამოხსნა. 1) სიმტკიცეზე შემოწმებით მივიღებთ:

$$F_{\text{netto}} = \frac{P}{R_d} = \frac{25000}{1400} = 17,85 \text{ cm}^2.$$

2) ძდგოადობაზე შემოწმება. კუთხოვანებს შორის მანძილი 10 mm-ის ტოლად მივიღებთ, რომ შესაძლებელი იყოს წამწეს კვანძების აგება „ჩანაკრების“ საშუალებით, ე. ი. პროფილის რკინის შუალედებში ჩაფენილი ფურცლოვანი რკინის ნაკრებით (ეს რკინა მიმოქლონდება პროფილის რკინაზე). უწინდულად კუთხოვანებს ვგულისხმობთ

$$2 \perp 70 \times 70 \times 8,$$

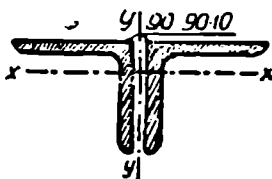
მაშინ გვექნება:

$$F_{brutto} = 2 \cdot 10,64 = 21,28 \text{ cm}^2;$$

$$J = 2 \cdot 47,6 = 95,2 \text{ cm}^4;$$

$$i^2 = \frac{J}{F_{brutto}} = 4,46; \quad i = 2,11;$$

მოქნილობა:



ნახ. 45.

$$e = \frac{l}{i} = \frac{300}{2,11} = 142;$$

ერთიანი ნორმების მიხედვით

$$k = 2,67;$$

საანგარიშო კინვა იქნება:

$$\sigma = \frac{25000 \cdot 2,67}{21,28} = 3120 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2},$$

რაც მნიშვნელოვნად აღემატება დასაშვებ კინვას.

ამიტომ ავიღებთ ორ $2 \perp 90 \times 90 \times 10$ კუთხოვანსაგან (ნახ. 45) შემდგარ კვეთს, რომელთათვისაც:

$$F = 34,26; \quad J = 254; \quad I^2 = 7,43; \quad i = 2,72;$$

მოქნილობა:

$$e = \frac{l}{i} = \frac{300}{2,72} = 110;$$

სათანადოთ, ერთიანი ნორმების მიხედვით:

$$k = 1,96;$$

კინვა:

$$\sigma = \frac{25000 \cdot 1,96}{34,26} = 1430 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2},$$

რაც დასაშვებია, რადგან იგი დასაშვებ კინვას 2% აღიღებს.

ღუნვაზე და ღერძის გასწვრივ კიმად ძალღონეზე ღეროს მუშაობის დროს კინეზა განიზღვრება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{M}{W_{netto}} + \frac{P}{F_{netto}},$$

სადაც M და P — სათანადო მღუნავ მომენტსა და ღერძის გასწვრივ მკმედ ძალღონეს წარმოადგენენ.

კონსტრუქციის ნაწილების ღუნვაზე და ღერძის გასწვრივ კუმშვაზე მუშაობის დროს სიმტკიცე ასეთი ფორმულით შემოწმდება:

$$\sigma = \frac{M}{W_{netto}} + \frac{P}{F_{netto}},$$

და ერთდროულად მდგომარეობაზე შემოწმება სწარმოებს ფორმულით:

$$\sigma = \frac{M}{W_{brutto}} + \frac{P \cdot k}{F_{brutto}}.$$

ორ კუთხოვანასაგან შემდგარი კვეთი ხშირად გამოიყენება ნივინიანი წამწეების აგების დროს. კუთხოვანები $8 \div 10$ mm მანძილზე განრიგდება ისე, რომ მათ შორის ადვილად ჩაიფინოს რკინის ფურცელი. ჩვეულებრივად არატოლფერდა კუთხოვანები გამოიყენება მაღალ თაროზე მოქლონების უკეთ განრიგების მიზნით.

კუთხოვანების სიხისტის და პარალელურობის დასაცავად კვანძებს შორის არტახებში ერთმანეთისაგან 20 cm მანძილზე დგამენ რკინის საყელურებს და კუთხოვანებს მოქლონებით აერთებენ. ეს მეტად საგულისხმიერია შეკუმშულ ღეროებისათვის.



ნახ. 46.

ნახ. 47.

როცა ორი კუთხოვანა არ არის საკმარისი, მაშინ კვეთს ნახ. 46-ზე წარმოდგენილი ერთ-ერთი ხერხით აძლიერებენ.

ირიბებს და სადგმელებს, როგორც შეკუმშულ, ისე გაკიმულ მდგომარეობაში ჩვეულებრივად ნახ. 47-ზე წარმოდგენილ ერთ-ერთ პროფილის სახეს აძლევენ.

ნახ. 47, c-ზე წარმოდგენილი განრიგება იმით არის სახერხული, რომ გვეხმარება წამწეების რკინის ჩანადგმებთან იმ ბმების ადვილად მიმაგრების საქმეში, რომელნიც ამ კონსტრუქციის შემთხვევაში ორ თანა-პერპენდიკულიარულ მიმართულებას მიჰყვებიან.

ჯვარედინა კვეთი მეტად გამოსაყენებელია საამშენებლო წამწეების შეკუმშულ ირიბებსა და სადგმელებისათვის.

კითხვები და ამოცანები თვითმომოწევაზისათვის.

1. სად უნდა მოთავსდეს განივი განზიჯგები, რომელნიც დატვირთვას გადასცემენ წამწეს, რომ სარტყლის ლეროებმა არ განიცადონ განივი ღუნვა?
2. წამწებებში რას ემსახურება მეორე და მესამე რიგის რიკულოვანი ცხრილი. რისთვის არის შემოღებული წამწეთა რთული ელემენტები?
3. რამდენი უცნობი შეიძლება შეგვხვდეს განსახილველ კვანძში, რომ კრემონას დიაგრამის აგებისას თავიდან ავიცილოთ სხვა წესებით დამატებითი აგებანი?
4. თავდაპირველად რას უნდა მივმართოთ კრემონას დიაგრამის საშუალებით გამტანისი წამწებების ლეროთა ძალღონეების ამოხსნის დროს?
5. რითი ვადასტურებთ კრემონას დიაგრამის აგების სამართლიანობას?
6. რა უპირატესობა აქვს კრემონას წესს კულმანის და რიტერის წესებთან?
7. თანდართული ხუთი სქემიდან (ნახ. 48 იხ. გვ. 59) ერთ-ერთში გამოითვალეთ ყველა ლეროების ძალღონეები და შეარჩიეთ განივი კვეთები. ამ ამოცანაში 45 სხვადასხვა პირობაა მოცემული იმისათვის, რომ მასწავლებელმა თითოეულ მოსწავლეს დაურიგოს ინდივიდუალური მოცემულობა.

I სქემისათვის.

მასალა: ფოლადი 5; $a = h$.

| ამოცანების № № | არტახის სიგანე a mt | დატვირთვა P ton | დატვირთვა P_1 ton |
|----------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 2,0 | 6,0 | --- |
| 2 | 2,5 | 5,0 | --- |
| 3 | 3,0 | 4,0 | --- |
| 4 | 2,0 | --- | 8,0 |
| 5 | 2,5 | --- | 7,5 |
| 6 | 3,0 | --- | 6,0 |
| 7 | 2,0 | 4 | 2 |
| 8 | 2,5 | 3,5 | 2,5 |
| 9 | 3,0 | 3 | 3 |

II სქემისათვის.

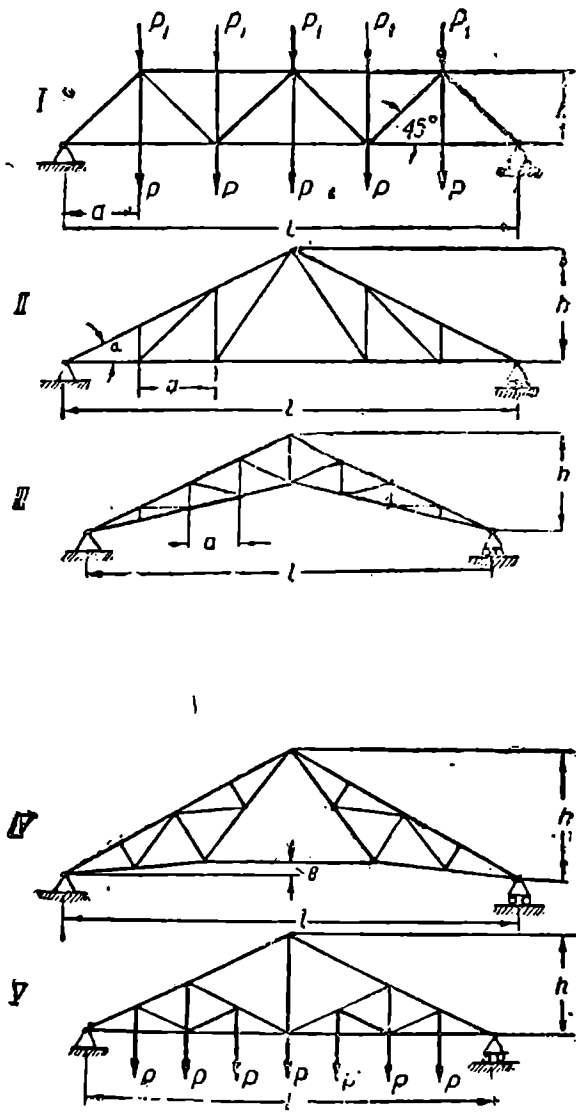
გეგმილის 1 mt^2 საკუთარი წონა: p .

მასალა: ფოლადი 3.

ქარის წნევა: P ქარის $= k (P^0 \text{ ქარის} + k_1 h)$.

თოვლის წნევა: P თოვლის $= P^0$ თოვლის $(1 + 0,002 h) \cdot (45 - a)$.

არტახის სიგრძე: $a = l : 6$.



53b. 48.

| ამოცანებ. №№ | მალი l mt | სიმაღლე h mt | წამწეებს შორის მანძილი b mt | საკუთარი წონა $p \text{ kg/mt}^2$ | ქ ა ლ ა ქ ი |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------------------------|---|--|
| 1 | 12,0 | $\frac{1}{4} l$ | 4,00 | 120 | არხანგელსკი ბაქო ვლადივოსტოკი |
| 2 | 15,0 | | 4,25 | 100 | |
| 3 | 18,0 | | 4,50 | 80 | |
| 4 | 21,0 | $\frac{1}{3} l$ | 4,75 | 50 | ვლადიკავკაზი ირკუტსკი ლენინგრადი |
| 5 | 19,5 | | 5,00 | 45 | |
| 6 | 16,5 | | 4,75 | 40 | |
| 7 | 14,4 | $\frac{1}{4} l$ | 4,50 | 60 | მოსკოვი როსტოვი ტფილისი |
| 8 | 16,8 | | 4,25 | 75 | |
| 9 | 19,2 | | 4,00 | 90 | |

III სქემისათვის.

სახურავის 1 mt^2 საკუთარი წონა $p \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

მასალა: ფოლადი 3.

ქარის წნევა: ერთიანი ნორმების მიხედვით.

თოვლის წნევა: ერთიანი ნორმების მიხედვით.

წამწეებს შორის მანძილი b .

არტახის სიგრძე $a = l : 8$.

| №№ რიგზე | მალი l mt | სიმაღლე h mt | წამწეებს შორის მანძილი b mt | საკუთარი წონა $p \text{ kg/mt}^2$ | ქ ა ლ ა ქ ი |
|-------------|--------------|-----------------|--------------------------------|---|--|
| 1 | 12,0 | $\frac{1}{4} l$ | 4,00 | 120 | არხანგელსკი ბაქო ვლადივოსტოკი |
| 2 | 14,0 | | 4,25 | 100 | |
| 3 | 16,0 | | 4,50 | 80 | |
| 4 | 18,0 | $\frac{1}{3} l$ | 4,75 | 60 | ირკუტსკი ლენინგრადი მოსკოვი |
| 5 | 20,0 | | 5,00 | 40 | |
| 6 | 18,0 | | 4,75 | 60 | |
| 7 | 16,0 | $\frac{1}{4} l$ | 4,50 | 80 | როსტოვი ტფილისი ხარკოვი მურმანსკი |
| 8 | 14,0 | | 4,25 | 100 | |
| 9 | 12,0 | | 4,00 | 120 | |
| 10 | 12,0 | $\frac{1}{4} l$ | 4,00 | 120 | |

IV სქემისათვის.

სახურავის 1 mt^2 წონა $p \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

მასალა: ფოლადი 3.

ქარის და თოვლის წნევა: ერთიანი ნორმების მიხედვით.

წამწეებს შორის მანძილი: b .

ამაღლება (ქანობი): $e = h : 10$.

| №№ რიგზე | მალი l mt | სიმაღლე h mt | მანძილი b mt | საკუთარი წონა p kg/m ² | ქ ა ლ ა ქ ი |
|----------|--------------|-----------------|-----------------|---|--|
| 1 | 24,0 | $\frac{l}{4}$ | 5,00 | 40 | არხანგელსკი ბაქო ელადიფოსტოვი ლენინგრადი მოსკოვი ნიენი-ნოვგოროდი როსტოვი ტფილისი ხარკოვი |
| 2 | 22,0 | | 4,75 | 60 | |
| 3 | 20,0 | | 4,50 | 80 | |
| 4 | 18,0 | $\frac{l}{8}$ | 4,25 | 100 | |
| 5 | 16,0 | | 4,00 | 120 | |
| 6 | 18,0 | | 4,25 | 100 | |
| 7 | 24,0 | $\frac{l}{3,5}$ | 4,50 | 80 | |
| 8 | 22,0 | | 4,75 | 60 | |
| 9 | 24,0 | | 5,00 | 40 | |

Y სქემისათვის.

მასალა: ფოლადი 3.

ქარის და თოვლის წნევა: ერთიანი ნორმების მიხედვით.

გადაფარების 1 mt² საკუთარი წონა $p \frac{kg}{cm^2}$.

კვანძური დატვირთვა: P.

მანძილი წამწეებს შორის: b.

არტახის სიდიდე: a = l : 8.

წამწეს სიმაღლე: h = l : 4.

| №№ რიგზე | მალი l mt | მანძილი b mt | დატვირთვა P ton | საკუთარი წონა p kg/m ² | ქ ა ლ ა ქ ი | |
|----------|--------------|-----------------|--------------------|---|--|----|
| 1 | 16,00 | } 4,00 | 3,0 | 40 | ბაქო ვიატკა კიევი მინსკი ომსკი ფოთი ტომსკი უფა იალტა | |
| 2 | 16,60 | | 4,25 | 2,5 | | 60 |
| 3 | 17,60 | | 4,50 | 3,0 | | 80 |
| 4 | 18,00 | 4,75 | 3,5 | 100 | | |
| 5 | 18,40 | 5,00 | 4,0 | 120 | | |
| 6 | 19,20 | 4,75 | 3,5 | 100 | | |
| 7 | 20,00 | 4,50 | 3,0 | 80 | | |
| 8 | 20,80 | 4,25 | 2,5 | 60 | | |
| 9 | 22,00 | 4,00 | 2,0 | 40 | | |

თავი მესამე.

გავლენის ხაზები.

§ 22. ცნება გავლენის ხაზზე.

ნაშენის ანგარიშის დროს ხშირად საქმე გვაქვს მოძრავ ტვირთთან. მაგალითად, ხიდის კონსტრუქციები განიციდიან ხიდის მალზე მოძრავი საბარგულეების, ავტომობილების, მატარებლების ქმედებას. იმისდამიხედვით, თუ მალის რომელ ადგილში იქნება მოძრავი დატვირთვა, კონსტრუქციის ცალკე ელემენტთა მუშაობის პირობები მეტად სასარგებლო ან ნაკლებად სასარგებლო მდგომარეობაში იქნებიან. ანგარიშის დროს საჭიროა დატვირთვის ისეთი განრიგების შერჩევა, რომელიც ყველაზედ არახელსაყრელ ზირობებში აყენებს ნაშენის გამოსაანგარიშებელ ელემენტს.

ტვირთის ყველაზედ არახელსაყრელ მდებარეობის განსაზღვრის დროს ჩვენ ვისარგებლებით ძალთა ქმედების შეკრების პრინციპით, რომლის მიხედვითაც ძალთა სისტემის ქმედებით გამოწვეული ძალღონე უდრის თითოეული ძალის ცალ-ცალკე ქმედებით გამოწვეულ ძალღონეთა ჯამს. ამდროს ჩვენთვის საკმარისია მხოლოდ „ერთეულის“ ტოლი ტვირთით ნაშენზე მქმედი დატვირთვის განხილვა.

პროპორციულობის ზღვრებში დეფორმაციების განხილვით, ჩვენ ვიპოვით P ძალის ქმედებით გამოწვეულ ძალღონეს, თუ „ერთეული“ ტვირთით გამოწვეულ ძალღონეს გავადიდებთ P-ჯერ.

სხვადასხვა მდებარეობაში „i“ ტვირთის გრაფიკულად გამოხატულ გავლენას ნაშენის განსახილველი ელემენტის ძალღონეზე, გავლენის ხაზი ეწოდება. გავლენის ხაზის მისაღებათ ჩვენ ნაშენზე ვამოძრავებთ ტვირთს და ტვირთის სხვადასხვა მდებარეობის სათანადო ძალღონეებს, ტვირთის მდებარეობის ქვეშ მასშტაბით გადავზომავთ. ასეთნაირად აგებული ორდინატების ბოლოების შეერთებით ვიპოვით გავლენის ხაზს საძიებელ ძალღონესათვის.

ჩვენ ამოცანაში შედის: საყრდნობთა რეაქციების, გადაწყველი ძალების და მღუნავი მომენტების გავლენის ხაზების აგება.

§ 23. საყრდნობთა რეაქციების გავლენის ხაზი.

ეთქვათ, მოცემულია ორ საყრდნობზე მდებარე და AB კოკის ღერძის ვასწორივ ადგილმონაცვლე შთაწერტული ტვირთის ზეგავლენის ქვეშ მყოფი კოკი (ნახ. 49).

ავაგოთ გავლენის ხაზი მარცხენა საყრდნობის A რეაქციისათვის.

ვთქვათ, ერთეულის ტოლი ტვირთი მოძრაობს მარჯვნიდან მარცხნივ. იმ მომენტში, როცა ტვირთი B საყრდნობზეა მოთავსებული რეაქცია $A=0$, რადგან ტვირთის ზეგავლენა მთლიანად გადაეცემა B საყრდნობს, და ტვირთი არაერთარ გავლენას არ ახდენს A საყრდნობზე. როცა ტვირთი მიადწევს A საყრდნობს, მისი ქმედება მთლიანად გადაეცემა A საყრდნობს და რეაქცია $A=1$.

სანამ ტვირთი ძვეს მალზე, A საყრდნობიდან x მანძილის დაშორებით, რეაქცია:

$$A = \frac{l-x}{l},$$

ე. ი. A რეაქციის სიდიდე სწორი ხაზის კანონით იცვლება. ამიტომ გავლენის ხაზი სწორხაზით გამოისახება, რომელიც აერთებს B' წერტილის (ნულოვან) ორდინატას და A' წერტილის (ერთის. ტოლი) ორდინატას.

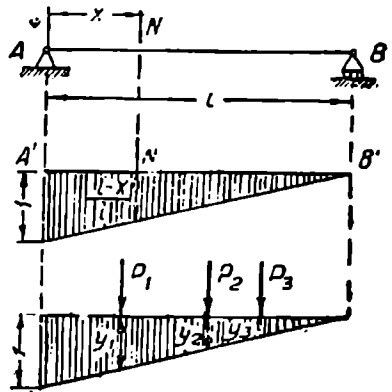
როცა განსახილველი ტვირთი „1“ კი არ არის, არამედ P -ს ტოლია, მაშინ საყრდნობის რეაქცია P -ჯერ მეტი იქნება.

როცა მალზე ერთი ტვირთის ნაცვლად P_1, P_2 და P_3 ტვირთები იმოქმედებენ, მაშინ საყრდნობის A რეაქცია ამ ძალების სათანადო ორდინატებზე ნამრავლთა ჯამის სახით წარმოიდგინება, ე. ი.

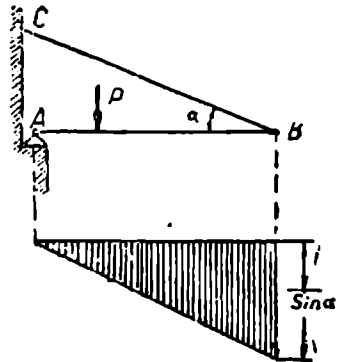
$$A = P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 \dots = \sum P \cdot y.$$

მაგალითი 1. ავაგოთ გავლენის ხაზი იმ ძალდონესათვის, რომელიც წარმოიშვება BC წვევაში ტვირთის გადაადგილებით AB კოქზე (ნახ. 50).

ამოხსნა. BC წვევას ძალდონე უდრის B წერტილში წარმოშობილი წნევის BC მიმართულებაზე დაშლილ მდგენელს. ეს მდგენელი რომ მივიღოთ, ამისათვის B წერტილზე „1“ ტვირთის ქმედებით წარმოშობილი ძალდონე უნდა გავყოთ $\sin \alpha$ -ზე. ეს ძალდონე იცვლება ნულიდან (A წერტილში ტვირთის მდებარეობიდან) ერთამდე (B წერტილში ტვირთის მდებარეობამდე). ამნაირად, საძიებელი გავლენის ხაზი წარმოადგენს $\frac{1}{\sin \alpha}$ -ჯერ გადილებულ ორდინატებიან B რეაქციის გავლენის ხაზს.

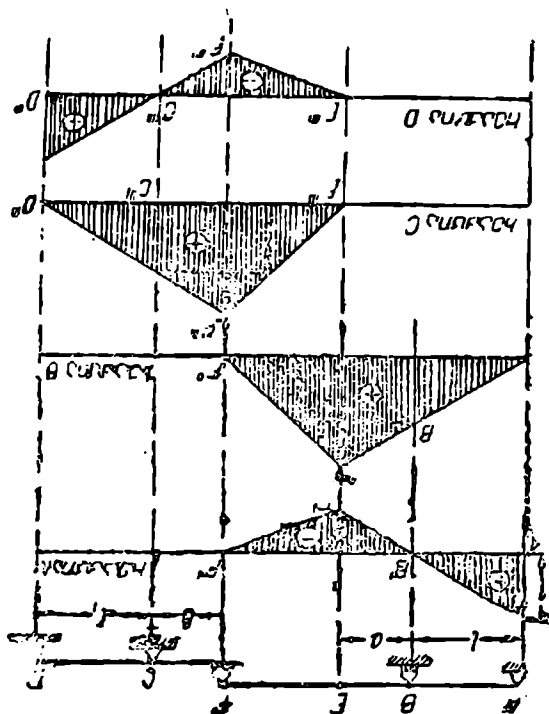


ნახ. 49.



ნახ. 50.

მაგალითი 2. ავგოთ გავლენის ხაზი E და F დაკიდებული საყრდნობებიანი კოქის A, B, C და D საყრდნობთა რეაქციებისათვის (ნახ. 51).



ნახ. 51.

ამოხსნა. A საყრდნობისათვის.

როცა ტვირთი მოთავსებულია A საყრდნობზე, მას ეთანადება ორდინატა „1“. B წერტილში ორდინატა ნულია. როცა ტვირთი მოთავსებულია B და E წერტილებს შორის, მაშინ იგი A საყრდნობში შებრუნებულ რეაქციას აღძრავს (უარყოფითს), რომელიც იზრდება ტვირთის E წერტილთან მიახლოების დროს, სადაც იგი თავის უდიდეს $\left(-\frac{a}{l}\right)$ მნიშვნელობას აღწევს. EF უბანზე გადასვლის დროს ვამჩნევთ, რომ „ერთეული“ ტვირთის E სახსარზე ქმედება ბერკეტის კანონით (სწორხაზის კანონით) მცირდება და, როცა ტვირთი მიაღწევს F წერტილს, იგი მთლიანად გადააქვება F საყრდნობს და E წერტილში წნევა $E=0$. მაშასადამე, ტვირთის EF უბანზე მდებარეობის დროს A საყრდნობზე გავლენა იკვლება $\left(-\frac{a}{l}\right)$ -დან ნულამდე (F წერტილ-

ში). როცა ტვირთი ძეგს FCD უბანზე იგი უკვე არაერთაზრ გაველენას არ ახდენს A რეაქციაზე.

B საყრდნობისათვის. ტვირთს გადავადგილებთ AB მიმართულე-ბით. როცა ტვირთი მოთავსებულია A საყრდნობზე, მაშინ მისი გავლენა საყრ-დნობზე $B = 0$. ტვირთი B წერტილში მთლიანად გადაეცემა მას და $B = 1$. როცა ტვირთი მოთავსებულია BE უბანზე, მისი B საყრდნობზე გავლენა ბერ-კეტის კანონით იზრდება. როცა ტვირთი მოთავსებულია E წერტილში იგი B საყრდნობზე ახდენს წნევას ძალით;

$$E'' = \frac{l+a}{l} = 1 + \frac{a}{l}.$$

E წერტილის იქეთ B საყრდნობზე წნევა მცირდება, რადგან E წერტილ-ში უკვე მთელი „1“ ტვირთი კი არ გადაეცემა, არამედ მისი ნაწილი (ბერკე-ტის კანონით). როცა ტვირთი მოთავსდება F წერტილში იგი მთლიანად გა-დაეცემა F საყრდნობს და B საყრდნობს არაერთაზრ გავლენას. არ გადასცემს ($F'' = 0$).

ანალოგიურია გავლენის ხაზების აგება C და D საყრდნობებისათვის.

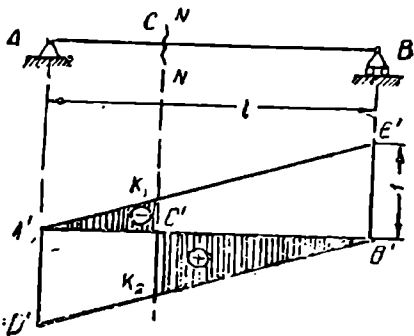
§ 24. გავლენის ხაზი გადაჯერალ ქალაქისათვის.

დაეკვირვებთ AB კოქზე მოძრავი „ერთეული“ ტვირთით NN კვეთში წარმოშობილი გამომკრელი ძალის გავლენის ხაზის აგებას (ნახ. 52).

მოვითავსოთ ტვირთი AC უბანზე (NN კვეთიდან მარცხნივ), შევნიშნავთ რომ გამომკრელი ძალა, ან კვეთის მარჯ-ვნივ ყველა ძალთა ჯამი B რეაქციის სიდიდის ტოლი იქნება. მაშასადამე, იგი ისეთსავე ცვლილებას განიცდის, რო-გორც B რეაქცია, რომელიც იცვლება $A'E'$ სწორი ხაზის კანონით.

ტვირთი მარჯვენა ნაწილში რომ მოვითავსოთ, ე. ი. CB უბანზე, მაშინ გამომკრელი ძალაღონე ტოლი იქნება B რეაქციის და „ერთეული“ ძალის სხვაო-ბისა. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ამ უბან-ზე გავლენის ხაზი გაჰყვება პირველი მიმართულების პარალელურ სწორხაზს და ამ მიმართულებიდან ერთეულ მანძი-ლის სიშორეზე, ე. ი. იგი გაჰყვება $B'D'$ სწორხაზს.

რადგან ძალა აღემატება A საყრდნობის რეაქციას, ამიტომ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ AC უბანზე ტვირთის გავლისას გამომკრელი ძალა უარყოფი-თია და იცვლება ნულიდან (ტვირთის A წერტილში მოთავსების დროს) რაიმე უარყოფით $C'K_1$ სიდიდემდე, რომელსაც ადვილათ ვიპოვიოთ სამკუთხედთა ($\triangle A'B'E'$ ო $\triangle A'C'K_1$) მზგავსებიდან. იმავე მიზეზის გამო, როცა ტვირთი ძეგს

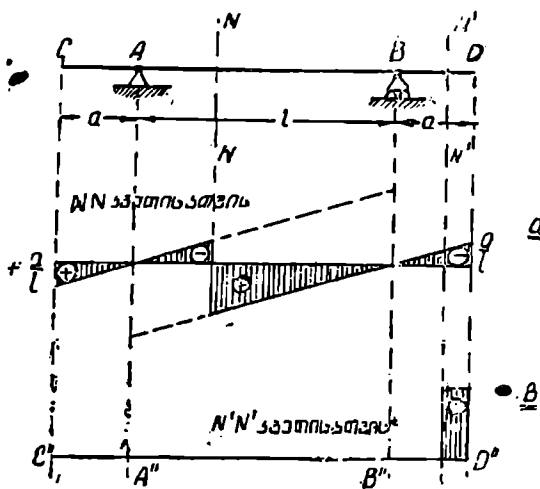


ნახ. 52.

BC უბანზე, გადაშვრელი ძალა NN კვეთში დადებითია და ტვირთის B საყრდნობთან მიახლოებისას რაიმე დადებით უდიდეს $C'K_2$ სიდიდედან იკლებს ნულამდე.

განმარტებულის თანახმად ნახ. 52-ზე $\Delta A'C'K_1$ ფართობი უარყოფითი ნიშნითაა აღნიშნული, $\Delta B'C'K_2$ ფართობი კი - დადებითი ნიშნით. აქედან დავასკვნით, რომ NN კვეთში უდიდესი დადებითი გადაშვრელი ძალის მისაღებათ კოქის მარჯვენა ნაწილი ისე უნდა დავტვირთოთ, რომ მეტად მძიზე ტვირთები რაც შეიძლება ახლო მოთავსდნენ NN კვეთთან. კვეთში უდიდესი უარყოფითი გადაშვრელი ძალის მისაღებად მაქსიმალურად უნდა დავტვირთოთ AC უბანი. მაგალითი. ავგათ გადაშვრელი ხაზი კონსოლიანი კოქის NN კვეთში წარმოშობილ გადაშვრელ ძალდონესათვის (ნახ. 53).

ამოხსნა. როცა „1“ ტვირთი მოთავსებულია CA კონსოლზე, მაშინ კვეთის მარჯვენ მდებარე ყველა ძალთა ჯამში შევა B რეაქციაც. მაშასადამე, „ერთეული“ ტვირთი NN კვეთში წარმოშობს B რეაქციის ტოლ გადაშვრელ ძალდონეს, რომელიც A-დან C-კენ კონსოლზე ტვირთის გადაადგილების დროს O-დან $+\frac{a}{l}$ -დე იცვლება.



ნახ. 53.

როცა ტვირთი მოთავსებულია AB მალზე, მაშინ იგი NN კვეთში ისეთ გადაშვრელ ძალდონეს აღძრავს, რომლის სიდიდე ისეთნაირ ცვლილებას განიცდის, როგორც ორ საყრდნობზე მდებარე კოქის შემთხვევაში. ამნაირად, ამ უბანზე გავლენის ხაზი ორ საყრდნობზე მდებარე კოქის გავლენის ხაზის თანაგვარია.

როცა, დაბოლოს, ტვირთი მოთავსებულია BD კონსოლზე, იგი NN კვეთ-ში A რეაქციის ტოლ გადამკრელ ძალღონეს წარმოშობს, რომელიც BD კონსოლის D ბოლოზე ტვირთის გადაადგილების დროს $\frac{a}{l}$ მნიშვნელობას მიიღებს.

ამნაირად, NN კვეთში წარმოშობილი გადამკრელი ძალის გავლენის ხაზი ნახ. 53-ზე წარმოდგენილ სახეს მიიღებს.

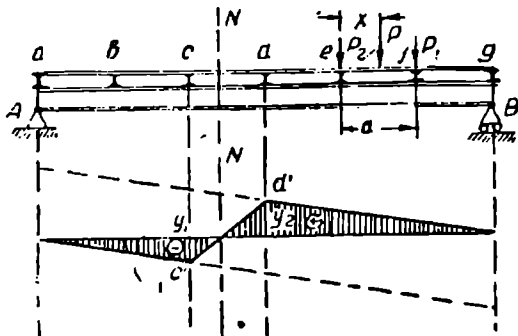
კონსოლზე გატარებული $N'N'$ კვეთისათვის რომ ავიღოთ გადამკრელი ძალღონე, მისთვის კვეთის მარჯვნივ განრიგებულ ძალთა გავლენის ხაზი მუდმივი „ერთეულის“ ტოლი ორდინატიანი სწორხაზით გამოისახება, $N'N'$ კვეთის მარცხნივ განრიგებული ძალები კი კვეთში არაერთარ გადამკრელ ძალღონეს არ წარმოშობენ. $N'N'$ კვეთში (კონსოლზე) გადამკრელ ძალღონეთა გავლენის ხაზი ნახ. 53-ზეა წარმოდგენილი.

§ 25. მოძრავი დატვირთვის კვანძუა გადაცემა.

ძლიერ ხშირად მოძრავი დატვირთვა კონსტრუქციის განსახილველ ელემენტს უშუალოდ კი არ გადაეცემა, არამედ განივი და სივრცითი კოქების საშუალებით (ნახ. 54), ე. ი. მხოლოდ ამ კოქების განრიგების ადგილებში.

როცა ტვირთი განივი კოქზე გამავალ შეეუღლება მოთავსებული, მაშინ მისი მთავარ კოქზე მოქმედება არაერთარ არ განსხვავდება ძალღონეს უშუალო ქმედებისაგან.

როცა ტვირთი მოთავსებულია განივი კოქებს შორის (შუალედში), მაშინ მისი კოქებზე წნევა ბერკეტის წესით სწარმოებს, ე. ი. შუალედურ კვეთში მქმედო. P ძალა, ორი P_1 და P_2 ძალებით შეიცვლება, რის დროსაც:



ნახ. 54.

$$P = P_1 + P_2; P_1 = \frac{x}{d} P; P_2 = \frac{d-x}{d} P.$$

„ერთეულის“ ტოლი ქმედება რომ განვიზილოთ, მაშინ იგი ორი ასეთი ძალით შეიცვლება:

$$\frac{x}{d} \text{ და } \frac{d-x}{d}.$$

სანამ „ერთეული“ ტვირთი ისეთ არტახზეა მოთავსებული, რომლის ორთავე მოსახლერე განივი კოქები განსახილავი კვეთის ერთ მხარეზეა მოთავსე-

ბული, გავლენის ხაზის აგება არაფრით არ განსხვავდება იმ აგებისაგან, რომელსაც ვაწარმოებდით ტვირთის უშუალო გადაცემის დროს. როცა ტვირთი d კვანძზე მოთავსდება, მას შეესაბამება გავლენის ხაზის y_2 ორდინატა, როცა ტვირთი მოთავსდება c კვანძში, მაშინ სათანადო ორდინატა y_1 იქნება. c კვანძიდან x მანძილის სიშორეზე ტვირთის უშუალო მდებარეობის დროს გავლენის ხაზის y ორდინატა იმ პირობიდან მიიღება, რომ „ერთეული“ ტვირთით გამოწვეული ძალდონე შეიკრიბება ამ ტვირთის ორ მდგენელის (რომელნიც ორ მეზობელ განივ კოქებს გადაეცემიან) მიერ გამოწვეულ ძალდონეებისაგან. მაშასადამე, განსახილავ cd არტახზე ტვირთის ნებისმიერ განრიგების დროს y ორდინატა შემდეგი ტოლობიდან მიიღება:

$$1 : y = \frac{d-x}{x} \cdot y_1 + \frac{x}{d} \cdot y_2,$$

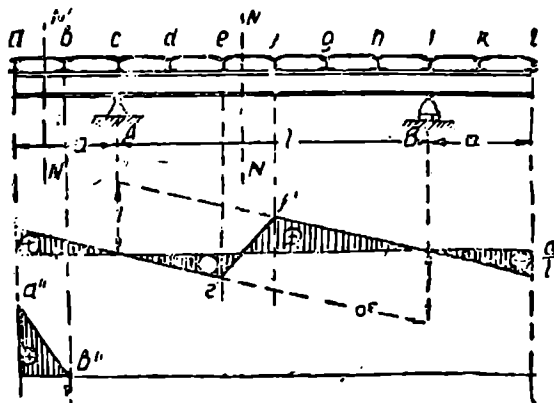
რაიც სწორი ხაზის განტოლებას წარმოადგენს, რომელშიც y_1 და y_2 წარმოადგენენ გავლენის ხაზის ორდინატებს ტვირთის c და d წერტილებში მდებარეობის დროს. ამნაირად, როცა

$$x = 0, \text{ მაშინ } y = y_1,$$

ხოლო, როცა

$$x = d, y = y_2.$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ca არტახის განუწილობაზე (სიგრძეზე) y ორდინატა სწორხაზობრივად იცვლება y_1 -დან y_2 -დღე, რომელნიც ჩვენ ისეთნაირადვე განვსაზღვრეთ, როგორც ტვირთის კოქზე უშუალო ქმედების დროს.



ნახ. 55.

ამ ამოხსნის შესაბამისად ნახ. 54-ზე წარმოდგენილია NN კვეთში მქმედო გადასრული ძალდონის გავლენის ხაზი, სადაც $c'd'$ სწორხაზი აერთებს ჩვეულებრივი წესით მოძებნილ c' და d' წერტილებს.

მაგალითი. კონსოლიანი კოქის NN და N'N' განივ კვეთებში წარმოშობილ გადაშვრულ ძაღონეებისათვის ავაგოთ გავლენის ხაზი (ნახ. 55).

ამოხსნა. აგება ისეთნაირადევა შესრულებული, როგორც ტვირთის-უშუალო გადაცემის შემთხვევაში მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ კვანძური გადაცემის მხედველობაში მიღების მიზნით NN კვეთის გავლენის ხაზის აგებისათვის სწორი ხაზითაა შეერთებული I' და E' წერტილები, ხოლო N'N' კვეთის გავლენის ხაზის ასაგებად სწორი ხაზით ერთდება a'' b'' წერტილები.

§ 26. გავლენის ხაზები მღუნავ მომენტებისათვის.

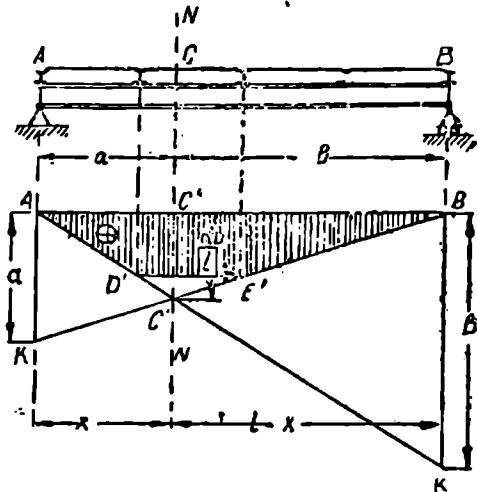
მოდგავი დატვირთვის ზეგავლენაში მყოფი კოქების ანგარიში უნდა ვაწარმოოთ იმ მაქსიმალურ მღუნავ მომენტზე, როელიც მიიღება ტვირთების არახელსაყრელ განრიგების დროს. ტვირთების არახელსაყრელ განრიგებას მოვახერხებთ, თუ მღუნავ მომენტთა გავლენის ხაზს ისეთ კოქის კვეთისათვის ავაგებთ, რომელიც თავისუფლად ძეხს ორ საყრდნობზე (ნახ. 56).

როცა ტვირთი NN კვეთის მარჯვნივაა მოთავსებული, მაშინ მღუნავი მომენტი A რეაქციის a მხარზე ნამრავლის ტოლია (რადგან კოქის მარცხენა ნაწილში A რეაქციის გარდა არავითარი ძალა არ არის მოდებული). ამნაირად, მღუნავი მომენტის გავლენის ხაზი A საყრდნობის რეაქციის a-ჯერ გადიდება: ორდინატებიანი გავლენის ხაზის თანაგვარი იქნება.

ავაგებთ B'K' ხაზს, რომლის B' წერტილში ორდინატა ნულის ტოლია, A' წერტილში კი ორდინატას სიდიდე a იქნება. ანალოგიურად ვირჯებით მარცხენა ნახევარში მოთავსებული ტვირთის მიმართ. A'C'B' ხაზი წარმოადგენს NN კვეთის მიმართ აღებული მღუნავი მომენტის გავლენის ხაზს. ამ გავლენის ხაზის ორდინატები დადებითი იქნება, რადგან ჩვენ მიერ მიღებული წესის მიხედვით მღუნავი მომენტები, რომელნიც კოქს შეზნეკილობით ზემოდ ლუნავენ, დადებითადაა ნაგულეები.

დავამტკიცოთ, რომ C' წერტილი ძეხს NN კვეთის გასწვრივ გატარებულ შვეულზე. ამისათვის $\Delta A'C'K'$ სამკუთხედის სიმაღლე x ასოთი აღვნიშნოთ, მაშინ $\Delta B'C'K$ სამკუთხედის სიმაღლე l-x იქნება. სამკუთხედების მზგავსებიდან (ტოლი კუთხეებით):

$$\Delta A'C'K' \sim \Delta B'C'K$$



ნახ. 56.

გვაქვს:

$$\frac{a}{x} = \frac{b}{l-x} = \frac{l-a}{l-x},$$

აქედან:

$$x = a$$

ამიტომ $A'C'B'$ გავლენის ხაზის აგების დროს $B'K = b$ შეგვიძლია არ გადავზომოთ, არამედ ამის ნაცვლად შეგვიძლია NN შეეულის $B'K$ ხაზთან გადაკვეთის C' წერტილი შეუერთოთ A' წერტილს.

$C'C''$ ორდინატა $\Delta A'B'K'$ და $\Delta B'C'C''$ სამკუთხედთა მზგავსებიდან შეგვიძლია მივიღოთ, საიდანაც:

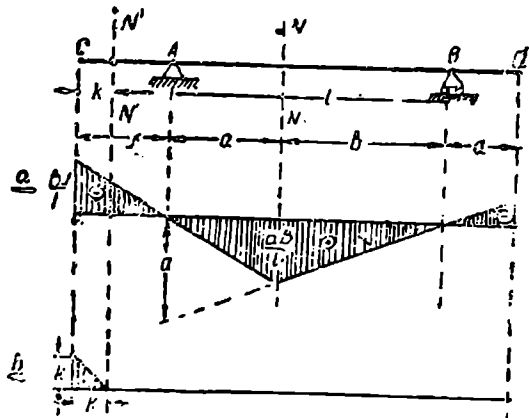
$$a : C'C'' = l : b$$

ახუ

$$C'C'' = \frac{ab}{l}.$$

დატვირთვის კვანძური (კვანძში) გადაკუმის დროს $A'C'B'$ ხაზის ნაცვლად $A'D'E'B'$ ხაზი მიიღება.

NN კვეთში უდიდესი მლუნავი მომენტის მისაღებათ კოქის მთელი მალი ისეთნაირად უნდა დავტვირთოთ, რომ რაც შეიძლება მძიმე ტვირთები შეძლების დავგარად ახლო მოთაეს-



ნახ. 57.

დღეს NN კვეთთან, სადაც გავლენის ხაზის ორდინატებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვთ.

მაგალითი. კონსოლიანი კოქის (ნახ. 57) NN და $N'N'$ კვეთებში მქმედ მლუნავ მომენტებისათვის ავაგოთ გავლენის ხაზი.

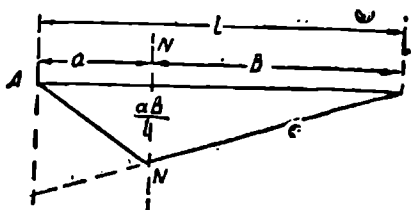
ამოხსნა. კონსოლის ბოლოზე D წერტილში მოთავსებული „ერთეული“ ტვირთი, NN კვეთში წარმოშობს მლუნავ მომენტს:

$$A'a = -\frac{d}{l} a.$$

ტვირთი B წერტილში რომ გადაადგილდეს, მაშინ A რეაქცია ნულად იქცევა, მაშ NN კვეთში წარმოშობილი მლუნავი მომენტებიც ნულის ტოლი იქნება. B და A წერტილებს შორის არსებულ შუალედში გავლენის ხაზი ისეთივე იქნება, როგორც უკონსოლო კოქის შემთხვევაში (მაქსიმალური ორდინატით $\frac{ab}{l}$). AC უბანზე „ერთეული“ ძალა გამოიწვევს B ხ მლუნავ მომენტს,

რომელიც ნულიდან (ტვირთის A წერტილში მოთავსებისას) $-\frac{b}{l}$ -დ (ტვირთის C წერტილში მდებარეობის დროს) იცვლება.

კონსოლის N'N' კვეთის მარჯვნივ მქმედი ძალა კვეთში მლუნაე მომენტს არ გამოიწვევს. კვეთის მარცხნივ მოთავსებული ძალა N'N' კვეთში გამოიწვევს მლუნაე მომენტს, რომელიც ტვირთის C წერტილზე გავლისას k-ს ტოლ გავლენის ხაზის ორდინატას მოგვცემს. N'N' კვეთში მოდებული ძალა ნულის ტოლ მომენტს მოგვცემს. მაშასადამე, გავლენის ხაზი ნახ. 57, b-ზე წარმოდგენილ სახეს მიიღებს.



ნახ. 58.

მაგალითი 2. მლუნაე მომენტის გავლენის ხაზის გამოყენებით, სიგრძის ერთ-უღზე q კილოგრამი მთლიანი ტვირთის განრიგების შემთხვევაში NN კვეთში განვსაზღვროთ მლუნაე მომენტის სიდიდე (ნახ. 58).

ამოხსნა. ავიღოთ კოქის Δx სიგრძის მქონე ელემენტი: ამ ელემენტის გავლენა იქნება

$$q \Delta x \cdot y$$

($q \Delta x$ —ძალა, y —ორდინატა) მთელი ძალის დატვირთვის დროს მლუნაე მომენტია იქნება:

$$M = \sum q \Delta x \cdot y = q \sum \Delta x \cdot y = q F = q \frac{1}{2} \cdot \frac{ab}{l} l = \frac{qab}{2}$$

ან, საბოლოოთ:

$$M = \frac{qab}{2}$$

მხოლოდ მალის დატვირთვის დროს აჯამვის ზღვრებისათვის დატვირთვის შესაბამისი ახალი მნიშვნელობები უნდა ავიღოთ.

§ 27. უდიდესი მლუნაევი მომენტი მოძრავი დატვირთვის ძვეშ.

უდიდესი მლუნაევი მომენტის მოსაძებნად მოძრავ ტვირთთა სისტემა ისეთნაირად უნდა განვიჩიოთ, რომ იგი იმ უბანზე მოთავსდეს, სადაც გავლენის ხაზის უდიდესი ორდინატებია გავლებული. გარდა ამისა, საშიში კვეთის განზღვრის დროს ჩვენ დავრწმუნდით, რომ იგი მუდამ ერთ-ერთი ტვირთის ქვეშაა მოთავსებული, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ განსახილავი კვეთის ზემოდ ერთ-ერთი ტვირთთაგანი უნდა იყოს მოთავსებული.

ამას შემდეგ განსაზღვრავენ $\Sigma P \cdot y$, დატვირთვის ერთი ტვირთით მარჯვნივ და აგრეთვე მარცხნივ გადაადგილებენ და ახალ

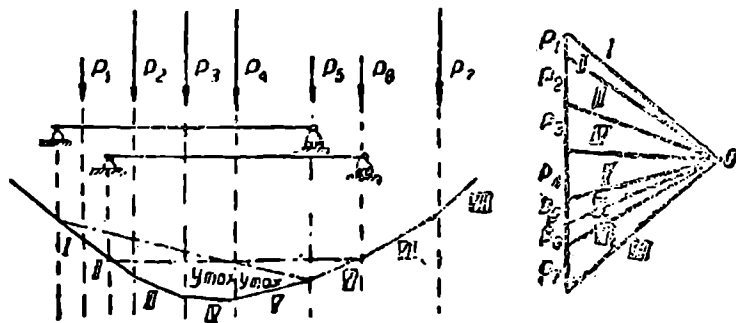
$$\Sigma_1 P \cdot y \text{ და } \Sigma_2 P \cdot y$$

იპოვიან. ახალი ჯამები მცირენი თუ აღმოჩნდებიან, მაშინ $\Sigma P \cdot y$ საძიებელი ამოხსნა იქნება. თუ კი $\Sigma_1 P \cdot y$ ან $\Sigma_2 P \cdot y$ იქნებიან $\Sigma P \cdot y$ ჯამზე მეტი, მაშინ იმავე მიმართულებით კიდევ ერთ გადაადგილებას შეეასრულებთ, სანამ ახალი ჯამი წინაზე მცირე არ გახდება.

ცელილი პროფილიანი კოკი რომ შევარჩიოთ, მაშინ კოკის სიგრძეზე რამდენიმე კვეთი უნდა დავსაზოთ, მათთვის განვსაზღვროთ უდიდესი მომენტები, რის თანახმადაც თითოეულ დასახულ უბანზე უნდა შევარჩიოთ პროფილი.

პირველ თავიდან ჩვენ ვიცით, რომ მღუნავი მომენტი გრაფიკულად უდრის ძალთა გეგმაში საპოლუსო მანძილის ნამრავლს ჩაკეტილი თოკის მრავალკუთხედის ორდინატზე, რომელიც იმ კვეთს ეთანადება, სადაც ჩვენ მღუნავ მომენტს განვსაზღვრავთ. გრაფიკულად უდიდესი მღუნავი მომენტის მოსაძებნად აუცილებლად უნდა განვარჩიოთ ტვირთები გარკვეულ მდებარეობაში და გავზომოთ ტვირთთა ამ მდებარეობისათვის აგებული თოკის მრავალკუთხედის უდიდესი ორდინატა; ამის შემდეგ ტვირთები მიმყოლ მდებარეობაში უნდა გადავადგილოთ, რომელსაც უკვე მეორე ჩაკეტილი თოკის მრავალკუთხედი ესაბამება, და ხელახლად უნდა გავზომოთ უდიდესი ორდინატა, და ა. შ., და ბოლოს ყველა ორდინატებიდან უდიდესი უნდა შევარჩიოთ.

მაგრამ ასეთი წესით მსვლელობა მრავალი თოკის მრავალკუთხედების აგებისათვის დიდ დროს მოითხოვს, აპიტომ პირიქით იქცევან: ტვირთებს კი არ გადაადგილებენ ტვირთთა სისტემაზე (ნახ. 59). იმაზე მეტი ტვირთის აღე-



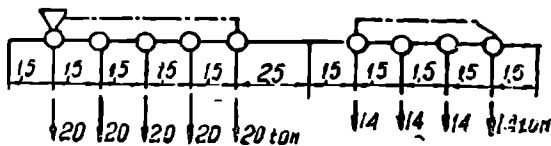
ნახ. 59

ბით რისი თავისუფლად დატევაც შეიძლება მრცემულ კოკზე. ავაგებთ ჯერ ერთი თოკის მრავალკუთხედს, შემდეგ გავატარებთ მთელ რიგ ჩაკეტებს კოკის მიმდევარ მდებარეობებისათვის, და, კოკის თითოეულ მდებარეობისათვის განვსაზღვრავთ y_{max} ორდინატას. კოკის გადაადგილებისას, ერთ-ერთი ტვირთის

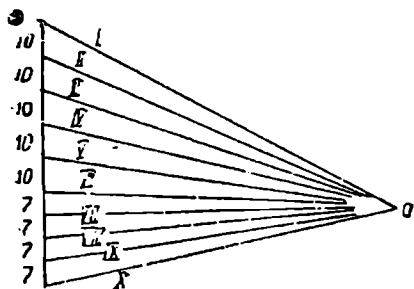
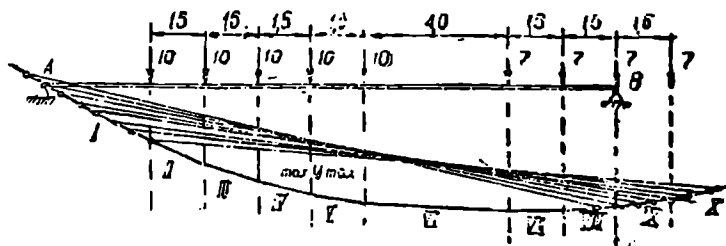
ქვეშ პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით აღვიღად მოიძებნება $\max y_{max}$, რომელიც განსაზღვრავს უდიდეს მღუნავ მომენტს და მის სათანადო კვეთს.

მაგალითი. 16 მტ მალიანი კოქისათვის განსაზღვრეთ უდიდესი მღუნავი მომენტი და ააგეთ ორთქლმავალის გავლით წარმოშობილ მომენტთა ეპიურა.

ორთქლმავალის სქემა (ნახ. 60): ხუთღერძიანი ორთქლმავალია, თითოეულ ღერძზე წნევაა 20 tონ და ოთხღერძიანი ტენდერია, თითოეულ ღერძზე წნევაა 14 tონ. რადგან ხიდწამწე ორი კოქისაგან შესდგება, ამიტომ თითოეულ მათგანს ტვირთის ნახევარზე ვანგარიშობთ, ე. ი. თითოეულ ბორბალზე ათ ათ ტონაზე და სათანადო ოთხ-ოთხ ტონაზე.



ნახ. 60.



ნახ. 61.

ამოხსნა. ავაგებთ ძალთა მრავალკუთხედს. სახერხულობისათვის საპოლუსო მანძილს 10-ის ტოლად შევარჩევთ (კოქის სიგრძეთა მასშტაბში = 10 მ): თოქის მრავალკუთხედის აგების შემდეგ კოქს 0,50 მ-ზე გადავაადგილებთ, როგორც ეს მოსახერხებელი იქნება შერჩეული მასშტაბის მიხედვით (ნახ. 61).

კოქის სხედასხვა მდებარეობისათვის გავზომავთ ორდინატებს ტვირთის ქვეშ და მეოთხე ტვირთის ქვეშ ეპოლოზობთ $\max y_{max}$, როცა ტვირთი A საყრდნობიდან 7,5 mt მანძილზე იმყოფება (კოქის შუა ადგილიდან 0,5 mt მანძილზე). ჩვენ მიერ შერჩეულ ძალთა მასშტაბით ეს ორდინატა 16 ton-ის ტოლია, მაშ:

$$\max M = 16 \cdot 10 = 160 \text{ ton} \cdot \text{mt}.$$

მთელ კოქისათვის ღუნვის მომენტთა დიაგრამის აგებისათვის კოქის სიგრძეს 2 mt სიგრძის მქონე უბნებად დავეყოთ და A საყრდნობიდან: 2 mt, 4 mt და 6 mt მანძილზე განვსაზღვრავთ $\max M_2$, $\max M_3$ და $\max M_6$. კოქის სხედასხვა მდებარეობის დროს ამ კვეთთა სათანადო ორდინატებს უწინდელის

დაგვარად თუ გავზომავთ, ვიპოვით $\max y_2 = 7,6 \text{ ton}$, $\max y_4 = 12,4 \text{ ton}$, და $\max y_6 = 15,6 \text{ ton}$. ამ ორდინატებს გრაფიკზე თუ გადავზომავთ (ნახ. 62), მივიღებთ ორთქლმავალის გავლის დროს კოქის კვეთებში მოსალოდნელ მაქსიმალურ მღუნვან მომენტთა ეპიურას.

ესლა ამ შემთხვევისათვის შევარჩიოთ ცუბილ პროფილიანი კოქის კვეთი. კოქის სიმაღლე იყოს

$$h = \frac{1}{16} l = 100 \text{ cm},$$

შიახლოებულ გამოთვლისათვის ორტესებრი კოქებისათვის ასეთი გამოსახულება გვაქვს:

$$W = h_0 \left(F + \frac{F_1}{6} \right),$$

სადაც

$$W = \frac{M}{R_b} = \frac{160}{R_b}; \quad h_0 = 100 \text{ cm};$$

ვთქვათ:

$$R_b = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$160 \cdot 100 \cdot \frac{1000}{1000} = 100 \left(F + \frac{F_1}{6} \right),$$

საიდანაც

$$F + \frac{F_1}{6} = 160.$$

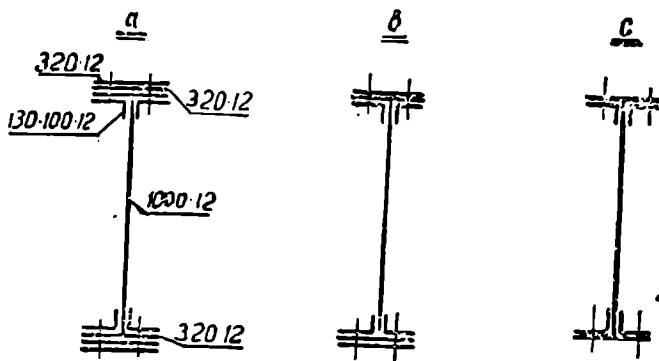
12 mm სისქის შვეულ ფურცელს თუ ავიღებთ, მივიღებთ:

$$\frac{F_1}{6} = \frac{100 \cdot 1,2}{6} = 20.$$

მაშასადამე

$$F = 160 - 20 = 140 \text{ cm}^2.$$

ორ $130 \times 100 \times 12$ კუთხოვანისა და სამ 320×12 mm ფურკლისაგან შემდგარ კვეთს ავიღებთ (ნახ. 63, ა). $d = 23$ mm დიამეტრის მქონე მოქლონების შემთხვევაში, მივიღებთ:



ნახ. 63.

$$F = 2 (26,31 - 2,88) = 46,86 \quad \left. \begin{array}{l} \\ 3 (1,2 \cdot 32 - 2,88) = 106,56 \end{array} \right\} 153,42$$

შევამოწმებთ კვეთს, რის დროსაც უყურადღებოთ ეტოვებთ თავთავიანი ლერძების მიმართ აღებულ ფურკლების, კუთხოვანების და მოქლონების ინერციის მომენტებს:

$$\text{შეეულ ფურკლისათვის } J = \frac{1,2 \cdot 100^3}{12} = 100000.$$

$$\text{ოთხ } 130 \times 100 \times 12 \text{ კუთხოვანისათვის } J = 4 \cdot 26,31 (50 - 2,59)^2 = 236040$$

$$\text{პორიზონტალურ ფურკლებისათვის } J = 2 \cdot 32 \cdot 3,6 \cdot (50 + 1,8)^2 = 615749$$

$$J_{\text{brutto}} = 951789.$$

$$\text{მოქლონის } J = 4 \cdot 2,4 \cdot 4,8 (51,2)^2 = 120566$$

$$J_{\text{neto}} = 831223.$$

სამ ფურკლის შემთხვევაში წინალობის მომენტი ტოლი იქნება:

$$W = \frac{J}{e} = \frac{831223}{53,6} = 15500.$$

ნაპირა ფურტელი გადაძლევს

$$J_1 = \frac{32 - 4,8}{12} (53,6^3 - 52,4^3) \cdot 8 = 186040,$$

ამიტომ ნაპირა ფურკლის გარეშე კოჭი ასეთ წინალობის მომენტს მოგვეცემს:

$$W_1 = \frac{J - J_1}{e_1} = \frac{645183}{52,4} = 12300.$$

მორე ფურცელი გადაღეს:

$$J_2 = \frac{32-4,8}{12} (52,4^3 - 51,2^3) \quad \theta = 169823,$$

ამიტომ კუთხოვანებზე მიმოქლონებული ერთფურცლიანი კოკი ასეთ წინაღობის მომენტს მოგვცემს:

$$W_2 = \frac{J - J_1 - J_2}{e_2} = \frac{475360}{51,2} = 9280.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ ჩვენ სამ ფურცლიან პროფილს თუ მივიღებთ, მაშინ მლუნავი მომენტი, რომელსაც გაუძლებს აღებული პროფილი, იქნება:

$$M = (15500 \cdot 1000) : 100 = 155000 \text{ kg mt.}$$

ორი ფურცლისაგან შემდგარი იგივე პროფილი გაუძლებს:

$$M_1 = (12300 \cdot 1000) : 100 = 123000 \text{ kgmt,}$$

ერთ ფურცლიანი კი:

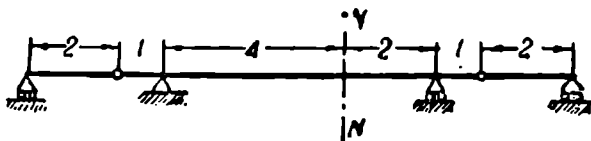
$$M_2 = (9280 \cdot 1000) : 100 = 92 \cdot 800 \text{ kgmt.}$$

უდიდეს მლუნავ მომენტთა ეპიურაზე (ნახ. 62) იმ მომენტების სათანადო უბნების დასახვით, რომლებსაც კოკი თაროზე მიმოქლონებულ ფურცელთა შემცირების დროს გაუძლებს, შევნიშნავთ, რომ შუა ადგილას 8 mt სიგრძეზე სამთავე ფურცელი უნდა დაეტოვოთ (ნახ. 63, ა-ზ) წარმოდგენილი პროფილი), შემდეგ 2 mt თითოეულ მხარეს საკმარისია ორ-ორი ფურცლის დატოვება, უკანასკნელ ორ მეტრზე კი ერთი ფურცლის მოქლონავაც საკმარისია.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. რას გვიჩვენებს გავლენის ხაზი კოკის გარკვეულ კვეთში?
2. b წერტილში (ნახ. 51) მოთავსებული „1“ ტვირთი B საყრდნობში რისთვის გამოიწვევს 1-ზე მეტს და $1 + \frac{a}{l}$ სიდიდის ტოლ რეაქციას?
3. ტვირთის NN კვეთზე მოთავსებისას რისი ტოლია ამ კვეთში წარმოშობილი გადაშვრელი ძალდონე (ნახ. 52).
4. გავლენის ხაზის გამოყენებით როგორ განვსაზღვრავთ მალის შუაში გავლებულ კვეთში აღძრულ გადაშვრელ ძალდონეს იმ შემთხვევაში, როცა შთაწერტული P ტვირთი მოქმედობს მალის შუა ადგილას, და როცა q $\frac{\text{kg}}{\text{mt}}$ ინტენსიურობის ტვირთი მოქმედობს თანაბრად მთელ მალზე?
5. ორ საყრდნობზე მოთავსებული კოკის მლუნავ მომენტთა გავლენის ხაზი როგორ შემთხვევაში მოგვცემს მალზე უარყოფით ეპიურას?
6. ნახ. 57-ზე საყრდნობის წერტილების პირდაპირ გავლენის ხაზი რისთვის არის სწორხაზად (გარდატეხის გარეშე) წარმოდგენილი?

7. გავლენის ხაზის გამოყენებით, როგორი წესით განესაზღვრავთ მცელ-
მალზე თანაბრად განრიგებული ტვირთის მიერ და მალის შუაში შთაწერტული
ტვირთის მიერ გამოწვეულ მღუნავ მომენტს (მალის შუაში გავლებულ კვეთის
მიმართ)?



ნახ. 64.

8. ჰერბერის კოქის NN კვეთის მიმართ აღებულ მღუნავ მომენტისათვის
ააგეთ გავლენის ხაზი (ნახ. 64).

§ 28. ზავლენის ხაზები ისეთ ლეკოვან ზავბანისი წაშვითათვის, როგელ-
თაც ხარტელევი მრულხაზოვან მოხაზულობისა აძვთ.

განვიხილოთ მრულხაზობრივი მოხაზულობის სარტყლების მქონე წამწე,
როცა მასზე მოქმედობს მოძრავი ტვირთი (ნახ. 65). ჩვენი ამოცანაა, რათა ამ
წამწეს ლეროებისათვის ავაგოთ გავლენის ხაზები.

ვისარგებლოთ რიტერის წესით და წამწეს სამი CD, CI და IK ლერო
NN კვეთით გავკვეთოთ.

CD ლეროში S_1 ძალღონეს განსაზღვრის დროს რიტერის წერტილად I
წერტილი იქნება. როცა „ერთეული“ ტვირთი მოთავსებულია წამწეს მარჯვე-
ნა ნაწილში, მაშინ I წერტილის მიმართ ასეთი მომენტთა ჯამი გვექნება:

$$Aa_1 + S_1 h_1 = 0,$$

საიდანაც:

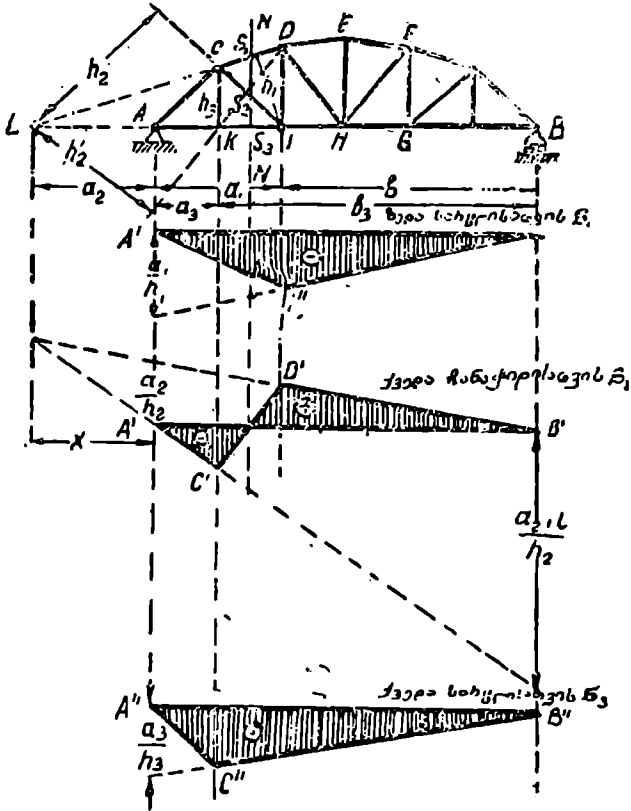
$$S_1 = - \frac{A a_1}{h_1},$$

ე. ი. მარჯვენა ნაწილისათვის ისეთ გავლენის ხაზს მივიღებთ, როგორიც
გვერნდა საყრდნობის A რეაქციისათვის, თუმცა მისი ორდინატები $\frac{a_1}{h_1}$ -ჯერ იქნე-
ბა გადიღებული.

როცა ტვირთი NN კვეთის მარცხენაა მოთავსებული, მაშინაც შევძლებთ
წამწეს მარჯვენა მხარეზე მქმედი ყველა მომენტის (I წერტილის მიმართ
აღებული მომენტების) ჯამის დაწერას:

$$- B \cdot b - S_1 h_1 = 0,$$

$$S_1 = -\frac{Bb}{h_1}$$



ნახ. 65.

ე. ი. მარცხენა ნაწილისათვის ისეთსავე გავლენის ხაზს მივიღებთ, როგორც გვექონდა B რეაქციისათვის, თუმცა მისი ორდინატები $\frac{b}{h_1}$ -ჯერ იქნებიან გადიდებულნი. გამოთვლამ გვიჩვენა, რომ S_1 ღერო შეკუმშულია. ამიტომ გავლენის ხაზის ორდინატები უარყოფითებიი.

ორთავე შემთხვევაში I წერტილის სათანადო გავლენის ხაზის ორდინატა იქნება:

$$y \frac{a_1}{h_1} = \frac{b}{l}; y = \frac{a_1 b}{l h_1};$$

$$y : \frac{b}{h_1} = \frac{a_1}{l}; y = \frac{a_1 b}{l h_1}.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ მარჯვენა ნაწილისათვის საკმარისია გავლენის ხაზის მხოლოდ ნაწილის აგება, შემდეგ კი I' წერტილი შეგვიძლია შეუერთოთ A' წერტილს.

CI ირიბში S_2 ძალღონეს განსაზღვრის დროს რიტერის L წერტილი A საყრდნობის გარეთ მოთავსდება. მაშინ მარჯვენა ნაწილზე ტვირთის გავლისას მოპენტთა განტოლება იქნება:

$$-A a_2 + S_2 h_2 = 0,$$

საიდანაც:

$$S_2 = \frac{A a_2}{h_2}.$$

მაშასადამე, BI უბნისათვის გავლენის ხაზი O-დან (B წერტილში) $\frac{a_2}{h_2}$ - დე

(A წერტილში) იცვლება. ამნაირად მიიღება გავლენის ხაზის B' D' უბანი.

თუ კი „ერთეული“ ტვირთი მოთავსებული იქნება მარცხენა ნაწილში, მაშინ წამწეს მარჯვენა ნაწილის წონასწორობის პირობების განხილვის დროს იგივე L წერტილის მიმართ გვექნება:

$$-B(a_2 + l) - S_2 h_2 = 0,$$

საიდანაც:

$$S_2 = -\frac{B(a_2 + l)}{h_2}.$$

B რეაქტივისთვის წინაუქმოთ მიმართულ გავლენის ხაზს ავაკებთ, რომლის ორდინატები $\frac{a_2 + l}{h_2}$ -ზე მრავლდებიან; ამნაირად მივიღებთ გავლენის ხაზის A' C' უბანს.

C' და D' წერტილებს სწორხაზით თუ შევავრთებთ, A' C' D' B' განივისათვის მივიღებთ გავლენის ხაზს. B' D' და A' C' ხაზები განუავრძობთ L' წერტილში გადაკვეთამდე A საყრდნობის იქეთ L' წერტილამდე მანძილი x-ით აღენიშნოთ, შევადგინოთ პროპორცია

$$\frac{a_2}{h_2} : \frac{a_2 + l}{h_2} = x : (x + l),$$

ე. ი.

$$\frac{a_2}{a_2 + l} = \frac{x}{x + l}.$$

საიდანაც:

$$x = a_2.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ გავლენის ხაზის ორთავე ტოტი L შვეულზე გადი-
კვებება. გავლენის ეპიურიდან ჩვენ ვხედავთ, რომ NN კვეთის მარჯვნივ მო-
თავსებული ტვირთები განივში გამოიწვევენ გამჭიმველ ძაღლონებს, მარც-
ხნივ მოთავსებულ ტვირთების მიერ კი—კუმშად ძაღლონებს. მაშ, CI ლერო
მუშაობს ხან კუმშვაზე და ხან გაქიმვაზე, რაიც აუცილებლად უნდა გავივია-
ლისწინოთ კვეთის შერჩევის დროს.

ქვედა სარტყლისათვის რიტერის წერტილი C-ში მოთავსდება. როცა
ტვირთი მოთავსებულია NN კვეთის მარჯვნივ მხარეს, გვექნება:

$$Aa_3 - S_3 h_3 = 0;$$

საიდანაც:

$$S_3 = \frac{Aa_3}{h_3}.$$

როცა ტვირთი მოთავსებულია მარცხენა ნახევარში, მაშინ AK უბნი-
სათვის:

$$-B b_3 + S_3 h_3 = 0,$$

საიდანაც:

$$S_3 = \frac{Bb_3}{h_3}.$$

ამნაირად KI ლეროში მქმედი S_3 ძაღლონისათვის ავაგებთ გავლენის ხაზს, რო-
მელიც A' C' B' სახეს მიიღებს.

განხილულ მაგალითში ქვემოთ მიმართული განივების ნაცვლად, ზემოდ-
მიმართული განივები რომ გვექნოდნა, ე. ი. CI-ს ნაცვლად KD განივა (პუნქტი-
რითაა ნაჩვენები) რომ გვექნოდნა, მაშინ ჩვენ ამოხსნაში h_2 უნდა შეგვეცვალა-
 h'_2 -ით და S'_2 ძაღლონეს წინ უნდა დაგვესვა S_2 ძაღლონეს ნიშნის შებრუნე-
ბული ნიშანი, ე. ი. მარჯვნივ მოთავსებულ ტვირთისათვის:

$$-Aa_2 - S'_2 h'_2 = 0,$$

საიდანაც

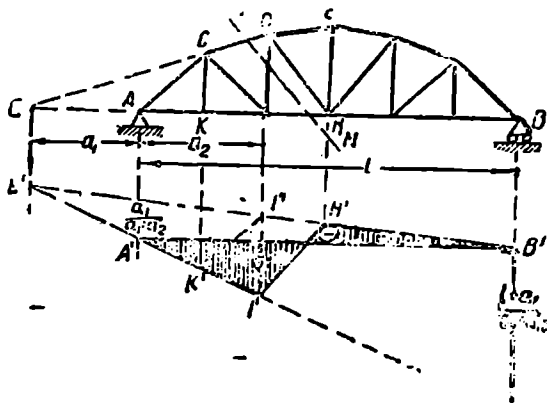
$$S'_2 = -A \frac{a_2}{h'_2},$$

მარცხნივ მოთავსებულ ტვირთისათვის კი:

$$-B(l + a_2) + S'_2 h'_2 = 0,$$

$$S'_2 = \frac{B(l + a_2)}{h'_2}.$$

ამნიარად დიაგრამაში ნიშნები შეიცვლება: დაღმავალ ღეროების დროს კვეთის მარჯვნივ მოთავსებული ტვირთები ზანივაში კიბად ძალდონეებს წარმოშობენ, მარცხნივ მოთავსებული ტვირთები კი—კუმშადებს, მაშინ როცა აღმავალ ღეროების დროს შებრუნებულ შედეგებს მივიღებთ.



ნახ. 66.

შეეულ ბრჯენში S_3 ძალდონეს განსაზღვრისათვის, CD, DI და IH ღეროებზე გავატარებთ კვეთს. მაშინ მარჯვნივ მოთავსებულ ტვირთების შემთხვევაში L წერტილის მიმართ აღებულ მომენტთა განტოლება იქნება (ნახ. 66):

$$-A a_1 - S_3 (a_1 + a_2) = 0,$$

საიდანაც:

$$S_3 = - \frac{A a_1}{(a_1 + a_2)}.$$

კვეთის მარცხნივ მოთავსებულ ტვირთის შემთხვევაში იგივე L წერტილის მიმართ აღებულ მომენტების განტოლება იქნება:

$$-B (l + a_1) + S_3 (a_1 + a_2) = 0,$$

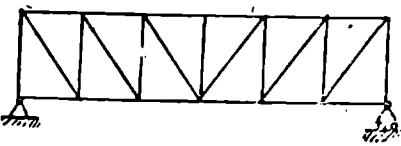
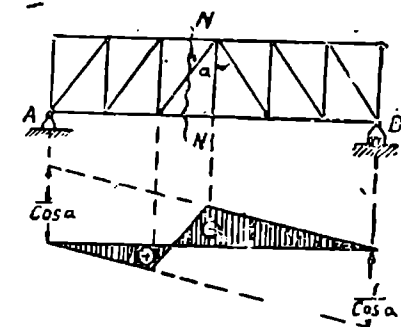
საიდანაც:

$$S_3 = + \frac{B (l + a_1)}{a_1 + a_2}.$$

როცა ტვირთი მოძრაობს ქვედა არტახზე, მაშინ გავლენის ხაზის დადებითი და უარყოფითი ტოტების შეუღლება $I'H'$ ხაზს გაჰყვება. როცა ტვირთი მოძრაობს ზედა არტახზე, მაშინ ეს შეუღლება $K'I'$ ხაზს გაჰყვება.

§ 29. პარალელური სარტყლიანი წამყვანი.

სარტყლებში მკმედი ძალონების გავლენის ხაზების აგება შეიძლება წინა პარაგრაფის წესების მიხედვით (ნახ. 67), განივებისათვის კი რიტერის წერტილი უსასრულოდ იყარება.



ნახ. 67.

საიდანაც:

$$S = \frac{B}{\cos \alpha}.$$

ამნიორად, ისეთივე გავლენის ხაზი მივიღეთ, როგორც საყრდნობის რეაქციების შემთხვევაში გვქონდა, თუმცა მათი ორდინატები $\frac{1}{\cos \alpha}$ -ზე მრავლდებიან.

დაღმავალ ღეროებისათვის, როცა ტვირთი მარჯვენა ნაწილშია მოთავსებული, გვექნება:

$$A - S' \cdot \cos \alpha = 0,$$

საიდანაც

$$S' = \frac{A}{\cos \alpha};$$

როცა ტვირთი მოთავსებულია მარცხენა ნაწილში:

$$B + S' \cdot \cos \alpha = 0,$$

საიდანაც:

$$S' = -\frac{B}{\cos \alpha}.$$

განივში ძალონის განსაზღვრისათვის შეველ ღერძზე ყველა ძალების დაგეგმილებით შევადგინოთ წონასწორობის განტოლება. წამწეს მარჯვენა ნაწილში ტვირთის მოთავსების დროს მარცხენა ნაწილისათვის წონასწორობის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$A + S \cdot \cos \alpha = 0,$$

საიდანაც

$$S = -\frac{A}{\cos \alpha}.$$

როცა ტვირთი მოთავსებულია მარცხენა ნაწილში განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$B - S \cdot \cos \alpha = 0,$$

ე. ი. გავლენის ხაზი უწინდელისაგან მხოლოდ ნიშნებით განსხვავდება. ამ შემთხვევაში კუეთის მარჯვნივ მოთავსებული ტვირთი განივში კიმაღ ძალღონეს აღძრავს, მარცხენა ნახევარში მოთავსებული ტვირთი კი — კუმშავს (აღმაველ განივების შემთხვევაში კი, პირიქით).

§ 30. გავლენის ხაზები სამსახსრიანი თალის განივჯგისა, მღუწავ მომენტებისა და გადაპირულ ძალებისათვის.

ვთქვათ მოცემულია სამსახსრიანი ACB თალი, რომლის საყრდნობებია A და B (ამოხსნის განზოგადობისათვის ვთქვათ ისინი სხვადასხვა სიმაღლეზე მდებარეობენ). საყრდნობთა რეაქციების განსაზღვრის მეთოდი ჩვენ უკვე გრაფოსტატიკაში განვიხილეთ. ჩვენ აქ მოვიყვანთ საყრდნობთა რეაქციების სიდიდეთა მოძებნის ანალიზურ წესს. განვიხილოთ მოძრავი ტვირთის გავლენა სამსახსრიანი თალის ძალონებზე და ავგაოთ სათანადო გავლენის ხაზი (ნახ. 63).

განბიჯგი სამსახსრიანი თალში. საყრდნობთა A და B სახსრებში P ძალით გამოწვეული რეაქციები შევუღ და AB მიმართულებებით¹⁾ მდგენელებათ დავშალოთ.

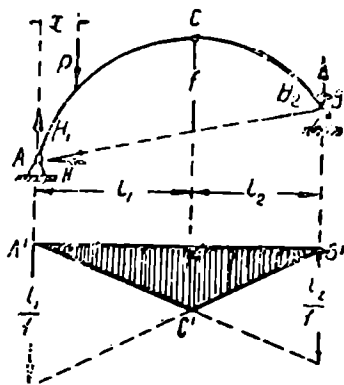
შვეადგინოთ ყველა ძალთა გეგმილების ჯამში ჰორიზონტალურ ღერძზე; $\sum X = 0$ წონასწორობის განტოლებიდან მივიღებთ, რომ AB-ზე მიმართული H_1 და H_2 მდგენელები სიდიდით თანატოლებია და მიმართულებით წინაუქმონი.

ამ მდგენელთა საერთო სიდიდის გეგმილს ჰორიზონტალურ ღერძზე, თალის ჰორიზონტალური განბიჯგი დავარქვათ და იგი H ასოთი აღვნიშნოთ.

განსაზღვროთ H განბიჯგის სიდიდე და გამოვიკვლიოთ განბიჯგის ცვლილების საკითხი როცა „ერთეული“ ტვირთი გადაადვილდება სამსახსრიან თალზე.

ვთქვათ, P ტვირთი ძვეს მარცხენა ნაწილში A საყრდნობიდან x მანძილის სიშორეზე. მაშინ თალის მარჯვენა ნაწილის წონასწორობის პირობა საშუალებას გვაძლევს საკეტი C სახსრის მიმართ შევადგინოთ მომენტთა განტოლება²⁾:

$$- B l_2 + Hf = 0,$$



ნახ. 63.

¹⁾ საყრდნობთა A და B სახსრების მიმართ მომენტთა განტოლება რომ შევადგინოთ ე. ი. $M_A = 0$ და $M_B = 0$, შევნიშნავთ, რომ საყრდნობთა A და B რეაქციების მდგენელებს ისეთივე მრავნელობები ექნებათ, როგორც ჰქონდა $l_1 + l_2$ ძალა მარტივ კოქს, როელზედაც იგივე შევუღი ტვირთი მოქმედობდა.

²⁾ H_2 ძალის მხარი იქნება:

საიდანაც:

$$H = \frac{B}{f}.$$

როცა ტვირთი მოთავსებულია C სახსრის მარჯვნივ, მაშინ მარცხენა ნაწილის წონასწორობის განტოლებიდან საკეტი C სახსრის შიშართ ვპოულობთ:

$$A l_1 - H f = 0,$$

საიდანაც:

$$H = \frac{A l_1}{f}.$$

გველენის ხაზს ვაგებთ ისე, როგორც საყრდნობის რეაქციისათვის, ტუმბო ორდინატებს სათანადოთ ვადიდებთ $\frac{l_1}{f}$ და $\frac{l_2}{f}$ — ჯერ. როცა $l_1 = l_2 = \frac{l}{2}$ (ე. ი. როცა სახსარი ზალის შუა ნაწილშია მოთავსებული), გვაქვს:

$$\max H = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{f} = \frac{P \cdot l}{4f}.$$

მღუნავეი მომენტი. ავაგოთ გველენის ხაზი NN კვეთის შიშართ აღებულ მღუნავე მომენტისათვის. ეს მღუნავეი მომენტი წარმოადგინება როგორც $l_1 + l_2$ მალიან კოქისათვის N' კვეთის შიშართ გამონაგარიშებული M_p მომენტის და თაღის პოარიზონტალურ განზრჯვისათვის გამოანგარიშებული — $H \cdot N$ მომენტის ჯამი (ნახ. 69).

ჯერ ავაგებთ AB კოქის გველენის ხაზს, რომელიც მიიღებს A' D' B' სახეს. შემდეგ H განზიჯვით გავწვევულ მომენტისათვის ავაგებთ გველენის ხაზს, რისთვისაც შევუღლებ B' საყრდნობთან ავაგებთ $\frac{l_2}{f} y_N$ -ის ტოლ მონაკვეთს და ამნაირად მიღებულ წერტილს შევადრებთ A' წერტილთან. შევუღლთან ამ ხაზის

$$f' = f \cdot \cos(H_1, H_2).$$

აქედან H_2 ძალის მომენტი C წერტილის შიშართ იქნება:

$$H_2 \cdot f' = H_2 \cdot \cos(H, H_2) \cdot f,$$

ხოლო — რადგან:

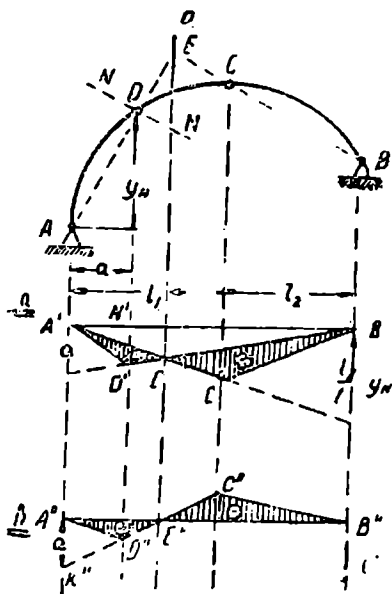
$$H_2 \cdot \cos(H, H_2) = H,$$

ამიტომ:

$$H_2 \cdot f' = H \cdot f.$$

ამიტომ ნომენტი ვაჭლოვების შედეგის დროს H_2 და H_1 ძაღების ნაცვლად მიღებულა H ძალა.

ვადაკეთის წერტილი (რომელიც C სახსარზე გადის) H_y მომენტისათვის აგებული გავლენის ხაზის C' წვეროს განსაზღვრავს. აგებული ორი გავლენის ხაზის ორდინატთა სხვაობა ნახაზე წვეტილითაა ნაჩვენები.



ნახ. 69.

სახსრის რეაქცია AD ხაზს გაჰყვება და D წერტილის მიმართ აღებული მისი მომენტი ნულის ტოლი იქნება (რეაქციის მხარი ნულის ტოლია). რადგან ამ შემთხვევაში კვეთის მარცხენა ნაწილში A რეაქციის გარდა არც ერთი ძალა არ არის მოღებული, ამიტომ E წერტილში ტვირთის მდებარეობის დროს NN კვეთის მიმართ აღებული მლუნავი მომენტი ნულის ტოლი იქნება, E' წერტილი კი გავლენის ხაზის ნულოვან წერტილს წარმოადგენს.

გარდა ამისა გავლენის ხაზის უწინდელ გამოსახულებაზე (ნახ. 69, ა) $E'D'$ განფენილობაზე ორდინატები იმ ორ სწორხაზს შორის არიან მოთავსებულნი, რომელნიც მარცხენა ნაპირა შევულზე a მონაკვეთს მოჰკვეთავენ. მაშ ნახ. 69, ბ-ზეც ჩვენ E' წერტილიდან უნდა გავატაროთ $E''D''$ ხაზი, რომელიც თავისი გაგრძელებით AA'' შევულზე მოჰკვეთავს. a მონაკვეთს. აქედან ადვილად დავასკვნით, რომ $A''D''E''C''B''$ ხაზის დანარჩენი ორდინატებიც მოთხოვნილი სიღიდის ტოლები იქნებიან.

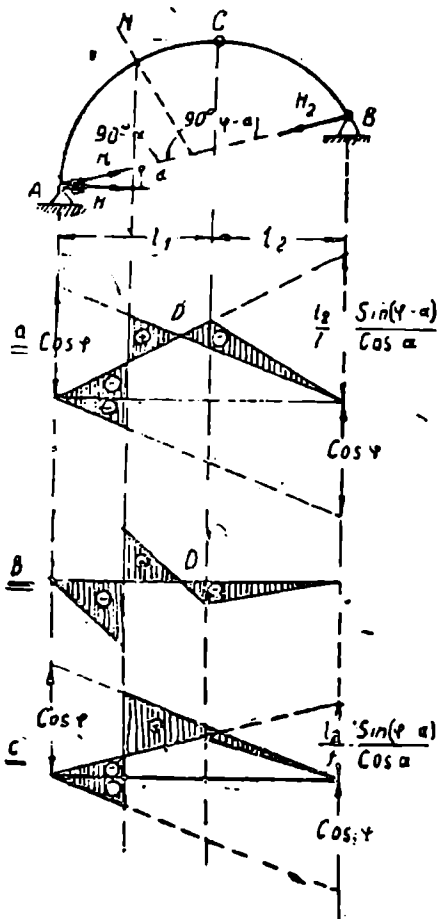
ამნაირად, NN კვეთის მიმართ აღებული მლუნავი მომენტის გავლენის ხაზის აგებისათვის უნდა მოვიძებნოთ AD და BC ხაზების შეხვედრის წერტილი, რის

თუ ვისარგებლებთ მლუნავ მომენტთა ნაშენების წესით, რომლის მიხედვითაც დადებითი ღუნვის მომენტი მიიღება მაშინ, როცა ღუნვა შეზნეკილობით ქვემოდ მიიღება (და უარყოფითი მიიღება მაშინ, როცა ღუნვა შეზნეკილობით ზემოდ სწარმოებდა), შევნიშნავთ, რომ E წერტილის მარცხნივ მომენტს ექნება (+) ნიშანი, მარჯვნივ კი (-) ნიშანი. ჩვენ მიერ აგებული გავლენის ხაზი ნათლად მიგვითითებს იმაზე, რომ თალით შეიძლება უფრო დიდი მალეების გადაფარება, ვიდრე იგივე კვეთის მქონე კოქის მიერ, რადგან ღუნვის მომენტები თალში მნიშვნელოვნად მცირდებათ, განბიჯვის ქმედებით წარმოშობილი უარყოფითი მომენტების მოქმედების გამო.

გავლენის ხაზი უფრო ხელსაყრელ სახეობად შეგვიძლია გარდაეკმნათ, თუ ორდინატებს გადავზომავთ ჰორიზონტალურ $A''B''$ ხაზიდან (ნახ. 69, ბ).

ამისათვის შევნიშნოთ, რომ E წერტილში ტვირთის მდებარეობის დროს A

დროსაც EE'' შეეულზე მოთავსდება გავლენის ხაზის ნულოვანი წერტილი. შემდეგ AA'' შეეულზე უნდა გადისომოს a მონაკვეთი. მიღებული E' და K'' წერტილები განსაზღვრავენ გავლენის ხაზის მიმართულებას $D''-C''$ უბანზე. გავლენის ხაზის მიღებული მონაკვეთის ნაპირა D'' და C'' წერტილები სათანადოთ უნდა შეუერთოთ A' და B' წერტილებს.



ნახ. 70.

ბიჯგის გავლენის ხაზის ორდინატრა სხვაობა, რის დროსაც პირველის ორდინატები $\cos\varphi$ ჯერ უნდა გავადიდოთ, მეროესი კი $\frac{\sin(\varphi-\alpha)}{\cos\alpha}$ ჯერ.

განმარტებულის თანახმად გავლენის ხაზის აგება ნახ. 70, ა-ზეა შესრულებული. მეტად გამარტივების მიზნით, გავლენის ხაზის აგება კიდევ ჰორიზონტალურ ხაზიდან ორდინატების გადაზომვით შესრულდება, როგორც ეს ნახ. 70, ბ-ზეა ნაჩვენები.

გადამკრეელი ძალა ვთქვათ, საჭიროა სამსახსრიანი თაღის NN კვეთში წარმოშობილი გადამკრეელი ძალის გავლენის ხაზის აგება (ნახ. 70), როცა თაღზე მოძრაობს „ერთეული“ ტვირთი. თაღის მარცხენა მოკვეთილ ნაწილზე მომქმედ ყველა ძალებს NN მართივანზე თუ დავაგებმილებთ ამით მივიღებთ გადამკრეელი ძალის სიდიდეს.

$l_1 + l_2$ მალიანი კოქის გადამკრეელი ძალა Q_0 -ით აღენიშნოთ, H_1 -ით კი AB ხაზის გასწვრივ მიმართული ძალა, მაშინ მივიღებთ, რომ NN კვეთში მქმედო გადამკრეელი ძალის სიდიდე ტოლია:

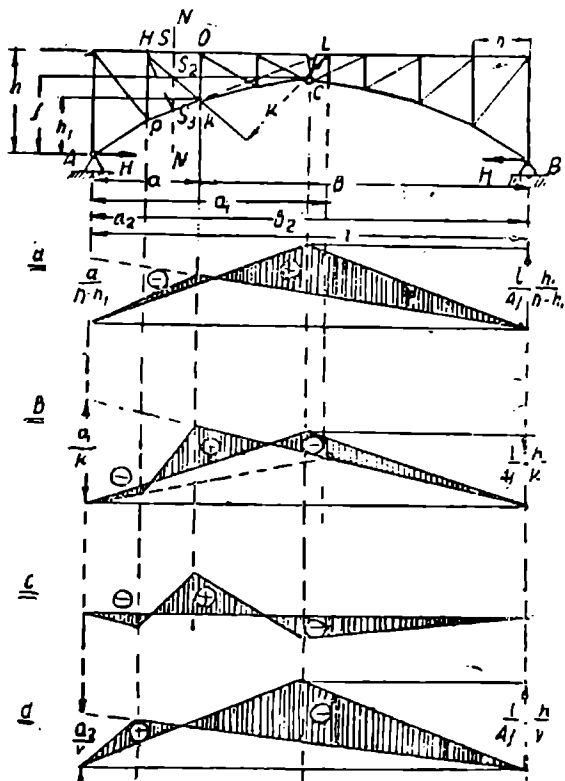
$$Q = Q_0 \cos\varphi - H_1 \sin(\varphi - \alpha) = Q_0 \cos\varphi - \frac{H \sin(\varphi - \alpha)}{\cos\alpha}$$

საძიებელი გავლენის ხაზის ასაგებათ აუცილებლად უნდა შევადგინოთ $l_1 + l_2$ მალიანი კოქის გადამკრეელი ძალის გავლენის ხაზისა და ჰორიზონტალური H გან-

$\frac{L_2}{f} \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha}$ გამოსახულების უმნიშვნელო სიდიდის დროს გავლენის ხაზს ნახ. 70, ც-ზე მოყვანილი სახე ექნება.

§ 31. ბავლენის ხაზი ლეროვანი სამსახსრიანი ზამბანის წამყვანათვის.

სამსახსროვან თაღზე მქმედი ძალების ერთობლიობა, იგივე მალიან კოეფიციენტზე მქმედი სათანადო ძალთა სისტემისაგან მხოლოდ განბიჯვის არსებობით განსხვავდება.



ნახ. 71.

ეს მდგომარეობა უნდა გავითვალისწინოთ ლეროვანი სამსახსრიანი გამტარის წამყვანათვის გავლენის ხაზის აგების დროს (ნახ. 71).

აეილოთ NN კვეთი და ავაგოთ გავლენის ხაზები HO, HK და KP¹ ლეროებისათვის, რომელთა ძალდონეებსაც სათანადოთ S₁, S₂ და S₃-ით აღვნიშნავთ

ზედა სარტყლის HO ლეროსათვის რიტერის წერტილი K კვანძში იქნება მოთავსებული. თავდაპირველად ყურადღებაში ნუ მივიღებთ H განბიჯვის გავლენას; მაშინ A რეაქციის გავლენა მოგვეცემს განტოლებას:

$$S'_1 (h - h_1) + A \cdot a = 0,$$

საიდანაც

$$S'_1 = - \frac{Aa}{h - h_1}$$

ან სათანადოთ მარჯვენა ნაწილისათვის:

$$-S'_1 (h - h_1) - Bb = 0,$$

საიდანაც:

$$S'_1 = - \frac{Bb}{h - h_1}.$$

მინუს ნიშანი იმაზე მიგვიჩივებს, რომ HO ლერო შეკუმშულია, და გავლენის ხაზის აგება საყრდნობის რეაქციის გავლენის ხაზისაგან მხოლოდ იმით განსხვავდება, რომ ორდინატები $\frac{a}{h - h_1}$ -ჯერ უნდა იქნეს გადიდებული

(და სათანადოთ $\frac{b}{h - h_1}$ -ჯერ).

ეხლა მხედველობაში მივიღოთ H განბიჯვის გავლენა; ეს ჩვენ ახალ განტოლებას გვაძლევს:

$$-Hh_1 + S''_1 (h - h_1) = 0,$$

საიდანაც:

$$S''_1 = \frac{Hh_1}{h - h_1},$$

ე. ი. განბიჯვის კმელებით. ზედა სარტყელი დაკიმულია. გავლენის ხაზის აგება განბიჯვის გავლენის ხაზისაგან იმით განსხვავდება, რომ ორდინატები $\frac{h_1}{h - h_1}$ -ჯერ უნდა გადიდდეს.

ამნიარად უდიდესი ორდინატა იქნება:

$$\frac{l}{4f} \cdot \frac{h_1}{h - h_1}.$$

ნახაზ 71, a-ზე წახაზული გავლენის ფართობი გვაძლევს გავლენის ჯამების ორდინატებს:

$$S_1 = S'_1 + S''_1.$$

HK განბიჯკში მქედ ძალ-ლონესათვის რიტერის წერტილი L წერტილი იქნება. გავლენის ხაზს ისევე ორი მიდგოვით ავაგებთ.

l მალიანი კოქისათვის, გვაქვს:

$$-S'_2 k + Aa_1 = 0,$$

საიდანაც:

$$S'_2 = A \frac{a_1}{k};$$

$$S'_2 k - Bb_1 = 0,$$

საიდანაც:

$$S'_2 = B \frac{b_1}{k},$$

ე. ი. განბიჯგი დაქიმულია. ავაგოთ გავლენას ხაზი, რისთვისაც საყრდნობის A რეაქციის გავლენის ხაზის ორდინატები $\frac{a_1}{k}$ -ჯერ გავადიდოთ. ეხლა H განბიჯგის გავლენას ყურადღებაში თუ მივიღებთ, გვექნება:

$$-Hh - S''_2 k = 0,$$

საიდანაც:

$$-S''_2 = -H \frac{h}{k},$$

რაიც იმაზე მიგვიითითებს, რომ განბიჯკი შეეკუმშულია. გავლენის ხაზს ისეთ-ნაირად თუ ავაგებთ, როგორც განბიჯგისათვის, მაგრამ ორდინატებს გავადიდებთ $\frac{h}{k}$ -ჯერ, გარდა ამისა ორთავე გავლენის ხაზების ორდინატებს თუ შეეკრიბავთ, ამით საძიებელ გავლენის ფართობს მივიღებთ, რომელიც ნათლადაა წარმოდგენილი ნახ. 71-ის წახაზულ ნაკ. ხ-ზე. ნახ. 71, c-ზე გავლენის ხაზის იგივე ორდინატები თვალსაჩინოებისათვის გადმოზომილია პორიზონტალურ ხაზიდან.

PK ღეროში მქმედი S_3 ძალ-ლონესათვის რიტერის წერტილად H წერტილი იქნება. l მალიან კოქისათვის გვაქვს:

$$Aa_2 - S'_3 v = 0,$$

საიდანაც:

$$S'_3 = A \frac{a_2}{v};$$

$$-Bb_2 + S'_3 v = 0,$$

საიდანაც:

$$S'_3 = \frac{Bb_2}{\bullet},$$

ე. ი. PK ღერო დაქიმულია.

H განბიჯვის გავლენას თუ გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:

$$-S''_3 \nu - Hh = 0,$$

საიდანაც:

$$S''_3 = -H \frac{h}{\nu},$$

ე. ი. PK ღერო შეკუმშულია.

პირველ შემთხვევაში გავლენის ხაზს ისეთნაირად თუ ავაგებთ, როგორც გვექონდა A რეაქციისათვის, მაგრამ ორდინატებს გავადიდებთ $\frac{2}{\nu}$ -ჯერ, მეორე შემთხვევაში კი ისეთ გავლენის ხაზს ავაგებთ, როგორც გვექონდა H განბიჯვისათვის (რომლის ორდინატებსაც $\frac{h}{\nu}$ -ზე გავამრავლებთ), ასეთი აგებით ნახ. 71, d-ზე წარმოდგენილ საძიებელ გავლენის ფართობს მივიღებთ.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. ნახ. 67-ზე წარმოდგენილ შვეულ ბრჯენისათვის ააგეთ გავლენის ხაზი?
2. რა განსხვავებაა ნახ. 67-ზე წარმოდგენილი წამწეს აღმავალი და დაღმავალი ირიბების მუშაობაში?
3. სიმეტრიული სამსახსრიანი თაღის მარჯვენა საყრდნობიდან $\frac{l}{4}$ მანძილზე დაშორებულ NN კვეთის მიმართ აღებულ ღუნვის მომენტისათვის ააგეთ გავლენის ხაზი.
4. რა არის არაჩელსაყრელი სამსახსრიან თაღისათვის: მთელი მალის დატვირთვა, თუ მხოლოდ მალის ნაწილის დატვირთვა? უკანასკნელ შემთხვევაში მალის რა ნაწილი უნდა იქნეს დატვირთული (ნახ. 69)?
5. როგორ თაღებში გამოიყენება მეტი სიდიდის განბიჯვი: ქანობიანში თუ დიდ აღმავლობის (აღმართის) მქონეში?
6. რისთვის არ გამოიყენება დიდქანობიანი თაღები?
სამსახსრიანი თაღის n არტახის მიხედვით ორთავე სარტყლისა, ირიბასა და ბრჯენისათვის ააგეთ გავლენის ხაზი (ნახ. 71).

თავი მეთხუ
შუკრი კოჭები

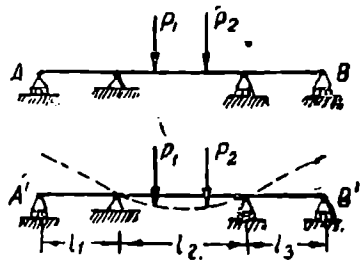
§ 32. საერთო ცნებანი.

კოჭი, რომელიც ერთ მალიან ძელს წარმოადგენს და რამდენიმე მალზეა გადაფარებული უჭრი კოჭის სახელწოდებას ატარებს: უმცირეს მალთა რიცხვი, რომელიც კი შეიძლება ჰქონდეს უჭრი კოჭს, უდრის ორს.

უჭრი კოჭის საყრდნობებს ისეთი კონსტრუქცია უნდა ჰქონდეთ, რომ მათ წინააღმდეგობა გაუწიონ არა თუ მარტო კოჭის ქვემო დაშვებას, არამედ ზემოდ აწევასაც. თუ ეს პირობა არ იქმნა დაკმაყოფილებული, მაშინ ტვირთის ზოგიერთ მდებარეობის დროს უჭრი კოჭი შეიძლება სხვაგვარ, სისტემად გარდიქმნეს. მაგალითად, რომ ავიღოთ ოთხ საყრდნობაზე თავისუფლად მდებარე სამსახსრიანი კოჭი (ნახ. 72), მაშინ l_2 მალის დატვირთვისას A და B ბოლოები სახსრებს მოშორდებიან (რომელზედაც ეს ბოლოები თავისუფლად მდებარეობდნენ) და წყვეტილით ნაჩვენებ მდებარეობაში გადავლენ. ნახაზიდან ჩანს, რომ ასეთნაირად დატვირთული სამმალიანი კოჭი ისეთნაირადვე იმუშავებს, როგორც l_2 მალიანი და l_1 და l_3 კონსოლებიანი ერთი კოჭი. მაშასადამე, უჭრი კოჭის საყრდნობთა კონსტრუქციის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ის, რომ ნებისმიერ დატვირთვის დროს კავშირი არ დაირღვეს კოჭსა და საყრდნობებს შორის.

უჭრ კოჭებს ძლიერ ფართო გამოყენება აქვთ მშენებლობაში, განსაკუთრებით კი რკინაბეტონით მშენებლობის დარგში, სადაც თვით გამოყენებული მასალების თვისებათა მიხედვით მათი მოწყობა გაკრილი კოჭების მოწყობაზე მარტივი და იაფია.

უჭრი კოჭების ძირითადი უპირატესობა ნაშენის წონის მნიშვნელოვან ეკონომიაში მდგომარეობს, რაიც მიიღება უჭრი კოჭში წარმოშობილი მცირე სიდიდის მლუნავი მომენტების წყალობით, მაშინ როცა სათანადო მალის მქონე მთელ რიგ ერთმალიან კოჭებში ერთად გაცილებით მეტი სიდიდის ლუნვი მომენტები მიიღება.



ნახ. 72.

მაშინ როცა სათანადო მალის მქონე მთელ რიგ ერთმალიან კოჭებში ერთად გაცილებით მეტი სიდიდის ლუნვი მომენტები მიიღება.

უკრი კოქების ნაკლად ითვლება მათი გადამიტებიანა მგრძნობიერება საყრდნობთა დადაბლებიან (ჯდომის) დროს. საყრდნობთა წერტილების ოდნაეი დადაბლება ან აწევა მკვეთრად ცვლის კოქში მიღებულ მღუნაე მომენტთა სურათს, და მაშასადამე ჰინებებსაც.

ამიტომ საყრდნობებს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიეცეს და როცა შეუძლებელია დადაბლების თავიდან აცილება, მაშინ უმჯობესია სრულიად არ გამოვიყენოთ უკრი კოქები.

უკრი კოქის ერთ ერთი საყრდნობი უძრავადაა ნაგულეები, რათა კოქს არ მიეცეს ჰორიზონტალური მიმართულებით გადაადგილების საშუალება, დანარჩენი საყრდნობები კი მოძრავნი იქნებიან. თუმცა უნდა ითქვას, რომ ზოგჯერ უკრი კოქის საყრდნობისათვის სხვაგვარი დამაგრებებიც გვხვდება, მაგრამ ჩვენ მათ ამ კურსში არ განვიხილავთ.

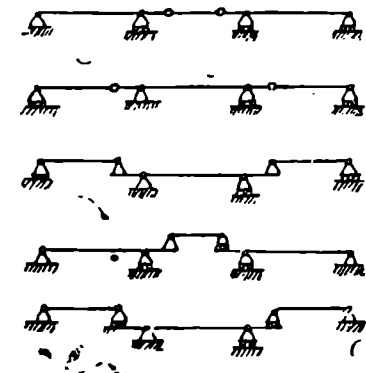
გორვის სიბრტყე ჩვეულებრივად ჰორიზონტალურია, ასე რომ მოძრავი საყრდნობების რეაქციები ვერტიკალური იქნებიან. ამნაირად უძრავ საყრდნობს ორი რეაქცია ექნება, ყოველ მოძრავს კი თითო-თითო, ა'ე რაჲ $n + 1$ საყრდნობიან და n მალთან კოქს $2 + n$ უცნობი ექნება, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სტატიკის სამი განტოლების მიხედვით კოქი: $2 + n - 3 = n - 1$ ჯერ სტატიურად ურკვევალა იქნება.

ამნაირად კოქი სტატიურად ურკვევალა იმდენჯერ იქნება, რამდენი მალიც აქვს მას ერთის გამოკლებით, ან რამდენი საყრდნობიც აქვს ორის გამოკლებით.

ყოველი ორზე მეტი საყრდნობი, თუ კი იგი მოძრავი იქნება, ერთ ზედმერ უქნობს მოვცემს. ამიტომ მრავალმალთან კოქს სიმტკიცის განსახურისათვის უნდა მივმართოთ დამატებით განტოლებებს, ან კონსტრუქტიული სა-

შუალებებით კოქი უნდა გარდაექმნად სტატიურად რკვევალ კოქად. უკანასკნელ მიზანს მივალწევთ, თუ შემოვიღებთ დამატებით სახსრებს, რის დროსაც ვგრედ წოდებულ ჰერბერის კოქს მივიღებთ; მაგალითად, ოთხ საყრდნობზე მოთავსებულ კოქისათვის ორი დამატებითი სახსარი უნდა შემოვიღოთ, რაც ნახაზ 73-ზე მოყვანილი ერთ-ერთი გზახერხით განხორციელდება.

რადგან ღუნეის მომენტი თითოეულ სახსარში ნულია, ამიტომ კოქი კონსოლიანა ორ საყრდნობიანა ან უკონსოლო ორსაყრდნობიანა კოქთა ერთობლიობის სახით ამოიხსნება.



ნახ. 73.

ასეთ კონსტრუქტიულ გზახერხებს რომ არ მივმართოთ, მაშინ ჩვენ მივალებთ მრავალმალთან სტატიურად ურკვევალ უკრი კოქს, რომლის გამოსანანგარიშებლად დამხმარე დრეკადობის განტოლებები უნდა გამოვიყენოთ.

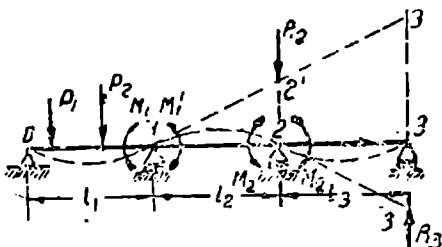
მცირერიცხოვან მალეების შემთხვევაში ზედმეტ უცნობ სიდიდეებად შუალედური საყრდნობის რეაქციები შეგვიძლია მივიღოთ. ამ შემთხვევაში, ზედმეტი საყრდნობების უკუგდებით, ჩვენ მივიღებთ „ძირითად სისტემას“, ორ საყრდნობზე წდებარე სტატიურად რყევადი კოქის სახით, სამაგიეროთ უკუგდებულ საყრდნობების მაგიერად უნდა ვამოქმედოთ ძალები.

ამ უცნობმა ძალებმა და კოქის დატვირთვამ ხელი უნდა შეუშალოს საყრდნობთა გადაადგილებას, რომელთა რეაქციები ჩვენ ზედმეტ უცნობებად ჩავთვალეთ. ტვირთის ქმედებით ერთის მხრივ და რეაქციათა ქმედებით მეორეს მხრივ უკუგდებულ საყრდნობთა წერტილებში ნაღუნთა ტოლობის პირობიდან ჩვენ მივიღებთ დამატებით განტოლებებს.

მაგრამ ამ გზახერხს თანსდევს მრავალსახა ამოხსნები და უკვე ორზე მეტი რიცხვის შუალედურ საყრდნობების დროს იგი მომქანცავია. ამიტომ უკრი კოქების ანგარიშის დროს ზედმეტ უცნობებად საყრდნობთა მომენტები ა მიჩნეული.

§ 33. საყრდნობთა მომენტები.

საყრდნობთა მომენტების წარმოშობის ბუნების ნათელი წარმოდგენისათვის განვიხილოთ სამშალიანი (უკრი) კოქი, რომლის პირველ მალზე P_1 და P_2 ძალები მოქმედობენ (ნახ. 74). თავდაპირველად ვიგულოთ, რომ საყრდნობები 2 და 3 მოშორებულია. მაშინ P_1 და P_2 ძალთა ქმედებით კოქი გაიღუნება 0—1 მალზე, ხოლო 1—3 უბანზე კოქი სწორხაზობრივი რჩება და 1—3' მდებარეობაში გადადის. R_2 ძალის მოდებით 2' წერტილის მის ნამდვილ 2 მდებარეობაში მოვიყვანთ (ე. ი. იმ მდებარეობაში, რომელიც ექნებოდა კოქს საყრდნობი 2 ის არსებობის დროს).



ნახ. 74.

$$M_1 = R_2 l_2,$$

რომელიც მეორე მალის პირველზე მოქმედებას გამოსახავს.

პირიქით: ქმედება და უკუქმედების კანონის-თანახმად პირველი მალის მეორეზე ქმედება სიდიდით ისეთივე და ნიშნით შებრუნებული უნდა იყოს, ე. ი. ასეთი მომენტით გამოისახება:

$$\bullet M'_1 = -M_1.$$

კოქს საყრდნობ 2-საკენ შუ მცდუნავთ, შევნიშნავთ, რომ მისი 2'—3' უბანი სწორხაზობრივი რჩება და 2—3' მდებარეობაში გადადის. R_2 ძალის

მოდებით 3" წერტილს მის ნამდვილ მდებარეობა 3-ში მოვიყვანო. მაშინ კვეთ 2-ში წარმოიშობა მომენტო

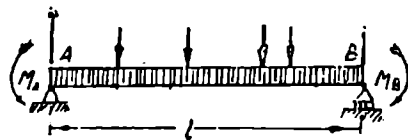
$$M_2 = -R_3/3.$$

რომელიც მესამე მალის მეორეზე ქმედებას გამოხატავს. წინანდელას მიხედვით მეორე მალის მესამეზე ქმედება M'_2 მომენტით გამოისახება. ცხადია, რომ M_2 მომენტის წარმოშობა გავლენას იქონიებს წინაღ ნაპოვნ M_1 მომენტის სიდიდეზე. ამნაირად, უკრი კოქის მოსაზღვრე მალაა ურაიეროქმედება ორი ტოლი მამართულებით შებრუნებული მომენტების სახით გამოისახება. ამ M_1 და M_2 მომენტებს საყრდნობთა მომენტები ეწოდება.

§ 34. სამ მომენტთა თეორემა.

უკრი კოქის გამოსაანგარიშებლად მას საყრდნობებზე გავლებული კვეთებით მთელ რიგ ერთმალთან კოქებად დაშლიან. ასეთნაირად მიღებულ თითოეულ კოქზე მოქმედობს, როგორც უშუალო დატვირთვა, ისე მოსაზღვრე უბნებიდან გადმოცემული ძალონებები.

აელოთ ნებისმიერი მალი და კოქის შვეულ სიმეტრიის სიბრტყეში მოდებული შვეული ტვირთების ქმედების შემთხვევა განვიხილოთ (ნახ. 75): A საყრდნობის მარცხნივ მქმედი ყველა ძალონები გარკვეულ წერტილზე მოდებულ ერთ ძალაზე და წყვილ-ძალაზე დაიყვანება. ამის გამოყენებით A საყრდნობის მარცხნივ მქმედი ყველა ძალები დაიყვანება A საყრდნობზე



ნახ. 75.

გატარებულ კვეთის სიმძრმის ცენტრზე, და, ამნაირად შეზობელ უბანთა ქმედებას შევცვლით კვეთის სიმძრმის ცენტრზე მოდებული A ძალით და M_A მომენტთან წყვილ-ძალით.

ანალოგიურად B საყრდნობის მარჯვნივ მოთავსებულ მალთა ქმედებას გამოყოფილ მალზე შევცვლით B ძალით და M_B მომენტთან წყვილ-ძალით.

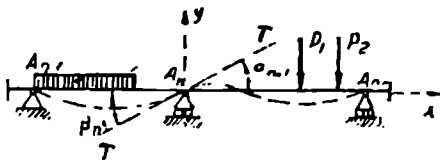
ამნაირად გამოყოფილი მალი ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე კოქის სახით შეგვიძლია განვიხილოთ, რომელიც გარდა მქმედი ტვირთისა, კიდევ საყრდნობებზე მოდებულ M_A და M_B მომენტებისა და A და B ძალების ქმედებას განიცდის. უშუალოდ საყრდნობებზე მქმედი A და B ძალები, გამოყოფილი მალის ღუნვაზე არავითარ გავლენას არ ახდენენ. მაშ AB კოქის ღუნვა უშუალოდ მალზე განრიგებულ ტვირთისა და საყრდნობ M_A და M_B მომენტებისაგან არიან გამოწვეული, რომლებიც კოქის უკუგდებულით ნაწილების ქმედების ზეგავლენით წარმოიშობიან. ●

შეენიშნოთ, რომ საყრდნობთა მომენტები იმავე დროს უკრი კოქის საყრდნობებზე გატარებულ კვეთებში წარმოშობილი მღუნავი მომენტებია.

ეს M_A და M_B საყრდნობთა მომენტები ჩვენ ზედმეტ უცნობ სიდიდებად ვვაქვს მიჩნეული, ჯის დროსაც ჩირითად სტატიურად რაკვევად სისტემას წარმოადგენენ მთელი რიგი ერთმალაიანი მარტივი კოქები.

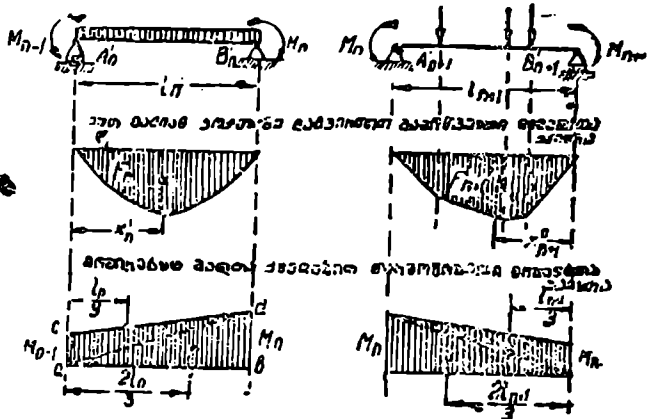
ამ საყრდნობთა მომენტების ზედმეტ უცნობთა განსაზღვრისათვის დეფორმაციის დამატებით განტოლებებს შეადგენენ, რის დროსაც იმით სარგებლობენ, რომ სწორი ძელის გაღუნული ლერძი მთლიან—მოქნილ მრუდს წარმოადგენს. ამ საფუძველზე შეგვიძლია დაბეჯითებით ვთქვათ, რომ ნებისმიერ საყრდნობზე დრეკადი ხაზის ΣTT მხები საერთო ხაზია მოსაზღვრე საყრდნობებისათვის (ნახ. 76).

საყრდნობის მხებთა განზოგადობისათვის აუცილებელია, რომ ამ საყრდნობის მარცხნივ მხების დახრის კუთხე, მარჯვენა მხაზე გატარებული მხების დახრის კუთხის ტოლი უნდა იყოს სიდიდით და შებრუნებული ნიშნით, ე. ი.



ნახ. 76.

$$\beta_n = -\alpha_{n+1}$$



ნახ. 77.

ავიღოთ უკრი კოქის ორი მოსაზღვრე მალი და იგი გავეყეთოთ საყრდნობზე გავლებული კვეთებით. მალეების სიგრძე სათანადოთ l_n და l_{n+1} ასობით აღენიშნოთ, საყრდნობთა მომენტები კი M_{n-1} , M_n და M_{n+1} (ნახ. 77). ჩვენთვის ცნობილია, რომ საყრდნობზე მხების დახრის კუთხე უდრის ფიქტიური საყრდნობის რეაქციის (რომელსაც მივალებთ, თუ კოქს დავუტირთავთ მომენტთა ეპიურათ) შეფარდებას კოქის სიხისტესთან; ეს იქნა ნაშნავს, რომ

$$\beta_n = \frac{B_n^0}{EJ} \text{ და } \alpha_{n+1} = \frac{A_{n+1}^0}{EJ}$$

საიდანაც, კოკის სიხისტეს მუდმივი სიდიდით თუ მივიღებთ, და, საყრდნობებს დაუდაბლებლად თუ ვიგულებთ, $\beta_n = -\alpha_{n+1}$ დროს, მივიღებთ:

$$B_n^0 = -A_{n+1}^0.$$

განესაზღვროთ ფიქტიური საყრდნობის B_n^0 რეაქცია. ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე A_n' B_n' კოკის მალზე მოთავსებული ტვირთით გამოწვეული სამომენტო ფართობი F_n ასოთი აღვნიშნოთ (ამ შემთხვევაში, ეს ფართობი პარაბოლის ფართობია), მისი სიმაღლე: s ცენტრიდან A_n' საყრდნობამდე დაშორების მანძილი კი x_n' ასოთი. ჩვენ მიერ მიღებული აღნიშვნების მიხედვით I_n მალისათვის საყრდნობთა მომენტები სათანადოთ ტოლები იქნება:

$$M_{n-1} \text{ და } M_n.$$

მალზე ტვირთების გავლენა გათვალისწინებულია F_n ეპიურით. ხოლო რადგან კოკის ღუნვაზე არავითარი სხვა გავლენა არ არის მოსალოდნელი (განსახილავ მალზე), ამიტომ M_{n-1} მომენტიდან M_n -ზე გადასვლა სწორი ხაზის კანონით უნდა ვრცელდებოდეს. მაშ, მოშორებული მკვების ზეგავლენით წარმოშობილ მომენტთა ეპიურა $acdb$ ტრაპეციის სახეს მიიღებს. ფიქტიური B_n^0 საყრდნობის რეაქციის განსაზღვრისათვის ტრაპეცია ორ სამკუთხედად დავყოთ:

1) Δacd , რომლის ფართობი უდრის

$$M_{n-1} \cdot \frac{I_n}{2},$$

ხოლო სიმაღლის ცენტრიდან A_n' საყრდნობამდე დაშორების მანძილია:

$$\frac{1}{3} I_n$$

და 2) Δadb , რომლის ფართობია:

$$M_n \cdot \frac{I_n}{2},$$

ხოლო მის სიმაღლის ცენტრიდან A_n' საყრდნობამდე დაშორების მანძილია:

$$\frac{2}{3} I_n.$$

A_n' საყრდნობის მიმართ ყველა ფიქტიურ ძალთა მომენტების ჯამს თუ ვიღებთ, გვექნება:

$$-B_n^0 I_n + F_n x_n' + M_{n-1} \cdot \frac{I_n}{2} - \frac{I_n}{3} + M_n \cdot \frac{I_n}{2} \cdot \frac{2}{3} = 0,$$

აქედან:

$$B_n^0 = F_n \cdot \frac{x_n'}{I_n} + M_{n-1} \cdot \frac{I_n}{6} + M_n \cdot \frac{I_n}{3}$$

სწორედ ასევე ორსაყრდნობზე თავისუფლად მდებარე A_{n+1}' B_{n+1}' კოკის მალზე მქმედი ტვირთით გამოწვეულ მომენტის ფართობს F_{n+1} ასოთი თუ

აღენიშნავთ (ამ შემთხვევაში იგი მრავალკუთხედიან), ხოლო მის სიმძიმის ცენტრიდან B'_{n+1} საყრდნობამდე დაშორების მანძილს კი x''_{n+1} ასოთი, ვიპოვით საყრდნობის ფიქტიურ A^0_{n+1} რეაქციას (თუ მომენტთა ჯამს ავიღებთ B'_{n+1} საყრდნობის მიმართ):

$$+ A^0_{n+1} l_{n+1} - F_{n+1} x''_{n+1} - M_n \frac{l_{n+1}}{2} - \frac{2l_{n+1}}{3} - M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{2} - \frac{l_{n+1}}{3} = 0,$$

საიდანაც:

$$A^0_{n+1} = F_{n+1} \frac{x''_{n+1}}{l_{n+1}} + M_n \frac{l_{n+1}}{3} + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{6}.$$

მაგრამ როგორც ჩვენ მიერ იყო ჩამოყალიბებული, n -ური საყრდნობის ფიქტიური საყრდნობთა რეაქციები, ორთავე მოსახლურე მალეებიდან მოსვლისას, ერთნაირი სიდიდისა აღმოჩნდნენ, თუცა მათ შებრუნებული ნიშნები აქვთ ($B''_n = -A^0_{n+1}$). ამიტომ:

$$F_n \frac{x''_n}{l_n} + M_{n-1} \frac{l_n}{6} + M_n \frac{l_n}{3} = - \left(F_{n+1} \frac{x''_{n+1}}{l_{n+1}} + M_n \frac{l_{n+1}}{3} + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{6} \right),$$

ან საყრდნობთა მომენტებიან წევრებს ტოლობის ნიშნის მარცხნივ თუ გადავიტანთ, ხოლო F_n და F_{n+1} საპომენტო ფართობებიან წევრებს კი მეორე (მარჯვენა) მხარეს, მივიღებთ:

$$\boxed{M_{n-1} l_n + 2M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = - \frac{6F_n x''_n}{l_n} - \frac{6F_{n+1} x''_{n+1}}{l_{n+1}}.}$$

უკვე კოქის ორი მოსახლურე მალის სამ საყრდნობთა მომენტის დამოკიდებულების გამომსახველი ეს განტოლება სამი მომენტის (კლავირონის) განტოლებების სახელწოდებას ატარებს.

სამი მომენტის ასეთი განტოლებების შედგენა იმდენჯერ შეიძლება, რამდენი შეუღლეური საყრდნობიც აღმოჩნდება კოქში, ე. ი. $(n-1)$ (იხ. § 32). მაშ, როცა უკვე ბოლოები არ არიან ჩანაგრებული, მაშინ სტატიურად ურკვევადი ამოცანის ამოხანისათვის ჩვენ განტოლებების საკმარის რიცხვს მივიღებთ.

§ 35. კლავირონის განტოლებების გამომსახველის ვაგალითები.

1. მოცემულია სამ საყრდნობზე მდებარე კოქი, რომელიც ნახ. 78-ზე მოყვანილი სურათის სახითაა დატვირთული. განესაზღვროთ მისი მტკიცე ზომები. ამოხსნა. შევადგინოთ სამი მომენტის განტოლება:

$$M_0 l_1 + 2M_1 (l_1 + l_2) + M_2 l_2 = - \frac{6F_1 x''_1}{l_1} - \frac{6F_2 x''_2}{l_2}.$$

აქ M_0 და M_2 მომენტები ნაპირა საყრდნობებზე მოქმედობენ. კოქის ბოლოები არ არის დამაგრებული, მაშ

$$M_0 = M_2 = 0.$$

მარცხენა მალი არ არის დატვირთული, მაშასადამე, სამომენტო ფართობი

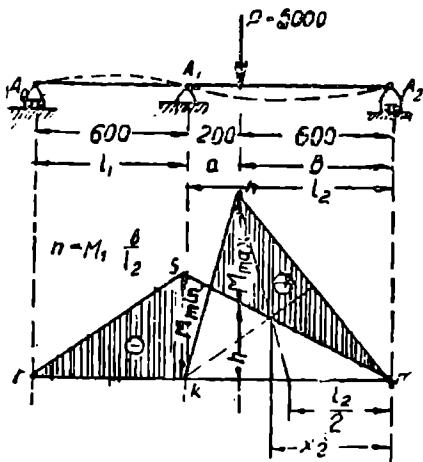
$$F_1 = 0,$$

მარჯვენა მალისათვის მომენტთა ეპიურა წარმოიღვინება Δ კმით, რომლის ფართობია:

$$F_2 = \frac{Pab}{l} \cdot \frac{l}{2} = \frac{Pab}{2} = \frac{5000 \cdot 200 \cdot 600}{2} = 300000000.$$

სიმძიმის ცენტრის x_2 კოორდინატას განსაზღვრისათვის გვაქვს:

$$x_2 = \frac{b - \frac{l_2}{2}}{3} + \frac{l_2}{2} = \frac{l_2 + b}{3}.$$



ნახ. 78.

მაშასადამე, სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$2(l_1 + l_2) M_1 = -\frac{6F_2}{l_2} \cdot \frac{(l_2 + b)}{3}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$2(600 + 800) M_1 = -\frac{6 \cdot 300000000 \cdot 1400}{800 \cdot 3},$$

საიდანაც:

$$M_1 = -375000 \text{ kg cm}.$$

$A_1 A_2$ მალზე P ძალით გამოწვეული მღუნჯი მომენტი იქნება:

$$M_P = \frac{5000 \cdot 200 \cdot 600}{800} = 750000 \text{ kg cm}.$$

აევათ მღუნჯე მომენტთა ეპიურა. ამისათვის შევნიშნოთ, რომ F_2 -ის ტოლი Δ კმით სამკუთხედის ფართობი ჩვენ დადებითად გვაქვს მიჩნეული, რადგან იგი ესაბამება მეორე მალის გამოღუნვას შეზნეკილობით ქვემოთ. საყრდნობზე (ჩამაგრების) მომენტი A_1 საყრდნობზე უარყოფითი სიდიდით მივიღეთ. A_2

და A_2 საყრდნობებზე მომენტები ნულის ტოლია. ამიტომ საყრდნობის მომენტთა ეპიურა M_1 სიმალიან Δ rsm სამკუთხედის ფართობს ჩვენ უარყოფითად ვთვლით (A_1 საყრდნობის M_1 მომენტის ნიშნის მიხედვით). ეპიურის თვალსაჩინოებისათვის, და, ორთავე ეპიურის ორდინატთა ავტომატიური შეკრების მიზნით, ორთავე სამკუთხედს პორიზონტალური ხაზის ერთმხრივ გადავზომავეთ. ეპიურიდან ვხედავთ, რომ უდიდესი დადებითი მღუნავე მომენტი P ძალის ქვეშ მოექცევა და მისი სიდიდეა:

$$M_{max} = M_P - \frac{600}{800} M_1 = 750000 - 281250 = 468750 \text{ kg cm.}$$

ამ შემთხვევაში საანგარიშო მომენტად M_{max} იქნება, რადგან იგი აბსოლუტური სიდიდით M_{min} -ზე მეტია.

როცა

$$R_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2},$$

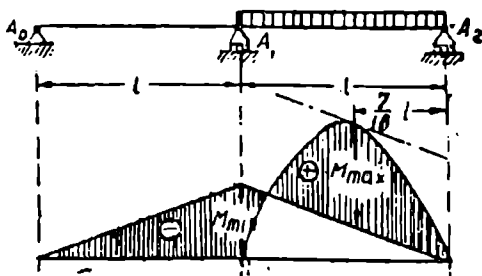
აუცილებლად უნდა შევარჩიოთ:

$$W = 468,75 \text{ cm}^3.$$

შეეჩერდებით № 28 ორტესებრ კოჭზე, რომლისთვისაც:

$$W_{28} = 491 \text{ cm}^3.$$

2. განსაზღვრეთ ნახ. 79 მოყვანილი სქემის მიხედვით და თანაბრად განრიგებული $q = 0,5 \frac{\text{ton}}{\text{mt}}$ ტვირთით დატვირთული კოჭის მტკიცე ზომები. კოჭის მალეები ერთნაირია და თითოეული მათგანი უდრის $l = 8 \text{ mt}$.



ნახ. 79.

ამოხსნა. მეორე მალისათვის მღუნავე მომენტთა ეპიურა

$$F_2 = q \frac{l^3}{8} \cdot \frac{2}{3} \quad l = \frac{q l^3}{12}$$

ფართობიანი პარაბოლით გამოისახება; მისი სიმძიმის ცენტრიდან A_2 საყრდნობამდე დაშორების მანძილია:

$$x_1 = \frac{l}{2}.$$

მაშასადამე, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ

$$F_1 = 0, M_0 = M_2 = 0,$$

მაშინ სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$M_0 \cdot l + 2M_1 \cdot 2l + M_2 \cdot l = -\frac{q l^3}{12} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{6}{l},$$

ან

$$4M_1 l = -\frac{q l^3}{4},$$

აქედან:

$$M_1 = M_{min} = -\frac{q l^2}{16}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$M_{min} = -\frac{500 \cdot 64}{16} = -2000 \text{ kg cm.}$$

მარჯვენა მალისათვის მღუნავი მომენტის გამოსახულება A_2 საყრდნობიდან ნებისმიერი x მანძილით დაშორებული კვეთის მიმართ შევადგინოთ:

$$M_x = A_2 \cdot x - q \frac{x^2}{2} + M_1 \frac{x}{l} = q \frac{l}{2} x - q \frac{x^2}{2} - q \frac{l}{16} x.$$

$\frac{q}{2}$ -ს ფრჩხილების გარეთ თუ გამოვიტანთ და შევკრებთ მსგავს წევრებს, მივიღებთ:

$$M_x = \frac{q}{2} \left(\frac{7}{8} l x - x^2 \right).$$

მაქსიმალური მომენტის მისაღებად ჰირველი $\frac{dM}{dx}$ წარმოებული გაუტოლოთ ნულს:

$$\frac{dM}{dx} = \frac{q}{2} \left(\frac{7l}{8} - 2x \right) = 0.$$

მაშასადამე, გადამკრელი ძალა ნულად იქცევა, როცა $x = \frac{7}{16} l$. აქედან მაქსიმალური მღუნავი მომენტი მალზე ტოლი იქნება:

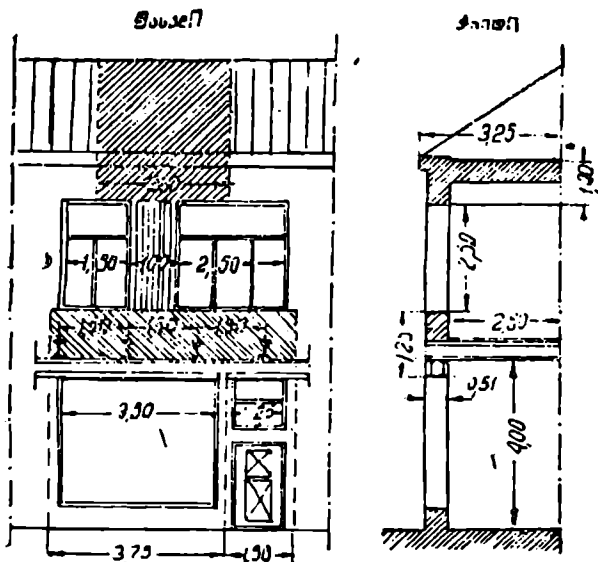
$$M_{max} = \frac{q}{2} \left(\frac{7}{8} l \cdot \frac{7}{16} l - \frac{7}{16} \cdot \frac{7}{16} l^2 \right) = q \frac{49}{2} \cdot \frac{l^2}{256} = \frac{49}{512} q l^2.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$M_{max} = \frac{49 \cdot 500 \cdot 64}{512} = 3062,5 \text{ kg mt.}$$

რკინის კოქისათვის $R_b = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ თუ ვიგულებთ, აუცილებელ წინაღობის მომენტს მივიღებთ:

$$W = \frac{3062,5 \cdot 100}{1000} = 306,25 \text{ cm}^3,$$



ნახ. 80.

ორტყეობრი კვეთის № 24 კოქის წინაღობის მომენტია:

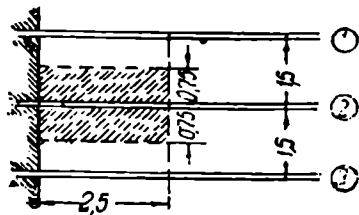
$$W = 325 \text{ cm}^3.$$

3. ნახ. 80-ზე ნაჩვენებია 2 აგურის (0,51 mt) სისქის კედლის მქონე შენობის კრილი და წინახედი. პირველი სართულის ზედა-თავზე 2 მალიანი

რკინის ორტესებრი კოქი უნდა დაიგოს: პირველი მალის სიგრძეა 3,5 mt, მეორესი კი 1,25 mt (წინა ხედიდან). გამოვიანგარიშოთ ეს კოქი.

მოცემულ ობა. წყობის 1 კუბ. მეტრ. წონაა 1600 kg, რკინის კოქებისათვის დასაშვები ქინეაა $R_s = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$; სართულთშორისი გადაფარების 1 კვად.

მეტრის წონაა 200 kg, 1 კვად. მეტრ. სასარგებლო დატვირთვაა 400 kg; სხვენის გადაფარების 1 კვად. მეტრის წონაა 250 kg; ქარის და თოვლის წნევა-სთან ერთად სახურავის ჰორიზონტალური გეგმილის 1 კვად. მეტრის წონაა 200 kg. მარცხენა მალის საანგარიშო სიგრძეა 3,75 mt, მარჯვენასი კი — 1,50 mt.



ნახ. 81.

შიგ შენობის საანგარიშო სიგანეა: 2,50 mt. სართულთშორისი გადაფარების კოქებს შორის მანძილია 1,50 mt.

ამოხსნა. საპროექტო მოცემულობებით გამოვიანგარიშოთ კოქის დატვირთვა:

ა) სართულთშორისი გადაფარების თითოეული კოქის P წნევა (ნახ. 81). გადაფარების გეგმაში თითოეულ კოქს წილად ხედება თითოეულ მხარიდან მანძილის ნახევარი. ამნაირად კოქი 2-ზე დატვირთვა საანგარიშო ფართობზე განრიგებულად უნდა ვიგულოთ (ფართობის სიდიდეა $1,5 \times 2,5 = 3,75 \text{ mt}^2$). აქედან:

$$P = 3,75 (200 + 400) = 2250 \text{ kg.}$$

ბ) მარცხენა საანგარიშო მალზე (მეორე სართულის ფანჯრების ღონემდე) მოთავსებული კედლის უბნის წონა:

$$q_1 = 1,25 \cdot 0,51 \cdot 3,75 \cdot 1600 = 3825 \text{ kg.}$$

გ) მარჯვენა საანგარიშო მალზე (მეორე სართულის ფანჯრების ღონემდე) მოთავსებული კედლის უბნის წონა:

$$q_1^1 = 1,25 \cdot 0,51 \cdot 1,50 \cdot 1600 = 1530 \text{ kg.}$$

დ) ფანჯრებს შორის მოთავსებული სვეტის წონა:

$$q_2 = 1,00 \cdot 0,51 \cdot 2,50 \cdot 1600 = 2040 \text{ kg.}$$

ე) მეორე სართულის ფანჯრების ზემოდ მოთავსებული კედლის უბნის წონა:

$$q_3 = 3,00 \cdot 1,00 \cdot 0,51 \cdot 1600 = 2448 \text{ kg.}$$

3) სხვენის გადაფარების წონა:

$$q_4 = 2,50 \cdot 3,00 \cdot 250 = 1875 \text{ kg.}$$

ზ) სახურავის, ზენდაფარის და ღრობებითი დატვირთვის წონა:

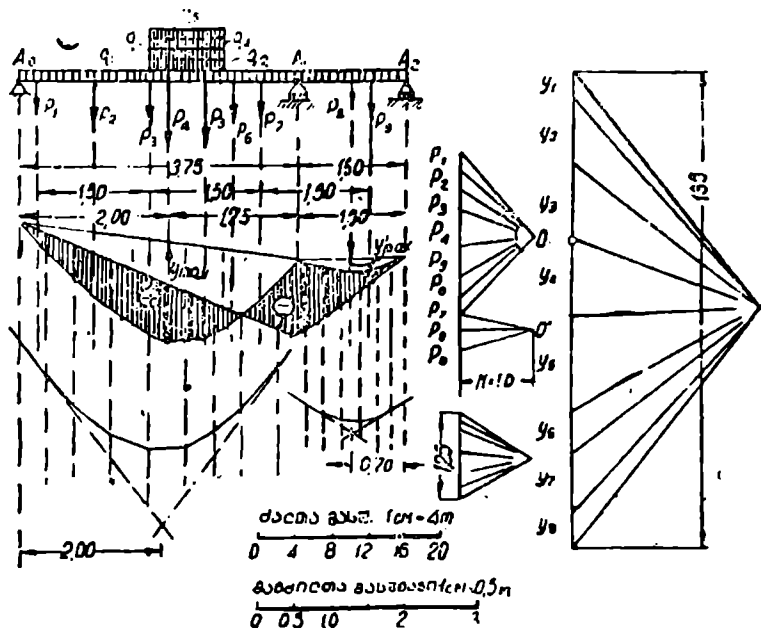
$$q_5 = 3,25 \cdot 3,00 \cdot 200 = 1950 \text{ kg.}$$

სამი მომენტის განტოლების ამოსახსნელად ჩვენ აუცილებლად უნდა გვექონდეს F_1, F_2, x_1' და x_2'' სიდიდეები. ამ სიდიდეების პოენისათვის ამოცანა გრაფიკულად უნდა ამოვხსნათ. ძალთა მასშტაბად შევარჩევთ $1 \text{ cm} = 4000 \text{ kg}$, კოქის სიგრძისა და საპოლუსო მანძილისათვის $1 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}^1$). შევადგინოთ კოქზე განრიგებული დატვირთვის სქემა (ნახ. 82). შთაწერტული ძალებია:

$$P_1 = P_2 = P_7 = P_8 = 2250 \text{ kg.}$$

q_1 დატვირთვა შევცვალოთ ორი შთაწერტული ტვირთით:

$$P_2 = \frac{2}{3,75} \cdot q_1 = 2040 \text{ kg} \text{ და } P_6 = q_1 - P_2 = 1785 \text{ kg.}$$



ნახ. 82.

q_2, q_3, q_4 და q_5 დატვირთვები შევცვალოთ შთაწერტული ტვირთებით:

$$P_5 = P_6 = \frac{1}{2} (q_2 + q_3 + q_4) = 4156,5 \text{ kg.}$$

ტვირთი

$$P_8 = q_1' = 1530 \text{ kg.}$$

კოქი შედგენილ კოქად რომ გამოგვეთვალა, მაშინ თოქის მრავალკუთხედის აგებით მარცხენა მალზე მივიღებდით:

¹⁾ წიგნში ნახ. S2 შემცირებულია.

$$M_{max} = y_{max} \cdot H = 2,80 \cdot 4000 \cdot 1,00 = 11200 \text{ kg mt.}$$

მარჯვენა მალისათვის კი:

$$M'_{max} = y'_{max} \cdot H = 0,30 \cdot 4000 \cdot 1,00 = 1200 \text{ kg mt.}$$

სამომენტო F_m ფართობის გამოსანგარიშებლად, შემდგენაირად ვიქცევით: F_m ფართობს ისეთ ტრაპეციებად დაყოფთ, რომელთა სიმძიმის ცენტრები პრაქტიკულ მიზნებისათვის საკმარისი სიზუსტით მათ შუა ადგილებში იქნებიან მოთავსებულნი.

ნაპირა ფართობები სამკუთხედებად წარმოიდგინებინ, რომელთა სიმძიმის ცენტრები ფუძიდან სიმაღლის $\frac{1}{3}$ მანძილზე იქნებიან მოთავსებულნი.

ფართობთა სიგანეს მარცხენა მალისათვის $a = 0,50 \text{ mt}$ ტოლად შევარჩევთ, მარჯვენასათვის კი: $a' = 0,25 \text{ mt}$.
მაშინ:

$$F_m = \Sigma a y H = a H \Sigma y.$$

მარცხენა მალის მეექვსე ფართობი $a_6 = 0,25 \text{ mt}$ სიგანის მიიღება, და არა $0,50 \text{ mt}$ -სა. ამიტომ ამოხსნებში a რომ მუდმივად შევინარჩუნოთ, y_6 -ის ნაცვლად მის ნახევარს ავიღებთ.

მარცხენა მალისათვის მიმდევრობით ყველა y -ს თუ გადავზომავთ, ვიპოვიან:

$$F_1 = a H \Sigma y = 0,50 \cdot 1,0 \cdot 13,5 \cdot 4000 = 27000 \text{ kg mt}^2.$$

ასეთივე მოქმედებით მარჯვენა მალისათვის მივიღებთ:

$$F_2 = a H \Sigma y = 0,25 \cdot 1,00 \cdot 1,25 \cdot 4000 = 1250 \text{ kg mt}^2.$$

y_1 ძალებზე მეორე თოკის მრავალკუთხედის აგებით ვიპოვიან მომენტთა ეპიურის ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან A_0 საყრდნობამდე დაშორების მანძილს.

$$x_1' = 2,00 \text{ mt,}$$

ასევე მეორე მალისათვის A_2 საყრდნობამდე დაშორება იქნება:

$$x_2'' = 0,70 \text{ mt.}$$

ესლა დაწეროთ სამი მომენტის განტოლება:

$$2 M_1 (l_1 + l_2) = -6 \frac{F_1 x_1'}{l_1} - 6 \frac{F_2 x_2''}{l_2},$$

ან რიცხვების ჩასმით მივიღებთ:

$$2 M_1 (3,75 + 1,50) = -6 \frac{27000 \cdot 2}{3,75} - 6 \frac{1250 \cdot 0,7}{1,50},$$

ანუ

$$10,5 M_1 = -89900,$$

საიდანაც:

$$M_1 = -8562 \text{ kg mt.}$$

საყრდნობზე მასშტაბში თუ გადავზომავთ

$$-M_1 = \frac{8562}{4000} = 2,14 \text{ cm,}$$

დავწმენდებით, რომ საყრდნობის მომენტი, როგორც უდიდესი აბსოლუტური სიდიდით, საშიში მომენტია მოცემულ დატვირთვისათვის. როცა დასაშვები

ბი კინევა $R_k = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, წინაღობის მომენტი იქნება:

$$W = \frac{8562 \cdot 100}{1200} = 713,5 \text{ cm}^3.$$

ტაბულის მიხედვით შევარჩევთ ორ № 26 პროფილიან კოქს, რომლებისთვისაც:

$$2 W_{26} = 403 \cdot 2 = 806 \text{ cm}^3.$$

კითხვები და ამოცანები თვითნაგავიანათვის.

1. შუალედური საყრდნობი როგორ შემთხვევებში იჩენს სასარგებლო გავლენას კოქსის მუშაობაზე?

2. როგორ ვიპოვოთ გრაფიკულად M_{max} ნახ. 79 ზე წარმოდგენილ კოქსისათვის, თუ მღუნავ მომენტთა ეპიურა უკვე მოცემულია?

3. როგორი პროფილს ორ საყრდნობზე მდებარე კოქები უნდა აგველო, რომ ნახ. 82-ზე წარმოდგენილი კოქი გაგვეკრა შუა საყრდნობზე? რა შემთხვევაში დაიხარჯება მეტი მასალა: გაკრილ კოქის შემთხვევაში, თუ უკრი კოქის შემთხვევაში?

4. ექვს მალიან კოქის ამოსახსნელად კლაპეირონის რამდენი განტოლებაა საჭირო?

5. $l_1 = l_2 = l$ შემთხვევაში თანაბრად დატვირთეთ ორთავე მალი და შემდეგ ამოხსენით ამოცანა (ნახ. 79).

§ 36. მღუნავი მომენტის ეპიურის აგება უკრი კოქის ნაგავისათვის.

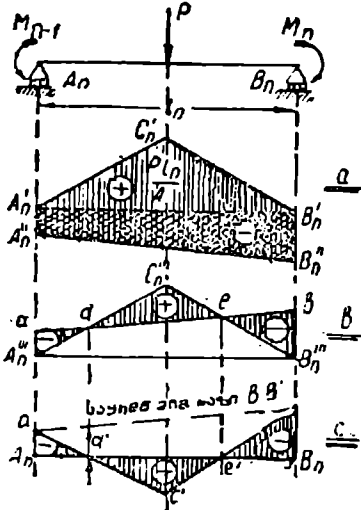
დაუკვირდეთ მღუნავი მომენტის ეპიურის აგებას უკრი კოქის რომელიმე მალისათვის. მაგალითისათვის ვიგულისხმობთ, რომ ეს მალი შუაში შთაწერთული P ძალითაა დატვირთული (ნახ. 83).

მრავალმალისანი კოქის n-ური მალის ეპიურა ორ ნაწილისაგან შესდგება:

1) გარეძალების ეპიურისაგან (როგორც ერთმალისანი კოქის შემთხვევაში),

2) შემოკვევი M_{n-1} და M_n მომენტების მოქმედების ქვეშ მყოფი ერთმანეთიან კოქის მალისაგან.

ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის პრინციპის მიხედვით ჩვენ დავსკვნით, რომ უკრი კოქის I_n მალის მომენტთა საერთო ეპიურას მივიღებთ, თუ კოქის თითოეულ კვეთში ვიპოვიოთ ორთავე ეპიურის ორდინატთა ჯამს (ნახ 83, a).



ნახ. 83.

პირველი ეპიურა უდიდესი $\frac{P l_n}{4}$

ორდინატთა $A''_n C''_n B''_n$ სამკუთხედით წარმოიღვინება. რადგან P ძალა კოქს შეზნექილობით ზემოთ შეღუნავს, ამიტომ ეპიურის ორდინატები დადებითები იქნებიან, და, მათ ნულოვან $A''_n B''_n$ ხაზს ზემოდ გადავზომავთ.

მეორე ეპიურა $A''_n A''_n = M_{n-1}$ და $B''_n B''_n = M_n$ ფუძეებიანი $A''_n B''_n B''_n A''_n$ ტრაპეციით წარმოიღვინება.

ამ ეპიურების აგების დროს ორთავე შემთხვევაში ერთნაირ ნიშნთან ორდინატებს თუ მივიღებთ, მაშინ სასურველია მათი ნულოვან ხაზიდან სხვადასხვა მხრივ გადავზომვა, რადგან ამ შემთხვევაში ორდინატები ავტომატიურად

იკრიბებიან. იმ შემთხვევაში, როცა ორდინატებს სხვადასხვა ნიშნები აქვთ, ნახაზზე მათი გეომეტრიული ჯამის მისაღებათ, ორთავე ორდინატა ნულოვანი $A'''_n B'''_n$ ხაზის ერთმხარეს უნდა იქნეს გადავზომილი (ნახ. 83, b).

ამნაირად, მომენტების ავტომატიურ გამოთვლისას გადავაკეთოთ ეს ეპიურები, რისთვისაც როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ორდინატები ჰორიზონტალის ერთმხარეს გადავზომოთ (ნახ. 83, b). მაშინ ნულოვან ხაზად ab სწორხაზი იქნება; ჩვენ დადებითი მომენტები ამ ხაზიდან აღმართულ შეეულზე ზემოდ უნდა გადავზომოთ, უარყოფითები კი შეეულზე ქვემოდ მალის d წერტილზე გამავალი შეეულის მარცხნივ და e წერტილზე გამავალი შეეულის მარჯვნივ მიღებული უარყოფითი ორდინატები დადებითებზე მეტი აღმოჩნდნენ. მაშასადამე, ეპიურის ის ნაწილი, რომელიც გარე ძალთა მომენტების $\Delta A'''_n C'''_n B'''_n$ ეპიურის ზღვრებს შორდება, უარყოფითი ორდინატებიანი ყოფილა.

ეს ეპიურა ჰორიზონტალურ ნულოვან ხაზზე რომ იქნეს დაყვანილი, ამისათვის შემდგენიარად უნდა მოვიქცეთ:

$$A_n a' = M_{n-1} \text{ და } B_n b' = M_n$$

სიდიდეები მოვზომოთ, რითაც მივიღებთ საყრდნობთა მომენტების $a' b'$ ხაზს (ნახ. 83, c). მაშინ შეეულზე ქვემოთ თუ გადავზომავთ გარეძალთა ეპიურის

გამოანგარიშებულ დადებით ორდინატებს; მივიღებთ $a' b' c'$ ხაზს, რომელიც საზღვრავს უკრი კოქის n -ური მალის ეპიურის ფართობს.

ქვედა ნულოვანი $A_n B_n$ ჰორიზონტალური ხაზის აგების დროს მიღებული ორდინატები $d' e'$ უბანზე დადებითი იქნებიან, ნულოვანი ხაზის ზემოდ კი $A_n d'$ და $e' B_n$ უბანზე უარყოფითები. ცხადია, რომ კოქი შთაწერტული P დატვირთვის ნაცვლად სხვაგვარი სახის ტვირთითაც რომ იქმნეს დატვირთული, მაშინ ანალოგიურ მსჯელობას მივმართავდით და იმავე ამოხსნას მივიღებდით, რის დროსაც ერთმალთან კოქის ეპიურა, მასზე გარეძალეების ქმედების დროს, $\Delta A_n' C_n' B_n'$ სამკუთხედის ნაცვლად რაიმე სხვა სახეს მიიღებდა (მაგალითად $q \frac{kg}{mt}$ ინტენსიურობის თანაბარ დატვირთვის დროს, ჩვენ $\frac{qL^2}{8}$ ისრიან პარაბოლას მივიღებთ).

ამნაირად, უკრი კოქის მომენტთა ეპიურის ასაგებად, ყველა საყრდნობთა მომენტების განსაზღვრის შემდეგ, ავაგებთ ტეხილ ხაზს, ე. წ. საყრდნობთა მომენტების ხაზს, რის დროსაც უარყოფითი ორდინატები ჰორიზონტალური ლერძის ზემოთ გადაიზომება. შემდეგ შეგვიძლია ორგზით ვიმსჯელოთ:

ა) ნულოვან ხაზათ მივიღებთ საყრდნობთა მომენტების ხაზს; მაშინ თითოეულ მალისათვის მისსავე ჰორიზონტალურ ლერძზე ავაგებთ გარეძალთა (ტვირთთა) მომენტების ეპიურას (როგორც ერთმალთან კოქისათვის) და დადებით ორდინატებს გადავზომავთ ჰორიზონტალიდან ზემოდ (ნახ. 83, b);

ბ) ნულოვან ხაზად მიჩნეულია ჰორიზონტალური ლერძი; მაშინ ერთმალთან კოქზე მოქმედი გარეტვირთების მომენტთა ეპიურების დადებით ორდინატებს საყრდნობთა მომენტების ხაზის ქვეშ გადავზომავთ (ნახ. 83, c).

პირველ მიდგომის დროს დადებითი ორდინატები ნულოვანი ხაზის ზემოდ გადაიზომება, მეორე მიდგომის დროს კი—ამ ხაზის ქვეშ.

მომენტთა ეპიურის აგების შესწავლის შემდეგ, ჩვენ კოქის ნებისმიერ კვეთში შევძლებთ მლუნავი მომენტის განსაზღვრას, და მაშასადამე, ვიპოვით საანგარიშო M_{max} მომენტსაც.

§ 37. მომენტის ანალიზური გამოსახულება ნებისმიერ კვეთში.

იმ შემთხვევაში, როცა ნებისმიერ კვეთის მიმართ მომენტის განსაზღვრა მომენტთა ეპიურის აგებით არ არის საკმარისი დასახული მიზნების განსახორციელებლად, მაშინ მივმართავთ ანალიზურ გზაზე, ე. ი. ფორმულით გამოანგარიშებას, რომლის ამოხსნაზედაც ეხლავე გადავდივართ (ნახ. 84).

გამოვეყთ უკრი კოქის n -ური მალი და, სხვა მალეების უკუგდებით, მათი ქმედება შევცვალოთ M_{n-1} და M_n მომენტებით. ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის პრინციპის გამოყენებით დაეასკენით, რომ A_{n-1} საყრდნობიდან x მანძილით დაშორებული კვეთის მიმართ აღებული მომენტთა ეპიურის ორდინატა შემდეგი ორი შესაკრების ჯამს წარმოადგენს:

1) ერთმალთან კოქზე მოქმედი გარეძალეების მომენტთა ეპიურის ორდინატებისა და,

2) ერთმალთან კოჭზე M_{n-1} და M_n , საყრდნობთა მომენტების ქმედებით ვამოწვეულ მომენტთა ეპიურების ორდინატებისაგან, ე. ი.

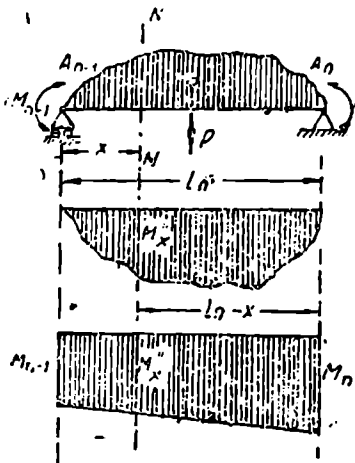
$$M_x = M'_x + M''_x.$$

აქ M'_x —წარმოადგენს ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე და უჭრი კოჭის n -ურ მალივით დატვირთულ კოჭის x კვეთის მღუნავი მომენტს. M''_x -ი ერთმალთან კოჭის მღუნავი მომენტი იმავე კვეთში, რომელიც გამოწვეულია მოსაზღვრე მალეების ქმედებით, ტრაპეციის წესით უდრის:

$$M''_x = M_{n-1} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} \cdot x.$$

მაშასადამე:

$$M_x = M'_x + M_{n-1} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} \cdot x$$



ნახ. 84.

უჭრი კოჭის ნებისმიერი კვეთის მიმართ მღუნავი მომენტის მისაღებათ, თავდაპირველად მღუნავი მომენტი უნდა გამოვიანგარიშოთ ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე კოჭის იმავე კვეთის მიმართ, შემდეგ კლაპეირონის განტოლების გამოყენებით ვანგარიშობთ ჩანაგრების მომენტებს M_{n-1} და M_n -ს და მიღებულ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ M_x -ის გამოსახულებაში.

§ 38. ნახისმიერი კვეთის მიმართ ალებული ბანივი (ბადამჟრელი) ძალის საანგარიშო ფორმულა. საყრდნობთა რეაქციების განსაზღვრა.

x მანძილით დაშორებული კვეთის მიმართ ალებული მღუნავი მომენტის x მანძილით წარმოებული ტოლია ამავე გადაშრელი ძალისა კვეთში (შედღი-რის თეორემა). ამ ცნებით ვისარგებლოთ და იგი გამოვიყენოთ წინა პარაგრაფ-ში M_{n-1} -ისათვის ამოხსნილი ფორმულის გასაწარმოებლად x -ით:

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = \frac{dM'_x}{dx} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}.$$

$\frac{dM'_x}{dx}$ წარმოებული წარმოადგენს: უჭრი კოჭის n -ური მალივით დატვირთულ ერთმალთან კოჭის გადაშრელ ძალას NN კვეთში, ე. ი.

$$\frac{dM'_x}{dx} = Q'_x$$

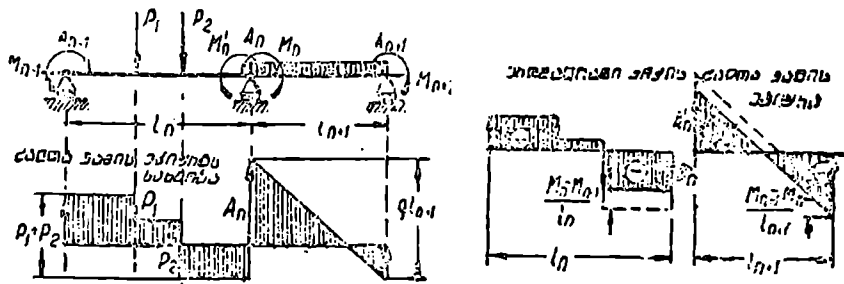
მაშინ:

$$Q_x = Q'_x + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}.$$

მიღებული განტოლების მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს მთელ მალისათვის, რომლითაც ხასიათდება მოშორებული მალების გავლენა განსახილავი მალის გადაშვრელ ძალაზე ნებისმიერ კვეთში. ეს იმას ნიშნავს, რომ Q_x ეპიურის ორდინატები Q'_x ეპიურის ორდინატებისაგან რაიმე მუდმივი სიდიდით განსხვავდება:

$$Q''_x = \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} = \text{const.}$$

ეხლა n -ური საყრდნობის A_n -ური რეაქციის სიდიდე განესაზღვროთ (ნახ. 85). ამისათვის გამოვიყუთ უჭრი კოქის ორი მოსაზღვრე მალი l_n და l_{n+1} . ამ მოსაზღვრე მალეებისათვის ავავთოთ ძალთა ჯამის ბაზის ეპიურა.



ნახ. 85.

მოცემული დატვირთვის დროს l_n მალის ძალთა ჯამის ეპიურა საფეხურებიანი ხაზის სახეს მიიღებს, რაცაგან ამ მალზე მოდებულია შთაწერტული ტვირთები. თანაბრად განრიგებული ტვირთით დატვირთული l_{n+1} მალის გადაშვრელი ძალდონე სწორხაზის კანონით იცვლება. n -ურ საყრდნობზე გადაშვრელი ძალის სიდიდის ცვლილება იმის გამო ხდება, რომ ამ წერტილზე მოდებულია A_n საყრდნობის რეაქცია. სხეანაირად რომ ვთქვათ, გადაშვრელი $Q_{x=l_n}^{(n)}$ ძალდონეს ენდა დაუმატოთ n -ური მალის ბოლოში წარმოშობილი A_n საყრდნობის რეაქცია და მივიღებთ $Q_{x=0}^{(n+1)}$ ძალდონეს $(n+1)$ მალის დასაწყისში. ამნაირად:

$$Q_{x=l_n}^{(n)} + A_n = Q_{x=0}^{(n+1)}.$$

აქედან:

$$A_n = Q_{x=0}^{(n+1)} - Q_{x=l_n}^{(n)}$$

გამოვიყენოთ ნებისმიერ x კვეთის გადამკრელი ძალბონესათვის ჩამოყალიბებული ფორმულა. l_n მალისათვის ქვაქვს:

$$Q_{x=n}^{(n)} = -B'_n + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}$$

აქ B'_n წარმოადგენს ერთმალისანი (l_n მალისანი) კოქის საყრდნობის რეაქციას (რომელიც შეეუღალ ზემოდ მიემართება). ასევე l_{n+1} მალისათვის მივიღებთ:

$$Q_{x=0}^{(n+1)} = +A'_{n+1} + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}}$$

A_n -ის ფორმულაში $Q_{x=l_n}^{(n)}$ და $Q_{x=0}^{(n+1)}$ მნიშვნელობათა ჩასმით, მივიღებთ:

$$A_n = A'_{n+1} + B'_n + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}} - \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n},$$

ან სხვაგვარი სახით:

$$A_n = B'_n + A'_{n+1} + \frac{M_{n-1}}{l_n} + \frac{M_{n+1}}{l_{n+1}} - \frac{M_n}{l_n} - \frac{M_n}{l_{n+1}}.$$

ამ ამოხსნის გამოყენებით დაუკვირდეთ თუ როგორ სახეს მიიღებს ამოხსნილი განტოლება უკრი კოქის ნაპირა საყრდნობებისათვის, თუ მისი ბოლოები არ იქნება ჩამაგრებული.

პირველ საყრდნობისათვის, რომელსაც ჩვენ შუა საყრდნობის დამაგვარათ განვიხილავთ, ჩვენ უნდა ვიგულისხმოთ, რომ l_n მალი არ არსებობს, l_{n+1} მალი კი რიგით პირველია განსახილველ კოქისათვის.

ამ შემთხვევაში:

$$B'_n = 0; M_{n-1} = 0; M_n = 0,$$

მაშ:

$$A_0 = A'_1 + \frac{M_1}{l_1}.$$

როცა კოქს აქვს k საყრდნობი, ე. ი. $(k-1)$ მალი, მაშინ l_{k-1} იქნება უკანასკნელი მალი, l_k კი არ არსებობს. უკანასკნელი საყრდნობის A_k რეაქცია ($A'_{n+1} = 0; M_n = 0; M_{n+1} = 0$) ტოლი იქნება:

$$A_k = B'_k + \frac{M_{k-1}}{l_k}.$$

§ 39. მახალითაში უკრი კოქის ეპიურების აგებაზე.

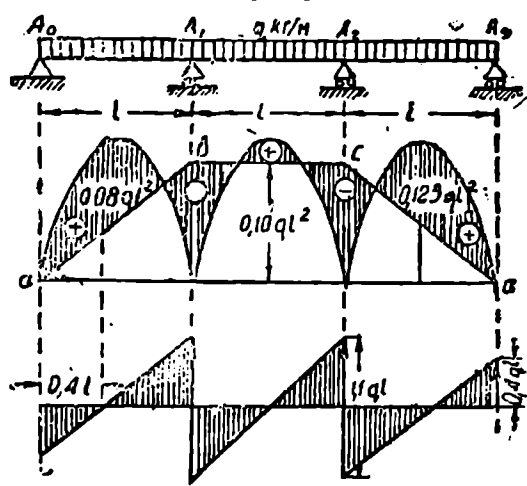
1. განვსაზღვროთ ერთნაირი l მალისანი და $q \frac{kg}{mt}$ თანაბრად დატვირთული სამსახსრი კოქის სიმტკიცის პირობები (ნახ. 86).

ამოხსნა. რაღვან უკრი კოკის ბოლოები დაუმადრებელია, ამიტომ:

$$M_0 = M_3 = 0.$$

გარდა ამისა სიმეტრიის გამო

$$M_1 = M_2$$



ნახ. 86.

ყველა მალეებისათვის:

$$F = \frac{ql^2}{8} \cdot l \cdot \frac{2}{3} = \frac{ql^3}{12},$$

ამიტომ სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს შიილვბს:

$$2 M_1 (l + l) + M_2 l = -2 \cdot 6 \frac{ql^3}{12} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{l} = -\frac{ql^3}{2},$$

საიდანაც:

$$4 M_1 l + M_2 l = -\frac{ql^3}{2},$$

ბოლო რადგან:

$$M_1 = M_2,$$

ამიტომ

$$5 M_1 l = -\frac{ql^3}{2},$$

საიდანაც

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql^2}{10}.$$

ავაგოთ მომენტთა ეპიურა. ამისათვის თითოეულ მალზე ავაგოთ ისრიანი

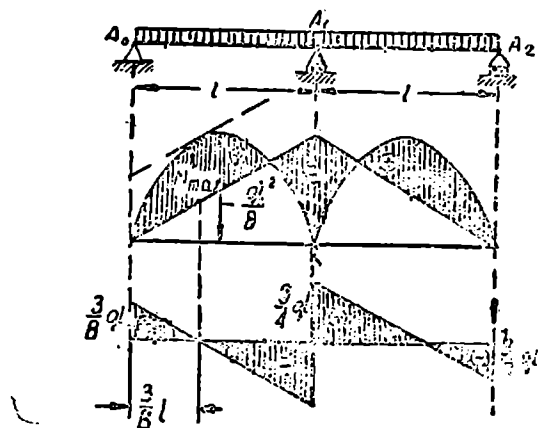
$$\frac{ql^2}{8} = 0,125 ql^2$$

პარაბოლა, შემდეგ კი A_1 და A_2 საყრდნობებზე $0,10 ql^2$ -ის გადაზომვით ავაგოთ საყრდნობთა მომენტების $abcd$ ხაზი. ამ შემთხვევაში საყრდნობის მომენტთა ხაზი ნულოვანი ხაზი იქნება. გადამკრულ ძალთა ეპიურის ასაგებათ განვსაზღვროთ საყრდნობთა რეაქციები:

$$A_0 = A_2 = A'_1 + \frac{M_1}{l} = \frac{ql}{2} + \left(-\frac{ql}{10} \right) = 0,4 ql;$$

$$A_1 = A_2 = (3 ql - 2 \cdot 0,4 ql) : 2 = 1,1 ql.$$

საანგარიშო მომენტი M_1 (ან M_2) საყრდნობის მომენტი იქნება.



ნახ. 87.

2. იპოვეთ ორმალიანი კოქის საყრდნობების რეაქციები, თუ იგი ორი ტოლი სიგრძის მალისაგან შესდგება და თანაბრათაა დატვირთული (ნახ. 87). ამოხსნა. ნაპირა რეაქციები სიმეტრიის გამო ერთნაირებია:

$$A_0 = A_2 = \frac{ql}{2} + \frac{M_1}{l}.$$

სამი მომენტის განტოლება მოგვცემს:

$$2M_1 \cdot 2l = -2 \cdot 6 \cdot \frac{ql^3}{8} \cdot \frac{2}{3} l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{l} = -\frac{ql^3}{2},$$

აქედან:

$$M_1 = -\frac{ql^3}{8}.$$

მაშასადამე,

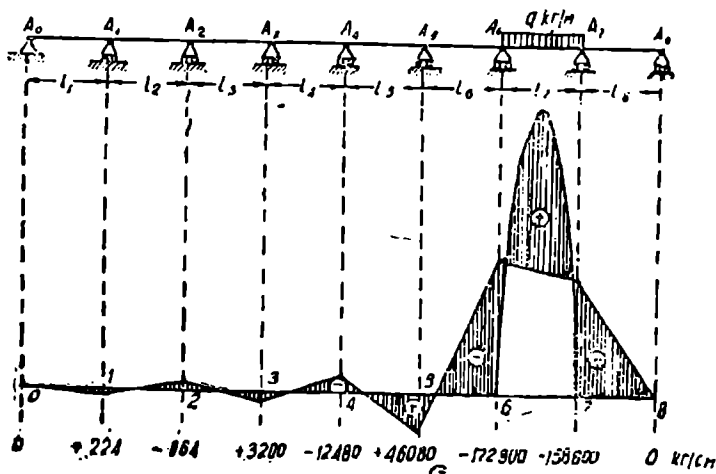
$$A_0 = A_2 = \frac{ql}{2} + \left(-\frac{ql^2}{8 \cdot l} \right) = \frac{3}{8} ql.$$

შუა საყრდნობის რეაქცია:

$$A_1 = 2ql - 2 \cdot \frac{3}{8} ql = \frac{5}{4} ql.$$

§ 40. ერთი მალის დატვირთვის გავლენა სხვა მალეების ძალბრუნებაზე.

ვთქვათ მოცემულია რეაქტიანი კოჭი ერთნაირი l მალეებით. დატვირთვა თანაბრათაა განრიგებული და მისი სიმძაფრეა $q \frac{kg}{mt}$ უნდა ავაგოთ მდუნევი მომენტთა ეპიურა (ნახ. 88).



ნახ. 88.

მარცხენა ეჭვს მალისათვის $F_m = 0$, ამიტომ სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$M_{n-1} l_n + 2(l_n + l_{n+1}) M_n + M_{n+1} l_{n+1} = 0.$$

ამ განტოლების ყველა წევრები გავყოთ $M_n \cdot l_{n+1}$ -ზე და მესამე წევრი გადავიტანოთ ტოლობის ნიშნის მარჯვნივ:

$$-\frac{M_{n+1}}{M_n} = \frac{M_{n-1}}{M_n} \frac{l_n}{l_{n+1}} + 2 \frac{l_n + l_{n+1}}{l_{n+1}} = 2 + \frac{l_n}{l_{n+1}} \left(2 + \frac{M_{n-1}}{M_n} \right).$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$-\frac{M_{n+1}}{M_n} = k_{n+1} \text{ და } -\frac{M_n}{M_{n-1}} = k_n,$$

მაშინ

$$\frac{M_{n-1}}{M_n} = -\frac{1}{k_n}.$$

მივიღებთ ფორმულას:

$$k_{n+1} = 2 + \frac{l_n}{l_{n+1}} \left(2 - \frac{1}{k_n} \right).$$

ჩვენ კერძო შემთხვევაში, როცა მალეები ტოლებია

$$l_n = l_{n+1},$$

ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$k_{n+1} = 4 - \frac{1}{k_n}.$$

რადგან კოქის ბოლოები არ არის დამაგრებული, ამიტომ

$$M_0 = 0$$

და მაშასადამე:

$$k_1 = \infty; k_2 = 4; k_3 = 3,75; k_4 = 3,733; k_5 = 3,732; k_6 = 3,732;$$

$$\frac{1}{k_1} = 0; \frac{1}{k_2} = 0,25; \frac{1}{k_3} = 0,267; \frac{1}{k_4} = 0,268; \frac{1}{k_5} = 0,268; \frac{1}{k_6} = 0,268.$$

ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ საყრდნობის მომენტები. დატვირთულ მალისათვის (ნახ. 88) საშემოქმედო ფართობი იქნება:

$$F_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{q l^2}{8} \cdot l = \frac{q l^3}{12}.$$

მერვე მალისათვის ნაპირა საყრდნობის მომენტი

$$M_8 = 0.$$

შე-7-ე და შე-8-ე მალეებისათვის სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$M_4 l + 2 \cdot 2 \cdot l \cdot M_4 = -6 F_m \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{l} = -3 F_m = -\frac{q l^3}{4},$$

საიდანაც:

$$M_6 + 4 M_7 = -\frac{q l^2}{4}.$$

მე-6-ე და მე-7-ე მალეებისათვის სამი მომენტის განტოლება იქნება:

$$M_6 l + 4 M_7 l = -\frac{q l^3}{4} \quad 1),$$

მაგრამ, რადგან

$$k_c = -\frac{M_6}{M_6}, \text{ ამიტომ } M_6 = -\frac{1}{k_c} M_6 = -0,268 M_6.$$

შაშ M_6 -ის ნაცვლად მის $(-0,268 M_6)$ მნიშვნელობას თუ ჩავსვამთ, ასეთ განტოლებას მივიღებთ:

$$3,732 M_6 + M_7 = -\frac{q l^2}{4},$$

რომელიც $M_6 + 4 M_7 = -\frac{q l^2}{4}$ განტოლებასთან ერთად გამოიანგარიშებს M_6 და M_7 მნიშვნელობებს:

$$14,928 M_6 + 4 M_7 = -q l^2$$

$$M_6 + 4 M_7 = -\frac{q l^2}{4}$$

$$\frac{13,928 M_6}{13,928 M_6} = -0,75 q l^2.$$

აქედან:

$$M_6 = -0,054 q l^2.$$

მეორე განტოლებიდან მივიღებთ:

$$4 M_7 = q l^2 (0,054 - 0,25),$$

საიდანაც:

$$M_7 = -0,049 q l^2.$$

როგორც ზემოთ უკვე განვსაზღვრეთ:

$$M_5 = -0,268 M_6 = 0,0145 q l^2$$

შემდეგ ვსარგებლობთ გამოანგარიშებული დამხმარე ფორმულით:

$$M_4 = -0,268 M_5 = -0,00390 q l^2;$$

$$M_3 = -0,268 M_4 = +0,00100 q l^2;$$

$$M_2 = -0,267 M_3 = -0,00027 q l^2;$$

$$M_1 = -0,25 M_2 = +0,00007 q l^2;$$

$$M_0 = 0.$$

1) რადგან მე-7-ე მალზე თანაბარი ტვირთია q kg/mt ამიტომ,

$$-\frac{6 F_{n+1} \cdot x_{n+1}}{l_{n+1}} = -\frac{q l^2}{4}.$$

საყრდნობის მომენტთა ხაზის აგების დროს ჩვენ დადებითი ორდინატები გადავზომეთ ნულოვან ხაზის ქვეშ, უარყოფითები კი ზემოდ. ამ დროს ჩვენ ვამჩნევთ, რომ დაუტვირთავი მალეების საყრდნობთა მომენტები იცვლიან ნიშნებს (თანამიმდევრობით). აქედან გამომდინარეობს, რომ დრეკადი ხაზი ტალღისებური უნდა იყოს და მლუნავ მომენტთა სიდიდის მიხედვით — მჭრობადი. მე-7-ე მალის დატვირთვის მლუნავ მომენტთა ეპიურის ავტომატიური შეკრების მიზნით, ჩვენ დადებითი მომენტები მე-7-ე მალზე ქვემოთ კი არ გადავზომეთ, არამედ ზემოდ.

რიცხვითი მაგალითი.

მალეების სიგრძეა: $l=8 \text{ mt}$; დატვირთვაა: $q=0,5 \frac{\text{ton}}{\text{mt}}$

$ql^2=500 \cdot 8 \cdot 800=3200000 \text{ kg cm}$.

$M_0=M_8=0$;

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| $M_1=+0,00007 \cdot 3200000=$ | $+224 \text{ kg cm}$ |
| $M_2=-0,00027 \cdot 3200000=$ | -864 kg cm |
| $M_3=+0,0010 \cdot 3200000=$ | $+3200 \text{ kg cm}$ |
| $M_4=-0,0039 \cdot 3200000=$ | -12480 kg cm |
| $M_5=+0,0144 \cdot 3200000=$ | $+46080 \text{ kg cm}$ |
| $M_6=-0,054 \cdot 3200000=$ | -172800 kg cm |
| $M_7=-0,049 \cdot 3200000=$ | -156800 kg cm |

რიცხვითი მაგალითიდან ჩანს, რომ მეზობელ მალეებზე დატვირთვის გავლენა სწრაფად მცირდება და განსახილველ მალიდან უკვე მეოთხე მალზე იგრძობა მცირეა. ამიტომ ნაშენთა ანგარიშის პრაქტიკაში მეზობელ სამ მალის იქნეთ დატვირთვის გავლენას სრულიად უყურადღებოთ სტოვებენ.

მრავალმალისანი უკერი კოჭების ანგარიში ძალზე მომქანცავია, ამიტომ სხვადასხვა სახის დატვირთვისა და მალეების სიგრძეთა სხვადასხვა თანაფარდობისათვის შედგენილია ტაბულები, რომლებშიც ნაჩვენებია ტვირთის გავლენა შემდეგი მალეების ღუნვაზე (იხ. თანდართული მენუშის ტაბულები).

§41. ხუთმალისანი კოჭის ანგარიშის მაგალითი.

1. ავავთ ნახ. 89 წარმოდგენილი კოჭის დატვირთვის სქემისათვის მლუნავ მომენტთა ეპიურა.

ამოხსნა. ნაპირა საყრდნობებისათვის:

$M_0=M_5=0$.

სიმეტრიის გამო

$M_1=M_4$ და $M_2=M_3$.

ნაპირა მალეებისათვის სამი მომენტის განტოლება ასეთი სახისა იქნება:

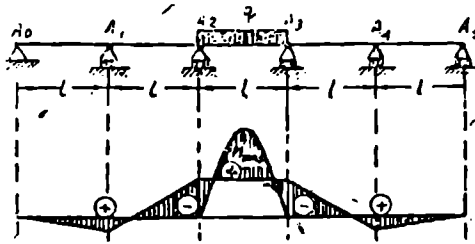
$M_0 + 2 \cdot 2l M_1 + M_2 l = 0$,

საიდანაც

$$M_1 = -\frac{1}{4} M_2,$$

შუა მალეებისათვის კი:

$$M_1 l + 4 M_2 l + M_3 l = -\frac{q l^3}{4}.$$



ნახ. 69.

აქედან:

$$M_2 \left(-\frac{1}{4} + 4 + 1 \right) = -\frac{q l^3}{4}$$

ანუ

$$M_2 = -\frac{q l^3}{19} = M_3.$$

შაშ:

$$M_1 = \frac{1}{4} \frac{q l^3}{19} = \frac{q l^3}{76} = M_4.$$

შუა მალის შუა ნაწილის მომენტია:

$$M = \frac{q l^2}{8} - \frac{q l^2}{19} = \frac{11}{152} q l^2 = M_{max}.$$

შაშასადამე, საანგარიშო მომენტი დატვირთული მალის შუა ადგილის მიმართაა აღებული (ჩვენ შემთხვევისათვის).

2. ამავე კოქისათვის ავადოთ მლუნავ მომენტთა ეპიურა, თუ თანაბარი დატვირთვა ყველა მალზეა განრიგებული (ნახ. 90).

ამოხსნა. ნაპირა საყრდნობებისათვის

$$M_0 = M_5 = 0.$$

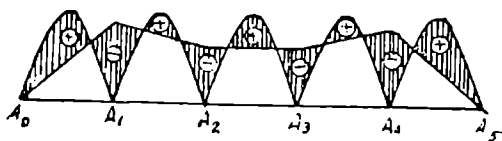
სქემა სიმეტრიულია და ამიტომ:

$$M_1 = M_4 \text{ და } M_2 = M_3.$$

სამი მომენტის განტოლება:

1) პირველი და მეორე მალისათვის:

$$4 M_1 l + M_2 l = -\frac{q l^3}{4} - \frac{q l^3}{4} = -\frac{q l^3}{2},$$



ნახ. 90.

საიდანაც

$$4 M_1 + M_2 = -\frac{q l^2}{2}.$$

2) მეორე და მესამე მალეებისათვის:

$$M_1 l + 4 M_2 l + M_3 l = -\frac{q l^3}{2}$$

ანუ

$$M_1 + 5 M_2 = -\frac{q l^2}{2}.$$

ამოვხსნათ განტოლებათა სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} 4 M_1 + M_2 &= -\frac{q l^2}{2} \\ M_1 + 5 M_2 &= -\frac{q l^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

$$-19 M_2 = \frac{3}{2} q l^2,$$

საიდანაც

$$M_2 = -\frac{3}{38} q l^2 = M_3,$$

და მეორე განტოლებიდან:

$$M_1 = -\frac{q l^2}{2} + \frac{15}{38} q l^2 = -\frac{2}{19} q l^2 = M_4.$$

მესამე მალის შუა ადგილში მომენტი:

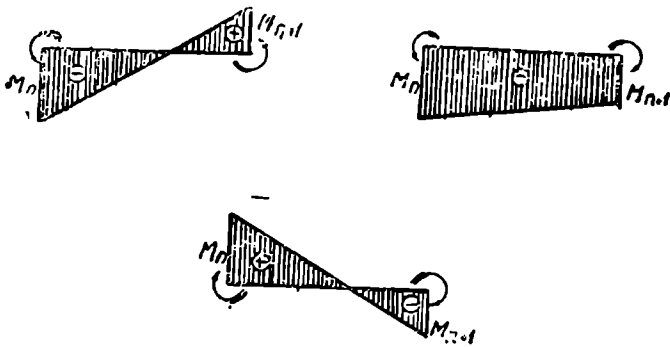
$$M = \frac{q l^2}{8} - \frac{3}{38} q l^2 = \frac{7}{152} q l^2,$$

ე. ი. იგი საყრდნობთა მომენტებზე მცირეა.

კითხვათა და ამოცანათა განმარტებისათვის.

1. ააგეთ კოქის გადამკრეღ ძალთა ეპიურები ნახ. 89 და ნახ. 90-ზე წარმოდგენილ დატვირთვის შემთხვევებისათვის.

2. განსაზღვრეთ ყველა მალზე თანაბრად დატვირთული ხუთმალიანი კოქის პირველი მალის მაქსიმალური დადებითი მომენტი. მალები ტოლი სიგრძისა არიან.



ნახ. 93.

3. ამოხსენით უკრი კოქის ნებისმიერი კვეთის მიმართ მღუნაეი მომენტის ფორმულა, თუ საყრდნობთა მომენტების ხაზს ნახ. 91, ნახ. 92 და ნახ. 93-ზე წარმოდგენილი სახე აქვს.

4. დატვირთულ მალიდან პრაქტიკულად რამდენ მალს გადაეცემა დატვირთვის გავლენა.

5. ნახ. 88-ზე წარმოდგენილ ეპიურაზე დახაზეთ კოქის გაღუნული ღერძის გამოხატულება.

§ 42. საყრდნოების დადაბლების (ჯდომის) გავლენა საყრდნობთა მომენტის სიდიდეზე.

საყრდნობთა დადაბლება (ჯდომა) გავლენას ახდენს კოქის მღუნაეი მომენტების სიდიდეზე¹⁾.

საყრდნობთა დადაბლების (ჯდომის) გავლენის გამოსარკვევად გამოვიყოთ უკრი კოქის ორი მოსაზღვრე მალი l_n და l_{n+1} (ნახ. 94). საყრდნობთა დადაბლება h_{n-1} , h_n და h_{n+1} -ით აღვნიშნოთ.

მაშინ დადაბლებული საყრდნობების მაერთებელი ხაზი cde ტეხილ ხაზათ იქცევა, რომლის გვერდები nc' პარიზონტალურ ხაზთან აღგენენ ψ_n და ψ'_{n+1} კუთხეებს; nc' ხაზი შუა d საყრდნობზეა გატარებული. გვაქვს:

$$\text{tg}\psi_n = \frac{h_n - h_{n-1}}{l_n} \text{ და } \text{tg}\psi'_{n+1} = \frac{h_n - h_{n+1}}{l_{n+1}}.$$

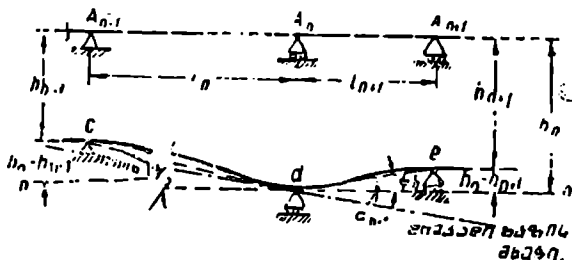
¹⁾ ამ ამოხსენაში ნაგულჭებია, რომ შუა საყრდნობი ნაპირა საყრდნობებზე მეტად დადაბლდა.

კუთხეთა სიმკირის გამო მათი ტანგენსების ნაცვლად შეგვიძლია მათი სიდიდის აღება რადიანებში და პირიქით.

დრეკადი ხაზის მხები მოსაზღვრე მართა d საყრდნობზე საერთო უნდა იყოს, ამიტომ იგი პორიზონტალურ ლერძთან ერთნაირ კუთხეებს შექმნის:

$$\psi_n - \beta_n = \alpha_{n+1} - \psi_{n+1}'$$

ნ, კუთხეებს მათი ტანგენსებით თუ შევცვლით და სიხის ტეხე გავა მრავლებთ, მივიღებთ:



ნახ. 91.

$$EJ \operatorname{tg} \psi_n - EJ \operatorname{tg} \beta_n = EJ \operatorname{tg} \alpha_{n+1} - EJ \operatorname{tg} \psi_{n+1}'$$

ცნობილია, რომ

$$EJ \operatorname{tg} \alpha_{n+1} = A_{n+1}^0,$$

და

$$EJ \operatorname{tg} \beta_n = B_n^0.$$

ფიქტიური საყრდნობთა რეაქციების ამ მნიშვნელობებს ჩასმით მივიღებთ:

$$EJ \operatorname{tg} \psi_n - B_n^0 = A_{n+1}^0 - EJ \operatorname{tg} \psi_{n+1}'.$$

საში მომენტის თეორემის ამოხსნისას ჩვენ ვნახეთ, რომ:

$$B_n^0 = F_n \frac{x_n'}{l_n} + M_{n-1} \frac{l_n}{6} + M_n \frac{l_n}{3}.$$

$$A_{n+1}^0 = F_{n+1} \frac{x_{n+1}''}{l_{n+1}} + M_n \frac{l_{n+1}}{3} + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{6}.$$

ჩასმისა და საყრდნობის მომენტიანი ყველა წევრების გადატანით მარცხენა მხარეს, საში მომენტის განტოლებას შემდეგი სახით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} & M_{n+1} l_n + 2 M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = \\ & = - \frac{6 F_n x_n'}{l_n} - \frac{6 F_{n+1} x_{n+1}''}{l_{n+1}} + 6 EJ (\operatorname{tg} \psi_n + \operatorname{tg} \psi_{n+1}') \end{aligned}$$

ეს გამოსახულება სამი მომენტის განტოლებიდან განსხვავდება უკანასკნელი წვერის $+6 EJ (x\psi_n + x\psi'_n)$ დანართით.

ამნაირად დავასკვნით, რომ საყრდნობთა დადაბლების გაველნა მით შეტია, რაც შეტია კოქის სიხისტი. იმ შემთხვევაში, როცა

$$x\psi_n = -x\psi'_n,$$

საყრდნობთა დადაბლების დამახასიათებელი უკანასკნელი წვერი ნულად იქცევა. რადგან ეს პირობა მხოლოდ მაშინ არის შესაძლებელი, როცა ψ_n და ψ'_n კუთხეები შვეული კუთხეებია, მაშინ ეს იმას ნიშნავს, რომ საყრდნობთა დადაბლება დახრილზე იმავე საყრდნობის მომენტებს მოგვეყვამს, როგორც გვექონდა ერთ პორიზონტალურ ხაზზე საყრდნობების განრიგების შემთხვევაში (რის დროსაც პორიზონტალურ საყრდნობებს შორის მოთავსებული მალეები არ უნდა შეიცვალოს; დახრილი მალეების პორიზონტალურ ღერძზე გვეგმილები თანატოლები უნდა იყოს).

ჩვენ მიერ საყრდნობთა მომენტების განსაზღვრისათვის მიღებულ ახალ ფორმულებში, გაადა საყრდნობთა დადაბლებისა შედის ჩვენთვის ჯერ უცნობი ინერციის J მომენტი.

J მომენტის ნამდვილი მნიშვნელობის შერჩევისათვის უმჯობესია წინასწარ ამოვხსნათ ამოცანა კოქის პროფილის შერჩევაზე საყრდნობთა დადაბლების გაველნის ალტერნატივებლად, შემდეგ კი შევასრულოთ შემამოწმებელი გამოთვლა დადაბლების გათვალისწინებით.

ამოცანა. როგორ იცვლება მლუნავი მომენტების ეპიურა, რომელიც აგებულია სამ საყრდნობზე მდებარე კოქისათვის ნახ. 78-ზე, თუ შუა B საყრდნობი დაბლდება 2 cm-ით, ნაპირა საყრდნობები კი ინარჩუნებენ თავის თავდაპირველ მდებარეობას (ნახ. 95).

ამოხსნა. § 35-ში ამოხსნილ ამოცანიდან ამოვეერთ აუცილებელ მოცემულობებს.

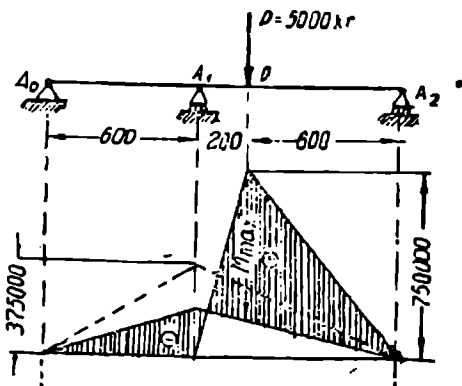
$$P = 5000 \text{ kg}; l_n = 600 \text{ cm}; l_{n+1} = 800 \text{ cm};$$

$$M_1 = -37500 \text{ kg cm}; J_{28} = 6873 \text{ cm}^4;$$

$$M_{max} = 468750 \text{ kg cm}.$$

ამოცანის პირობის მიხედვით:

$$x\psi_n = \frac{2}{600} = \frac{1}{300}, \quad x\psi'_n = \frac{1}{400}.$$



ნახ. 95.

ნახ. 95.

ამნიარად ჩვენ მიერ გამოანგარიშებული საყრდნობის მომენტის მნიშვნელობა

$$M_1 = -375000 \text{ kg cm}$$

საყრდნობთა დადაბლების გამო შეიცვლება და ასეთ მნიშვნელობას მიიღებს:

$$M_1 = -375000 + \frac{6 \cdot 2000000 \cdot 6878}{2 \cdot (600 + 800)} \left(\frac{1}{300} + \frac{1}{400} \right) = -203050 \text{ kg cm.}$$

მაშ უდიდესი მომენტი მალზე (P ტვირთის ქვეშ) იქნება:

$$M_{max} = 750000 - \frac{600}{800} 203050 = 597713 \text{ kg cm.}$$

აქედან გამოვძინარეობს, რომ ჩვენ მიერ შერჩეულ № 28 პროფილის შემთხვევაში, რომლისთვისაც

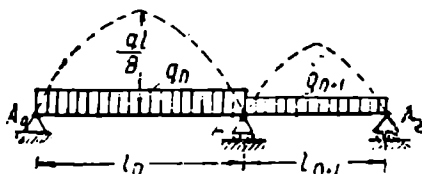
$$W_{28} = 491 \text{ cm}^3,$$

კინვის სიდიდე კოკში იქნება:

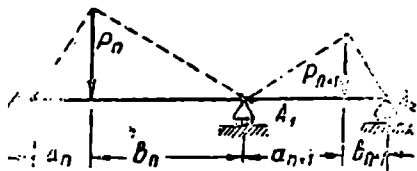
$$\sigma = \frac{597713}{491} = 1217 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

§ 43. ზოგიერთ კარგო უმთხვევისათვის სამი მომენტის განტოლების სახე.

1. დავწეროთ სამი მომენტის ზოგადი განტოლება უკრი კოკის მალეებისათვის, თუ ეს უკანასკნელში q_n და q_{n+1} ინტენსიურობის თანაბრად განრიგებული ტვირთით არიან დატვირთულნი (ნახ. 96).



ნახ. 96.



ნახ. 96ა.

თანაბარი დატვირთვის სამომენტო F_m ფართობს $\frac{q l^2}{8}$ ისრიანი პარაბოლის სახე აქვს, ე. ი. იგი ტოლია:

$$F_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{q l^2}{8} \quad l = \frac{q l^3}{12}.$$

პარაბოლის სიმძიმის ცენტრიდან საყრდნობამდე მანძილია:

$$x = \frac{l}{2}.$$

მაშასადამე, სამი მომენტის განტოლების მარჯვენა ნაწილის წევრები ასეთ სახეს მიიღებენ:

$$\frac{-6F_n x_n'}{l_n} = \frac{-q_n l_n^3}{4}$$

და

$$\frac{-6F_{n+1} x_{n+1}'}{l_{n+1}} = \frac{-q_{n+1} l_{n+1}^3}{4},$$

სამი მომენტის განტოლება კი იქნება:

$$M_{n-1}/l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}/l_{n+1} = -\frac{q_n l_n^3}{4} - \frac{q_{n+1} l_{n+1}^3}{4}.$$

2. დაეწეროთ სამი მომენტის ზოგადი სახის განტოლება ჯერი კოქის-ინავე მალევისათვის, თუ ისინი დატვირთულნი არიან შთაწერტული P_n და P_{n+1} ტვირთებით (ნახ. 96a).

სამომენტო F_m ფართობი შთაწერტული ტვირთისათვის წარმოადგენს $\frac{Pab}{l}$ სიმალლიან სამკუთხედს, ე. ი. ტოლია.

$$F_m = \frac{Pab}{l} \quad \frac{l}{2} = \frac{Pab}{2}.$$

F_m ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან საყრდნობამდე დაშორების x მანძილი რომ გამოვიანგარიშოთ, ამისათვის უნდა ვიგულისხმოთ, რომ მისი ფართობი სამკუთხედის სამ წვეროზე მოდებული შთაწერტული ტვირთებითაა შევსილი (რომელნიც სიდიდით თანატოლებია და თითოეული $\frac{F_m}{3}$ -ის ტოლია). A_0 საყრდნობის მიმართ მომენტს თუ ავიღებთ, გვექნება:

$$F_m x_{A_0} = \frac{1}{3} F_m a + \frac{1}{3} F_m l,$$

საიდანაც:

$$x_{A_0} = \frac{a+l}{3}$$

და ამის მსგავსად A_1 საყრდნობის მიმართ მომენტის აღებით, მივიღებთ:

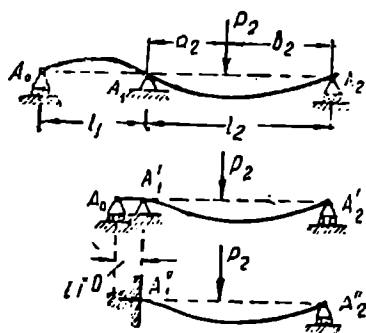
$$x_{A_1} = \frac{b+l}{3}.$$

მიღებულ მნიშვნელობებს სამი მომენტის განტოლების მარჯვენა ნაწილში თუ ჩავსვამთ შევამჩნევთ, რომ შთაწერტული ტვირთების შემთხვევაში იგი ასეთ სახეს მიიღებს:

$$M_n l_n + 2 M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = - \frac{P_n a_n b_n (a_n + l_n)}{l_n} - \frac{P_{n+1} a_{n+1} b_{n+1} (b_{n+1} + l_{n+1})}{l_{n+1}}$$

§ 44. სამი მომენტის განტოლების გამოყენება გოლოვებით დაფარავალი კოჭებისათვის.

წარმოვიდგინოთ ორმალიანი კოჭი l_1 და l_2 შალებით, რომელიც მხოლოდ მეორე შალებზე დატვირთული (ნახ. 97).



ნახ. 97.

ტის სიდიდებზე. ამისათვის ვყოფილობთ M_1 მომენტს:

$$M_1 = - \frac{P_2 a_2 b_2 (b_2 + l_2)}{2 l_2 (l_1 + l_2)}$$

რაც შეტია l_1 , მით ზცირება M_1 , ხოლო $l_1 = \infty$ დროს მივიღებთ $M_1 = 0$, ე. ი. კოჭი ორ საყრდნობზე მდებარე კოჭად გარდიქმნება. თუ კი l_1 დაიწყებს შემცირებას, მაშინ საყრდნობის M_1 მომენტი დაიწყებს ზრდას, და $l_1 = 0$ დროს იგი თავის ზღვრულ მნიშვნელობას მიიღებს; ასეთ შემთხვევაში იგი ტოლი იქნება:

$$M_1 = - \frac{P_2 a_2 b_2 (b_2 + l_2)}{2 l_2^2}$$

საყრდნობის მომენტისათვის ასეთი სიდიდე გვექონდა რმ შემთხვევაშიაც, როცა კოჭი ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული იყო, მეორეთი კი დაყრდნობილი

სხვანაირად, რომ ვთქვათ: კოქის ბოლოს ჩამაგრება ნულოვანი განფენილობის დამატებით მაღალ შეგვიძლია ვიგულებოთ ($l=0$).

ზემოთ განმარტებულ დებულებამდე შემდეგი მსჯელობითაც შეგვიძლია მივიდეთ.

მარცხენა l_1 მალის სიგრძის შემცირებით, როგორც მასალათა გაძძეობის კურსიდან არის ცნობილი, მცირდება ამ მალის მოქნილობა. უსასრულოდ მცირე l_1 მალის შემთხვევაში, მისი მოქნილობა უსასრულოდ მცირე იქნება. ასეთ მოქნილობის დროს შეუძლებელია რაიმე ახრი ექიონით აღნიშნულ მალის დეფორმაციაზე—იგი სწორახაზთ რჩება, და მაშასადამე A_1 საყრდნობზე მეორე l_2 მალის დრეკადი მრუდის დახრის კუთხე ნულის ტოლი იქნება, ე. ი. უსასრულოდ მცირე პირველ მალიანი კოქის (რომელსაც ორი მალი აქვს) ღუნვის ხასიათი საეხებით ეთანადება ჩვეულებრივი ერთი l_2 მალიანი კოქის ღუნვას, როცა ამ კოქის მარცხენა A_1 ბოლო ჩამაგრებულია, მარჯვენა კი თავისუფლად სძევს საყრდნობზე.

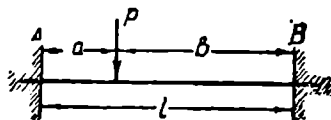
მაგალითები. 1. სამი მომენტის თეორემის გამოყენებით განსაზღვრეთ l მალიანი კოქის საყრდნობის მომენტი, თუ იგი ჩამაგრებულია ბოლოებით და $q \frac{kg}{mt}$ ინტენსიურობის მქონე ტვირთით არის თანაბრად დატვირთული (ნახ. 98).

ამოხსნა. უწინდელი ამოხსნით ჩვენ ვიცით, რომ თანაბრად განრიგებულ ტვირთისთვის სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს იღებს:

$$M_0 l_1 + 2 M_A (l_1 + l_2) + M_B l_2 = -\frac{q l^3}{4}$$



ნახ. 98.



ნახ. 99.

აქ

$$l_1 = 0; \quad l_2 = 0; \quad l_3 = l,$$

და სიმეტრიის გამო,

$$M_A = M_B.$$

მაშ

$$2 M_A l + M_A l = -\frac{q l^3}{4}.$$

საიდანაც

$$M_A = M_B = -\frac{q l^3}{12}.$$

2. სამი მომენტის განტოლების საშუალებით განსაზღვრეთ P ტვირთის ზეგავლენაში მყოფი და ორთავე ბოლოთი ჩამაგრებული l მალიანი კოქის (ნახ. 99) საყრდნობთა მომენტები.

ამოხსნა. ამ შემთხვევაში სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მი-
იღებს:

$$M_0 l_1 + 2 M_A (l_1 + l) + M_B l = - \frac{Pab(l+b)}{l}.$$

რადგან ამ შემთხვევაში არ არის დაცული სიმეტრია, ჩვენ მოგვიხდება
შეორე განტოლების შედგენა, სადაც პირველ მაღალ l უნდა ავიღოთ, შემორე
მაღალ $l_2 = 0$:

$$M_A l + 2 M_B (l + l_2) + M_0 l_2 = - \frac{Pab(a+l)}{l}.$$

იმის გამო, რომ

$$l_1 = l_2 = 0,$$

ასეთ ორ განტოლებას მივიღებთ:

$$\begin{cases} 2 M_A l + M_B l = - \frac{Pab(l+b)}{l} & | 2 \\ M_A l + 2 M_B l = - \frac{Pab(l+a)}{l} & | 1 \end{cases}$$

ამოვხსნით ამ სისტემას:

$$3 M_A = \frac{Pab}{l^2} (l + a - 2l - 2b),$$

რადგან

$$l = a + b,$$

ამიტომ

$$l + a - 2b - 2l = -3b$$

და

$$3 M_A = - \frac{3Pab^2}{l^2}.$$

საიდანაც:

$$M_A = - \frac{Pab^2}{l^2}.$$

პირველ განტოლებაში M_A -ს მნიშვნელობას თუ ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$- \frac{2 Pab^2}{l} + M_B l = - \frac{Pab(l+b)}{l},$$

ბოლო რადგან:

$$2b - l - b = a,$$

ამიტომ:

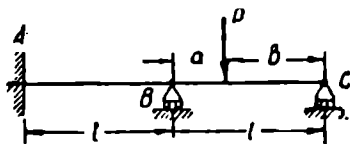
$$M_B = - \frac{Pa^2b}{l^2}.$$

იმ კერძო შემთხვევაში, როცა ტვირთი მალის შუა ადგილასაა მოთავსებული და

$$a = b = \frac{l}{2},$$

გვაქვს:

$$M_A = M_B = - \frac{Pl}{8}.$$



ნახ. 100.

3. სამი მომენტის თეორემის გამოყენებით განსაზღვრეთ ორმალიანი კოქის საყრდნობის მომენტები, თუ მისი ერთი ბოლო ჩამაგრებულია და ღერო სძევს ორ მოძრავ საყრდნობზე (ნახ. 100). კოქის მეორე მალზე მოქმედობს შთაწერი- ტული P ტვირთი.

ამოხსნა. სამი მომენტის განტოლებანი იქნებიან:

$$M_0 l_0 + 2 M_A (l_0 + l) + M_B l = 0,$$

$$M_A l + 2 M_B (l + l) + M_c l = - \frac{Pab(l+b)}{l}.$$

პირველ განტოლებაში $l_0 = 0$, მეორეში კი $M_c = 0$, ამიტომ განტოლება-თა ასეთ სისტემას მივიღებთ: \blacksquare

$$\begin{cases} 2 M_A l + M_B l = 0, \\ M_A l + 4 M_B l = - \frac{Pab(l+b)}{l}, \end{cases}$$

პირველ განტოლებიდან ვპოულობთ, რომ:

$$M_B = - 2 M_A;$$

მეორედან M_B -ს მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ:

$$M_A l - 8 M_A l = - \frac{Pab(l+b)}{l},$$

საიდანაც:

$$M_A = \frac{1}{7} \frac{Pab(l+b)}{l^2}.$$

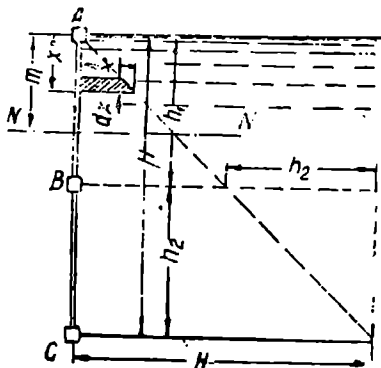
ნებისმიერ განტოლებაში M_A -ს მნიშვნელობის ჩასმით, ვიპოვიოთ:

$$M_B = -\frac{2}{7} \frac{Pab(l+b)}{l^2}.$$

§ 45. უჭრი კოჭის სანიშნო მახალითის ანგარიში უთანაბროდ განრიგებულ ტვირთის შემთხვევაში.

განსაზღვრეთ ნახ. 101-ზე გამოსახული საგუბარის ფარის შუა საყრდნობის მომენტის სიდიდე. ფარის სიგანეა $a = 100$ cm, სიღრმე შუა საყრდნობამდე არის $h_1 = h_2 = 300$ cm.

ამოხსნა. წყლის წნევა წყლის პრიზონტის ქვეშ მოთავსებული სიღრმის პროპორციულია. ფარის ზედა ნახევარზე წილხედრილი მთელი წნევა სამწახნაგა პრიზმის წონის ტოლია; პრიზმის სიმაღლეა a და ფუტეა სამკუთხედი $h \times h : 2$. გამოვიანგარიშოთ ამ პრიზმის წონა კილოგრამებში:



ნახ. 101.

$$P = \frac{300 \cdot 300 \cdot 100}{2 \cdot 1000} = 4500 \text{ kg.}$$

ზედა საყრდნობს გადაეცემა $\frac{1}{3} P$, ე. ი.

$$A = \frac{1}{3} P = 1500 \text{ kg.}$$

ზედა საყრდნობიდან m მანძილის დაშორებული ფარის კვეთის მლუნავი მომენტი იქნება:

$$M_m = Am - \int_0^a dx \cdot x(m-x) = Am - \frac{amm^2}{2} + \frac{am^3}{3} = Am - \frac{am^3}{6}.$$

ფარის მთელ ზედა ნაწილისათვის მივიღებთ გამოსახულებას:

$$F_m'x_0' = \int_0^{h_1} M_x \cdot dx \cdot x = \int_0^{h_1} \left(Ax - \frac{ax^3}{6} \right) x \cdot dx = \frac{Ah_1^3}{3} - \frac{ah_1^5}{30} = \frac{ah_1^5}{18} - \frac{ah_1^5}{30} = \frac{ah_1^5}{45};$$

აქედან:

$$\frac{6F_m'x_0'}{h_1} = \frac{6ah_1^5}{45h_1} = \frac{2ah_1^4}{15}.$$

ქვედა ნაწილისათვის ტრაპეციის ფართობი განიხილება როგორც H h_2 სწორკუთხედისა და $\frac{h_2 h_2}{2}$ სამკუთხედის ფართობთა სხვაობა. თანაბარ დატვირთვის შემთხვევაში:

$$\frac{6F_m''x_0''}{l} = \frac{q^2}{4},$$

რადი ამ შემთხვევაში, $q = aH$ დროს, გვაძლევს:

$$\frac{6F_m''x_0''}{h_2} = \frac{aHh_2^3}{4} - \frac{2ah_2^4}{15}.$$

სამი მომენტის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$2M(h_1 + h_2) = -\frac{6F_mx_0'}{h_1} - \frac{6F_mx_0''}{h_2} = -\left(\frac{2ah_1^4}{15} + \frac{aHh_2^3}{4} - \frac{2ah_2^4}{15} \right).$$

მოცემულობის თანახმად $h_1 = h_2$, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ჩასმით მივიღებთ:

$$2M \cdot 2h = -\frac{a \cdot H \cdot h_1^3}{4}$$

ანუ

$$M = -\frac{aH \cdot h^3}{2 \cdot 4H} = -\frac{ah^3}{8}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$M = -\frac{100 \cdot 300 \cdot 300 \cdot 300}{8 \cdot 1000} = -337500 \text{ kg cm.}$$

მალზე მლუნავი მომენტი იქნება:

$$M_x' = Cx - \frac{Hax^2}{2} + \frac{ax^3}{3}.$$

პირველი წარმოებულის ნულთან გატოლებით, ვპოულობთ:

$$\frac{dM'_x}{dx'} = C - Hax + \frac{ax^2}{2} = 0;$$

რიცხვების ჩასმით მივიღებთ:

$$7500 - \frac{600 \cdot 100 x}{1000} + \frac{100 x^2}{2 \cdot 1000} = 0,$$

$$x = 142.$$

მაშასადამე, საანგარიშო მომენტი ტოლია:

$$M_{max} = 7500 \cdot 142 - \frac{600 \cdot 100 \cdot 142^2}{2 \cdot 1000} + \frac{100 \cdot 142^3}{6 \cdot 1000} = 827300 \text{ kg cm.}$$

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. საყრდნობის დადაბლებით აღძრულ ჭინვაზე იჩენს თუ არა გავლენას კოქის სიხისტე?

2. საყრდნობთა დადაბლების შემდეგ საყრდნობთა ხაზი სწორი ხაზის სახეს თუ ინარჩუნებს, მაშინ წარმოიშობა თუ არა კოქში ლუნვის გამო ჭინვები?

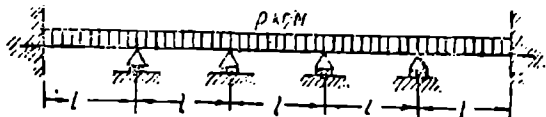
3. ორმალიანი კოქის კვეთების მლუნავ მომენტებზე როგორ გავლენას იჩენს შუა საყრდნობის დადაბლება? შეიძლება თუ არა ამ დადაბლების გამოყენება იმისათვის, რომ შემცირებული იქნას საანგარიშო მომენტი (მაგალითად, თანაბარი დატვირთვისა და ტოლ მალეების შემთხვევაში)?

4. წინა მაგალითში როგორი სახით იჩენს გავლენას საანგარიშო მლუნავ მომენტებზე ნაპირა საყრდნობების დადაბლება?

5. საყრდნობთა დადაბლების გათვალისწინებით ამოხსნილი სამი მომენტის განტოლება რისთვის არ გვაძლევს საყრდნობთა მომენტების პირდაპირ ამოხსნას?

6. თანაბარ მთლიან დატვირთვის შემთხვევაში ორი ტოლმალიანი კოქის შუა საყრდნობი რა სიდიდით უნდა დაეშვას, რომ მლუნავი მომენტი შუა საყრდნობზე ნულის ტოლად იქცეს?

7. შემოწმეთ თანაბრად დატვირთულ კოქისთვის § 44-ში მოყვანილი ამოხსნა.



ნახ. 102.

8. ტოლი ხუთმალიანი და ბოლოებით გამაგრებული კოქისათვის (ნახ. 102) ააგეთ მლუნავ მომენტთა და გადამჭრელ ძალთა ეპიურები, თუ კოქი დატვირთულია მთლიანი—თანაბარი ტვირთით.

თავი მესუთე

საყრდენი კედლები

§ 46. საერთო მოსაზრებანი.

ჩვეულებრივი ყამირები ანუ მიწისებრი სხეულები, რომლებთანაც საქმე ვაკეპს ყოველგვარი ნაგებობის საძირკელისა და საყრდნობი კედლების ანგარიშის დროს, ურთიერთ ბმისა და ხახუნის ძალებით დაკავშირებულ მიწისებრი ნაწილაკების ერთობლიობას წარმოადგენენ. ეს ძალები სხედასხვა ყამირისათვის სხედასხვანაირია და ერთსადაცხედვე ყამირისთვისაც კი განიციდიან ცვლილებას სინესტის, წნევის და სხვა ფაქტორების ცვლილებაზე დამოკიდებით.

ცხადია, რომ ბმის ცვლილებაზე დამოკიდებით შეიცვლება მიწისებრი ტანის ფორმაც. მართლაც, შეგვიძლია დავწმუნდეთ, რომ სხედასხვა ყამირები ინარჩუნებენ მიღებულ ფორმას მხოლოდ ყამირის ფორმის შემომთარგვლები ზედაპირების დამახასიათებელი დახრის კუთხეების დაცვის შემთხვევაში. ასე, მაგალითად, ჩვეულებრივად სუსტი თიხნარი ან სილნარი ბუნებრივად ნესტიან მდგომარეობაში $35^{\circ} - 40^{\circ}$ დახრილობაზე მეტი ქანობის დროს ამ კუთხის ზემოთა ზედაპირი ქვემოდ ჩამოცოცდება.

სინესტის ზრდისას ეს კუთხე, რომელსაც ეწოდება ბუნებრივი ქანობის კუთხე, მცირდება.

რაიმე მიზეზის გამო ჩვენ რომ მოგვენდომებინა ჩამოცურებული ყამირის შეჩერება, ამისათვის საჭირო იქნებოდა ზღუდეთ ეგრედწოდებული საყრდენი კედლის აგება, რომელიც ასეთ შემთხვევაში განიცდის მიწისებრი მასის ფერდით წნევას.

ამ წნევის სიდიდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში განესაზღვრავთ, როცა გვეცოდინება მიწისებრი მასის წონასწორობის თეორია. მაგრამ როგორც უკვე ზემოთ იყო მითითებული, მიწისებრი ტანთა თვისებები დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათი შემადგენლობა კი ძლიერ სხედასხვანაირია. ყოველივე ეს ძალზედ აფერხებს ასეთი თეორიის შექმნას.

ამიტომ აღწერილ შემთხვევებში წარმოშობილი ძალების დაახლოებითი განზღვრისათვის, შეისწავლიან ეგრედწოდებული ფხვიერი სხეულების თვისებებს (ასეთ სხეულებათ ჩვენ ვგულისხმობთ სხეულებს, რომელნიც მხოლოდ ხახუნს განიცდიან). ასეთი იდეალური ფხვიერი სხეულის მაგალითს წარმოადგენს მზრალი სილა ან მარცვლები.

ცხადია, რომ იდეალური ფხვიერი სხეულით ყამირის შეცვლა, რომლის ნაწილაკებს შორისაც ამათუიმ სიდიდის ბმები წარმოიშობა, იწვევს ნაშენის

სიმტკიცის მარაგის გადიდებას, რადგან საყრდნობი კედლის იქეთ მიყრილი ბუნებრივი ყამირი, ბმების არსებობის დროს, უფრო მცირე მასით ჩამოცოცდება, ვიდრე ის ყამირი, რომლის ნაწილაკებს შორის არ არსებობს ეს ბმები, ე. ი. მიღებული საანგარიშო წნევა მასზე მეტია, რაიც მოსალოდნელია სინამდვილეში.

§ 47. ცნება შიშის მასის წნევაზე. შიშის დაწნევა და გაწნევა.

წარმოვიდგინოთ, რომ მიწის ყრილს შეეუღლი მდებარეობა აქვს AB საყრდნობი კედლის წყალობით (ნახ. 103).

განვიხილოთ საყრდნობი კედლის ის ნაწილი, რომელსაც ერთეულის ტოლი სიგრძე აქვს ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით.

საყრდნობი კედელი რომ არ ყოფილიყო, მაშინ მიწის მასა თანდათან გამოიფიტებოდა ბუნებრივი ქანობის ფ კუთხით, თუმცა თავდაპირველად ნაწილაკთა ბმის გამო მას მეტი ქანობი ექნებოდა.

მთელ რიგ ფხვიერად სხეულთათვის ბუნებრივი ქანობის კუთხე, და, აგრეთვე, ერთი კუბიკური ღეციმეტრის წონა ქვემოთ ტაბულაშია მოყვანილი (შედარებისათვის მოყვანილია იგივე სიდიდეები წყლისათვის).

| № რიგზე | დასახელება | ერთი კუბ. მეტრის წონა კგ-ში | ბუნებრივი ქანობის კუთხე |
|---------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | წყალი | 1000 | 0 |
| 2 | მიწის მშრალი ყრილი | 1400 | 40° |
| 3 | „ ბუნებრივად ნოტიო ყრილი | 1600 | 45° |
| 4 | „ წყლით გაჟღენთილი ყრილი | 1800 | 30° |
| 5 | მშრალი თიხნარაინი ყამირი | 1500 | 45° |
| 6 | ბუნებრივად ნოტიო თიხნარაინი ყამირი | 1600 | 45° |
| 7 | წყლით გაჟღენთილი | 2000 | 20° |
| 8 | მშრალი თიხა | 1600 | 45° |
| 9 | ბუნებრივი სინესტის თიხა | 2500 | 70° |
| 10 | სველი თიხა | 2000 | 20° |
| 11 | მშრალი სილა | 1500 | 35° |
| 12 | ბუნებრივი სინესტის სილა | 1800 | 40° |
| 13 | წყლით გაჟღენთილი სილა | 1900 | 25° |
| 14 | მშრალი ფილაქანი | 1800 | 35° |
| 15 | სველი | 1900 | 25° |
| 16 | კუახური ღორღი | 1800 | 45° |
| 17 | მორგვალეზული ღორღი | 1900 | 30° |
| 18 | ყორე | 1600 | 35° |

ცხადია, რომ AB საყრდნობი კედლის არსებობის დროს ყამირი არ ჩამოიფშენება ბუნებრივი ქანობის ფ კუთხით, თუმცა გამოფიტვა—ჩამოფშენისაღმი მისწრაფება მაინც რჩება; ამ მისწრაფების დროს ყამირი აწეება საყრდნობ კედელს. ყამირის კედელზე ასეთ წნევას მიწის დაწნევა ეწოდება.

საყრდნობი კედელი ოდნავად რომ გაღიბრიცოს მის იქეთ მოთავსებული მიწის მასა ჩამოინგრევა რაიმე AF ზედაპირით, რომელიც როგორც ცდა გვიჩვენებს სიბრტყეს ჰგავს.

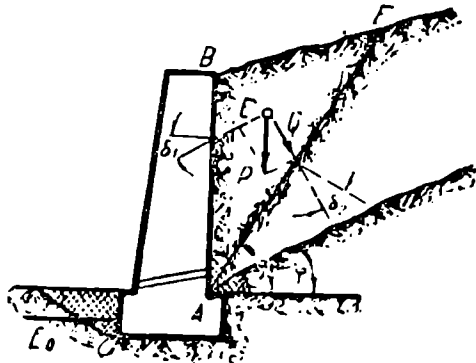
AF სიბრტყე ჰორიზონტთან ქმნის კუთხეს $\alpha > \varphi$ და მას ჩამოცურების სიბრტყე (ანუ ჩამონგრევის სიბრტყე) ეწოდება.

მორღეული მიწის მასა ანუ ჩამონგრევის პრიზმას აქვს ABF ფუძე და ერთეულის ტოლი სიმაღლე, რომელიც ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულიარულად არის მიმართული.

ჩამონგრევის პრიზმა საკუთარი P წონის ქმედებით ჩამოცურებისას თავდაპირველად აწეება საყრდნობ კედელს E წნევით და შემდეგ ახდენს Q წნევას ყამირზე (რომელიც სძევს რღვევის AF სიბრტყის ქვეშ).

მიწის E დაწნევის ზეგავლენით კედელი გვერდით გადაადგილებას ცდილობს. ამ გადაადგილებას (d რას) საძირკვლის ქუსლში წარმოშობილი ხახუნის გარდა, აგრედვე ეწინააღმდეგება საძირკვლის დანაყრის წნევა მარცხენა მხარედან, ე. ი. რომელიღაც E_0 ძალა, რომელსაც ეწოდება მიწის განწნევა.

მიწისებრი ტანის განწნევა ნაწილაკების შებმის უნარ მოკლებულ ფხვიერადი ტანის განწნევაზე მეტია. ამ თვალსაზრისით ფხვიერადი ტანებით მიწისებრი ტანების შეცვლა, რაიც მიზანშეწონილათაა მიჩნეული ანგარიშში, ადიდებს მდგრადობის მარაგს.



ნახ. 103.

§ 48. ჩამონგრევის სიბრტყეზე წოდვისა და მიწის დაწნევის მიმართულება.

მდგრადობის და სიმტკიცის მარაგში მიწის ნაწილაკებს შორის შებმის უყურადღებოთ დატოვებით ეწარმოოთ ანგარიში, რის დროსაც მხედველობაში მივიღოთ მხოლოდ შესაძლო ხახუნი.

ჩამონგრევის პრიზმის ჩამოცურებისას წარმოიშობა ხახუნი ჩამონგრევის სიბრტყესა და საყრდნობი კედლის სიბრტყეს შორის. ამ ხახუნის გამო E და Q ძალების მიმართულებანი გაღიბრიებიან ხახუნის სიბრტყეების ნორმალური მიმართულებიდან რაღაც δ_1 და δ_2 კუთხეებით. ამნაირად მიწის E დაწნევა

-საყრდნობი კედლის უკანა წახნაგის ნორმალთან შეადგენს $\leq \delta_1$ კუთხეს, რომელიც კედელზე ყამირის ხახუნის კუთხის ტოლია ან მასზე მცირეა, Q ძალა კი ჩამონგრევის სიბრტყესთან ადგენს $\delta_2 \leq$ კუთხეს, რომელიც ყამირზე ხახუნის კუთხის ტოლია ან მასზე მცირეა. ამ დროს δ_2 კუთხის უდიდესი მნიშვნელობა, ე. ი. $\max \delta_2 = \varphi$, სადაც φ ბუნებრივი ქანობის კუთხეა.

რაც შეეხება δ_1 კუთხეს, პრაქტიკულად კედლის უკანა წახნაგს მიეკვრება ყამირის ნაწილი, რის გამო ანგარიშში ყამირის კედლის ქვაზე ხახუნის ნაცვლად უნდა მივიღოთ კედლის იქეთ ყამირის ყამირზე ხახუნი, ე. ი. $\max \delta_1 = \varphi$. როცა კედლის უკანა წახნაგი გლუვია ან წყლის განვლისაგან ასფალტის ფენითაა დაკული, მაშინ კუთხე $\delta_1 = 0$.

კედლის იქეთ ყამირის წყლით გატენვით ადიდებს ჩამონგრევის პრიზმის წონას და ამცირებს ხახუნის $\leq \delta_1$ კუთხეს, ეს კი თავის მხრივ ადიდებს წნევას კედელზე. მიწის წნევის შესამცირებლად წყალს რაც შეიძლება მეტად განდევნიან კიპკრიტანებიდან (კიპკრიტანები სპეციალურად გაყვანილია კედელში). კედლის იქეთ კი აწყობენ დრენაჟს (ნახ. 103). პრაქტიკაში ჩვენ არასდროს არ ვიქნებით საესებით უზრუნველყოფილი კედლის იქეთ ყრილის წყლით გატენვისაგან, ამიტომ ანგარიშში ხშირად შეარჩევენ კუთხეს $\leq \delta_1 = 0$. კუთხის ნულთან გატოლების გულებზე უფრო მცირე მიწის დაწნევას გვაძლევს, ვიდრე ამას ჰქონდა ადგილი $\delta_1 = \varphi$ დროს, მაგრამ წამქცევი მომენტი პირველ შემთხვევაში მეტია, რადგან მომენტის მხარი მეტია. კედლების ანგარიშის დროს კი წამქცევი მომენტის მნიშვნელობა მთავარ როლს თამაშობს, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გულებზე მარაგის მხრივია შესრულებული.

ზოგიერთ შემთხვევაში კუთხე $\leq \delta_1$ არ უკავშირებენ ზემოთა პირობას ($\delta_1 = 0$ ან $\delta_1 = \varphi$), არამედ უკანა წახნაგის ხორგლიანობის მიხედვით მიიღებენ-

$$\leq \delta_1 = \frac{1}{3} \varphi \text{ -დან } \frac{1}{2} \varphi \text{ -დე.}$$

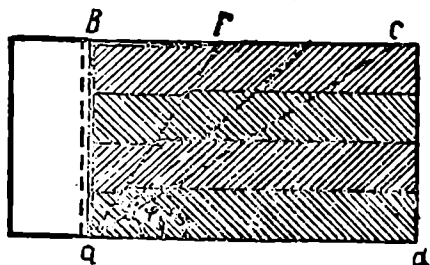
§ 49. ჩამონგრევის სიბრტყის განსაზღვრა (თანამიმდევარი ცდის წესით).

ავიღოთ მინის კოლოფი მოძრავი ან კედლით (ნახ. 104) და იგი ავაესოთ შეფერადებული სილით; ცდის თვალსაჩინოების მიზნით, სილა სხვადასხვა ფერად შევღებოთ და ფენებად მოვათავსოთ. ან კედელი უმნიშვნელო მანძილზე რომ გადავადგილოთ მარცხნივ, მაშინ ჩვენ შევამჩნევთ, რომ ყამირის ან/ ნაწილის გადაადგილება რაიმე ა/ ზედაპირზე მოხდება. ამ ცდიდან ჩვენ შევამჩნევთ, რომ: 1) ჩამონგრევის სიბრტყის მერე ჰორიზონტთან შედგენილი $\leq \alpha$ კუთხე ბუნებრივი ქანობის $\leq \varphi$ კუთხეზე მეტია, და 2) ა/ ზედაპირი უახლოვდება სიბრტყეს.

ყუთი ხელახლა რომ შევაესოთ სილის ფენებით და მოძრავი კედელი მარჯვნივ გადავადგილოთ, მაშინ ყამირში წარმოიშობა განწნევის ან/ც პრიზმა, სადაც ა/ც ზედაპირი ჰორიზონტთან ადგენს კუთხეს $\alpha_1 < \varphi$.

მიწის მასის საყრდნობის კედელზე ზეგაღწევის გამოსარკვეველად აუცილებლად უნდა განესაზღვროთ E დაწნევა, ე. ი. უნდა ვიპოვოთ მისი სიდიდე, მოდების წერტილი და ქმედების ხაზი (ნახ. 103).

ჯერ-ჯერობით ჩვენთვის ცნობილია მხოლოდ დაწნევის მიმართულება, რომელიც კედლის უკანა წახნაგის ნორმალთან ადგენს $\angle \alpha$, კუთხეს. დაწნევის სიდიდის განსაზღვრისათვის უნდა გამოვიანგარიშოთ ჩამონგრევის პრიზმის P წონა ჩამონგრევის პრიზმის წონის განსაზღვრისათვის აუცილებლად უნდა ვი-
ცოდეთ ჩამონგრევის (AF) სიბრტყის მდებარეობა. მაშინ



ნახ. 104.

$$P = \text{ფართ } \triangle ABF \quad 1. \gamma.$$

ეს P წონა გადაეცემა, რო-
გორც კედლის უკანა წახნაგს, ისე
სრიალის სიბრტყესაც. კედლის
უკანა წახნაგზე წნევა E დაწნევის
სიდიდეს წარმოადგენს, AF სიბრ-
ტყეზე წნევა კი Q ასოთი აღენიშ-
ნოთ. Q ძალის მიმართულება AF
სიბრტყის ნორმალთან ადგენს
კუთხეს $\angle \alpha = \varphi$ (ყამირის ყამირზე

ხეხვა). P ძალას მითითებულ ორ მიმართულებით თუ დავშლით E და Q მდგე-
ნელების სიდიდეებს განესაზღვრავთ.

AF სიბრტყის სხვადასხვა მდებარეობის დროს სრულიად უცვლელი რჩე-
ბა E დაწნევის სიდიდე. საშიშია ის მდებარეობა, როცა E იღებს თავის უდი-
დეს სიდიდეს, ე. ი. E_{max} .

მიწის დაწოლის E სიდიდის ცვლილება (ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობის მიხედვით) შევისწავლოთ შემდეგი მაგალითის განხილვით. ვთქვათ, საყრდნობი კედლის იქეთ (რომლის უკანა წახნაგი შეველია) დაყრილია სილა, რომლის მოცულობითი წონაა $\gamma = 1.8$, ბუნებრივი ქანობის კუთხე კი არის $\varphi = 30^\circ$. შემდგომი მსჯელობის დროს განვიხილოთ საყრდნობი კედლის ამონაქერი, რომელიც ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარულათაა მიმართული და სიგრძის ერთი ერთეულის ტოლია (მაგ., 1 გრძივი მეტრისა). რადგან კედლის თითოეული გრძივი მეტრი მეზობელ გრძივ მეტრთან ერთნაირ პირობებში იმყოფება, ამიტომ კედლის ასეთ ამონაქერზე მოქმედი ყველა ძალები ერთ სიბრტყეში მდებარე ძალებზე დაიყვანებიან; ამ სიბრტყეს ჩვენ ნახაზის სიბრტყეთ მივიღებთ. ამნაირად ჩვენ სიბრტყის ამოცანას მივიღებთ.

ვთქვათ საყრდნობი კედლის სიმაღლეა $H = 5$ mt (ნახ. 105).

A კუთხესთან ავაგოთ ბუნებრივი ქანობის კუთხე

$$\varphi = 30^\circ.$$

კედელი რომ არ ყოფილიყო, მაშინ ყამირი ქანობთან φ კუთხით დაიხრე-
ბოდა. $90^\circ - \varphi = 60^\circ$ კუთხე ოთხ თანასწორ (15°) კუთხეთ დაცვით, და თანა-
მიმდევრობით ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარული AD, AC, AK და AN
სიბრტყეების ჩამოსურების სიბრტყეებათ ჩათვლით, გამოვიანგარიშებთ $\triangle ABD$,
 $\triangle ABC$, $\triangle ABK$ და $\triangle ABN$ პრიზმებით საყრდნობ კედელზე წარმოებულ წნევებს
 E_1, E_2, E_3 , და E_4 .

ოთხსავე პრიზმისათვის მივიღოთ

$$\angle \delta_1 = 0, \text{ და } \angle \delta_2 = 30^\circ.$$

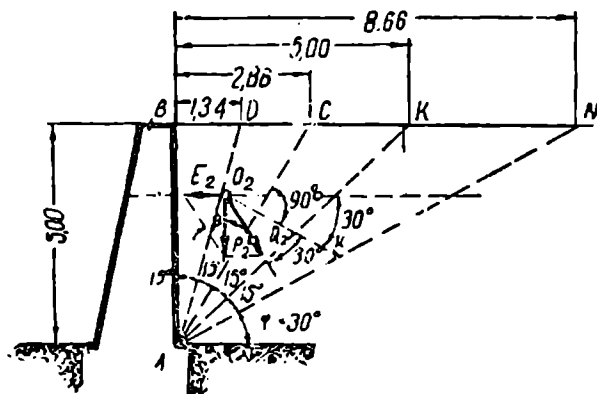
სწორკუთხიან სამკუთხედებიდან მივიღებთ:

$$BD = 5 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 1,34 \text{ mt,}$$

$$BC = 5 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 2,88 \text{ mt,}$$

$$BK = 5 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 5,00 \text{ mt,}$$

$$BN = 5 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 8,66 \text{ mt.}$$



ფაბ. 105.

პრიზმების წონაა:

$$P_1 = \frac{1,34 \cdot 5}{2} \cdot 1 \cdot 1,8 = 6,03 \text{ ton } \text{თ} \text{ } 6 \text{ ton;}$$

$$P_2 = \frac{2,88 \cdot 5}{2} \cdot 1 \cdot 1,8 = 12,96 \text{ ton } \text{თ} \text{ } 13 \text{ ton;}$$

$$P_3 = \frac{5 \cdot 5}{2} \cdot 1 \cdot 1,8 = 22,50 \text{ ton;}$$

$$P_4 = \frac{8,66 \cdot 5}{2} \cdot 1 \cdot 1,8 = 38,97 \text{ ton } \text{თ} \text{ } 39 \text{ ton.}$$

ნახაზი რომ არ გავართულოთ, ამისათვის მასზე ვაწარმოებთ მხოლოდ ABC პრიზმისათვის საჭირო აგებას. დავიწყოთ E_2 -ის გამოანგარიშება. BAC სოლის P_2 წონა ორი მიმართულებით უნდა დაეშალოს: კედელზე AB-ს პერპენდიკულარულად მიმართულ წნევის მიმართულებაზე ($\angle \delta_1 = 0$) და AC სიბრტყის ნორმალთან $\delta_2 = \varphi$ კუთხით დახრილ მიმართულებაზე, რაიც ჩამოცურების სიბრტყისადმი წარმოებულ Q_2 წნევის მიმართულებას აღსახავს.

გამოვიანგარიშოთ P_2 და Q_2 ძალებსშორისი $\angle \beta_2$ კუთხე;

$$\angle \beta_2 = 90^\circ - 2 \cdot 15^\circ - \delta_2 = 90^\circ - 30^\circ - 30^\circ = 30^\circ.$$

ეხლა უკვე ადვილად განიზღერება E_2 , წნევა საყრდნობ კედელზე:

$$E_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 13 \cdot 0,577 = 7,50 \text{ ton}.$$

BAD, BAK და BAN სოლების წნევათა გამოთვლა უწინდელის ანალოგიურია, თუმცა A წვეროსთან კუთხის შეცვლის გამო შეიცვლება $\angle \beta$ კუთხეც:

$$\angle \beta_1 = 90^\circ - 15^\circ - 30^\circ = 45^\circ;$$

$$\angle \beta_3 = 90^\circ - 3 \cdot 15^\circ - 30^\circ = 15^\circ;$$

$$\angle \beta_4 = 90^\circ - 4 \cdot 15^\circ - 30^\circ = 0^\circ.$$

მაშასადამე:

$$E_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 6 \cdot 1 = 6 \text{ ton},$$

$$E_3 = P_3 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 22,5 \cdot 0,268 = 6 \text{ ton},$$

$$E_4 = P_4 \cdot \operatorname{tg} 0^\circ = 39 \cdot 0 = 0 \text{ ton}.$$

უწინდელიდან გამომდინარეობს, რომ უდიდესი წნევა საყრდნობ კედელზე იმ დროს მიიღება, როცა ჩამონგრევის სიბრტყის დახრილობა ეთანადება შეორე შემთხვევას, ე. ი. AC სიბრტყის შემთხვევაში:

$$\max E = E_2 = 7,5 \text{ ton}.$$

ამ წნევაზე უნდა გამოვიანგარიშოთ კედელი.

თუ დაეუბრუნდებით მინის კედლიან ყუთით წარმოებულ ცდას, შევამჩნევთ, რომ ცდის მონაცემები საესებით ეთანხმება აღებული მაგალითის გამოანგარიშებებს.

§ 50. ჩამონგრევის სიბრტყის ანალიზური განსაზღვრა.

ეხლა განვიხილოთ ჩამონგრევის სიბრტყის ზოგადი შემთხვევა კედლისათვის, როცა დედამიწის ზედაპირს აქვს მრუდხაზობრივი მოხაზულობა (კედლის იქეთ მდებარე მიწის) და კედელზე მოქმედობს თანაბრად განრიგებული დროებითი დატვირთვა. დატვირთვა განიხილება კედლის იქეთ მოთავსებული დედამიწის წედაპირის ჰორიზონტალურ პროექციის მიხედვით (ნახ. 106).

ანგარიშის სახერხულობისათვის დროებითი დატვირთვას დავიყვანთ ქმედებით მის ექვივალენტურ h , სიმაღლიან დედამიწის ფენაზე, რომელსაც იგივე მოცულობითი γ წონა აქვს, რაც ჰქონდა კედლის იქეთ დაყრილ მიწას. ამნაირად h , სიმაღლეს განვსაზღვრავთ, თუ h , სიმაღლიან და 1 m^2 ფუძიან დედამიწის ფენის წონას გაუტოლებთ 1 m^2 -ზე წილზედრილი დროებითი დატვირთვის p წონას, ე. ი.

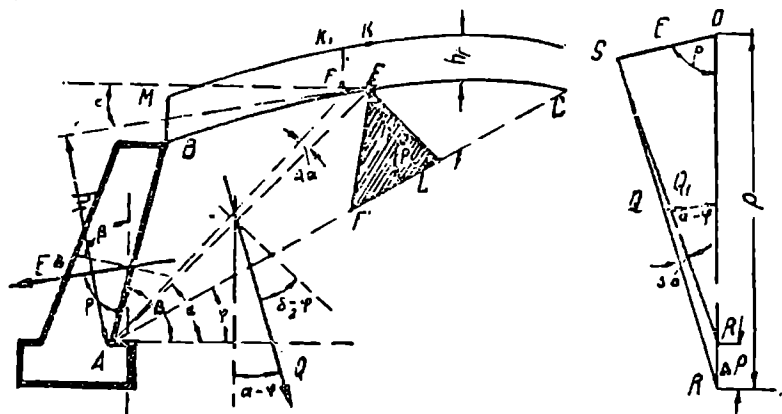
$$1 \cdot 1 \cdot h \cdot \gamma = 1 \cdot 1 \cdot p,$$

$$h_r = \frac{p}{\gamma}$$

კედლის 1 mit სიგრძის ამონაჰერის მყისა წონასწორობისათვის, δ_2 კუთხე მიიღებს თავის უდიდეს მნიშვნელობას, ე. ი.

$$\delta_2 = \max \delta_2 = \varphi,$$

სადაც φ ბუნებრივი ქანობის კუთხეა (იგი აგრედვე წარმოადგენს მიწის მიწაზე წნევას).



ნახ. 106.

კედლის სიმტკიცე უზრუნველყოფილი უნდა იყოს იმ შემთხვევაში, როცა E მიიღწევს თავის უდიდეს $\max E$ სიდიდეს. $\max E$ -ს ანალიზური განსაზღვრისათვის $\frac{dE}{d\alpha}$ პირველი წარმოებული ნულს უნდა გაუტოლოთ, ე. ი.

$$\frac{dE}{d\alpha} = 0.$$

მეორე მხრივ ფუნქციის მაქსიმუმს აქვს ადგილი, როცა ფუნქციის ელემენტარული ნაზრდი ნულად იქცევა.

დაწინების სიდიდე α კუთხის ფუნქციას წარმოადგენს. ამიტომ $\max E$ მიიღება ისეთი α კუთხის შემთხვევაში (აქ α წარმოადგენს ჩამონგრევის AF სიბრტყის დახრილობას ჰორიზონტთან) როცა მისი ელემენტარული $\Delta\alpha$ ნაზრდი მიწის E დაწინებისათვის უმაღლესი რიგის უსასრულოდ მცირე სიდიდეს გვაძლევს, სხვანაირად რომ ვთქვათ, როცა α და $\alpha + \Delta\alpha$ კუთხეებს ეთანადებიან ექვივალენტური $E = \max E$.

ABMKFA ნაკეთის ფართობი F ასოთი აღენიშნოთ. მაშინ ჩამონგრევის პრიზმის P წონა იქნება:

$$P = F \cdot l \cdot \gamma = F\gamma.$$

α კუთხეს ელემენტარული Δx ნაზრდი მიეცეთ. ამ შემთხვევაში AF_1K_1KFA ფართობის ნაზრდს ΔF -ით თუ აღენიშნაეთ, მივიღებთ, რომ ჩამონგრევის პრიზმის წონაა:

$$\Delta P = \gamma \Delta F \cdot l;$$

რადგან ΔF შესდგება ΔAF_1F და F_1K_1KF პარალელოგრამისაგან, აზრტომ შეგვიძლია დავწეროთ, რომ:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \gamma [\text{ფართ. } \Delta AF_1F + \text{ფართ. } F_1K_1KF] = \\ &= \gamma \cdot \text{ფართი } \Delta AF_1F \left[1 + \frac{\text{ფართ. } F_1K_1KF}{\text{ფართ. } \Delta AF_1F} \right]. \end{aligned}$$

F_1F გვერდის პორიზონტთან დახრის კუთხის ε -ით თუ აღენიშნაეთ მივიღებთ, რომ F_1K_1KF პარალელოგრამის სიმაღლე K_1F_1 ფუძის, შექმნილია ε -ით არის $FF_1 \cos \varepsilon$; მისი ფართობი კი იქნება:

$$\text{ფართ. } F_1K_1KF = F_1K_1 \cdot F_1F \cdot \cos \varepsilon = h_r \cdot F_1F \cdot \cos \varepsilon.$$

ΔAF_1F სამკუთხედის ფართობი იქნება:

$$\text{ფართი } \Delta AF_1F = \frac{1}{2} F_1F \cdot h_1.$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$\Delta P = \gamma \cdot \text{ფართი } \Delta AF_1F \left(1 + \frac{h_r \cdot F_1F \cdot \cos \varepsilon}{\frac{1}{2} F_1F \cdot h_1} \right).$$

ამისდამიხედვით გვაქვს:

$$\begin{aligned} \frac{P}{\Delta P} &= \frac{F\gamma}{\gamma \cdot \text{ფართი } \Delta AF_1F \left(1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h_1} \right)} = \\ &= \frac{F}{\text{ფართი } \Delta AF_1F \left(1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h_1} \right)}. \end{aligned}$$

ავაგოთ ჩამონგრევის პრიზმაზე იქმედი ძალთა გეგმა, რის დროსაც მას-შტაბი ისე უნდა შეეარჩიოთ, რომ Q ძალა ძალთა გეგმაში გაიზომოს საყრდნობი კედლის ნახაზის AF სიგრძის ტოლი RS მონაკვეთით, ე. ი. მივიღებთ:

$$Q = RS = AF.$$

თუ ვისარგებლებთ პირობით, რომ ერთმანეთისაგან ელემენტარული მანძილით დაშორებულ ჩამონგრევის სიბრტყეებისათვის მიწის დაწნევა $\max E$ -ს ტოლია, დავასკვნით, რომ $ABMK_1F_1A$ პრიზმის $P - \Delta P$ წონა აგრეთვე უნდა გაწონასწორდეს E ძალით და ახალი Q_1 ძალით. ძალთა გეგმაში R წერტილიდან ΔP ძალას თუ გადაეზომოთ, მივიღებთ, რომ

$$\angle R'SR = \angle \Delta \alpha,$$

რადგან Q და Q_1 ძალებს შორისი კუთხე ისეთივეა, როგორც AF და AF_1 სიბრტყეებს შორის. იმისგამო, რომ ΔOSR და $\Delta R'SR$ სამკუთხედებს აქვთ ტოლი სიმაღლე, ნახაზის მიხედვით დაეწეროთ, რომ:

$$\frac{P}{\Delta P} = \frac{\text{ფართი } \Delta SOR}{\text{ფართი } \Delta RSR'}.$$

საყრდნობის კედლის ნახაზიდან მიღებული $\frac{P}{\Delta P}$ გამოსახულების და ძალთა გეგმიდან მიღებული $\frac{P}{\Delta P}$ გამოსახულების გატოლებით, მივიღებთ:

$$\frac{\text{ფართი } \Delta SOR}{\text{ფართი } \Delta RSR'} = \frac{\text{ფართი } F}{\text{ფართი } \Delta AF_1F \left(1 + \frac{2h_r \cdot \cos \varepsilon}{h_1} \right)},$$

რადგან აგების მიხედვით

$$SR = Q = AF,$$

ამიტომ

$$\text{ფართი } \Delta RSR' = \text{ფართი } \Delta AF_1F.$$

მარცხენა და მარჯვენა ნაწილის

$$\text{ფართი } \Delta RSR' = \text{ფართი } \Delta AF_1F\text{-ზე}$$

შეკვეციით მივიღებთ:

$$\text{ფართი } F = \text{ფართი } \Delta SOR \left(1 + \frac{2h_r \cdot \cos \varepsilon}{h_1} \right).$$

E დაწნევისა და შვეულის მიერ შედგენილი კუთხე ρ ასოთი აღნიშნოთ (ძალთა გეგმაში იგივე $\angle SOR$). F წერტილზე გავატაროთ IF ხაზი, რომელიც AC ხაზთან ρ კუთხითაა დახრილი, ვპოულობთ:

$$\Delta AFI = \Delta SOR, \text{ რადგან } AF = RS;$$

$$\angle AIF = \rho = \angle SOR; \angle SRO = \angle (\alpha - \varphi) = \angle FAC, \text{ აქედან:}$$

$$\boxed{\text{ფართი } F = \text{ფართი } \Delta AFI \left(1 + \frac{2h_r \cdot \cos \varepsilon}{h_1} \right).}$$

ეს დამოკიდებულება გვაძლევს ჩამონგრევის AF სიბრტყის განზღვრის გეომეტრიულ ნიშანსახეას.

§ 51. მიწის დაწნევის სიღიღის განსაზღვრა.

მიწის დაწნევის სიღიღის (maxE) განსაზღვრისათვის იგევე ნახ. 106-ით-ვისარგებლოთ. აეაგოთ

$$FL \perp AI \text{ და } F'I = FI.$$

სამკუთხედების მსგავსებიდან:

$$\Delta AFI' \text{ თ } \Delta SOR,$$

შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$\max E \cdot P = \overline{FI} : \overline{AI},$$

საიდანაც:

$$\max E = P \frac{FI}{AI}.$$

მაგრამ $P = \gamma F$, ამიტომ

$$\max E = \gamma F \frac{FI}{AI}.$$

F-ის ნაკვალად § 50-ში შემოღებული მისი მნიშვნელობის ჩასმით, მი-ვიღებთ:

$$\max E = \gamma \text{ ფართი } \Delta AFI \frac{FI}{AI} \left(1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h_1} \right).$$

$$\text{აქ ფართობი } \Delta AFI = \frac{1}{2} AI \cdot FL = \frac{1}{2} AI \cdot h,$$

ამიტომ:

$$\begin{aligned} \max E &= \gamma \frac{AI \cdot h \cdot FI}{2AI} \left(1 + \frac{2h_r \cos \epsilon'}{h_1} \right) = \\ &= \gamma \frac{F'I \cdot h}{2} \left(\frac{1 + 2h_r \cos \epsilon}{h_1} \right). \end{aligned}$$

აქედან:

$$\boxed{\max E = \gamma \text{ ფარ. } \Delta FIF' \left(1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h_1} \right),}$$

ე. ი. მაქსიმალური დაწნევის სიღიღის განზღვრისათვის უნ-და განისაზღვროს $\Delta FIF'$ სამკუთხედის ფართობი და იგი უნდა გამრავლდეს მთელი ყამირის მოცულობით წონაზე და, თუ მოიპოვებბა დროებითი დატვირთვა, კიდევ უნდა გამრავლდეს $\left(1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h_1} \right)$ ორწევრზე.

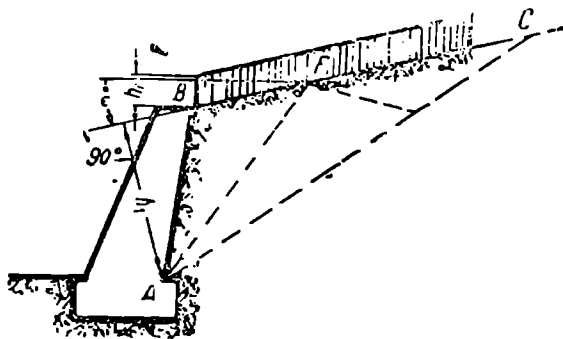
§ 52. შემთხვევა, როცა დედამიწის ზედაპირი სიბრტყეს წარმოადგენს.

ამ შემთხვევაში BF ხაზი სწორხაზს წარმოადგენს (ნახ. 107), F ფართობი კი სამკუთხედის და პარალელოგრამის ფართობებისაგან შესდგება:

$$\text{ფართი } F = \text{ფართ. } \Delta ABF + h_r \cdot BF \cos \varepsilon.$$

აქედან:

$$\begin{aligned} \text{ფართ. } F &= \text{ფართ. } \Delta ABF \left(1 + \frac{h_r \cdot BF \cdot \cos \varepsilon}{\frac{1}{2} BF \cdot h_1} \right) = \\ &= \text{ფართ. } \Delta ABF \left(1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h_1} \right). \end{aligned}$$



ნახ. 107.

F ფართობის მიღებულ ამ ფორმულას თუ დაუპირისპირებთ § 50-ში ამოხსნილ ფართობის ფორმულას ვიპოვიტ, რომ იმ შემთხვევაში, როცა დედამიწის ზედაპირი წარმოადგენს სიბრტყეს:

$$\text{ფართ. } \Delta ABF = \text{ფართ. } \Delta AFI.$$

მაშასადამე, იმ შემთხვევაში, როცა დედამიწის ზედაპირი სიბრტყეს წარმოადგენს, სრულიად გარკვეულ მდებარეობას მიიღებს ჩამონგრევის AF სიბრტყე, რაიც არ არის დამოკიდებული დროებით h_r დატვირთვაზე.

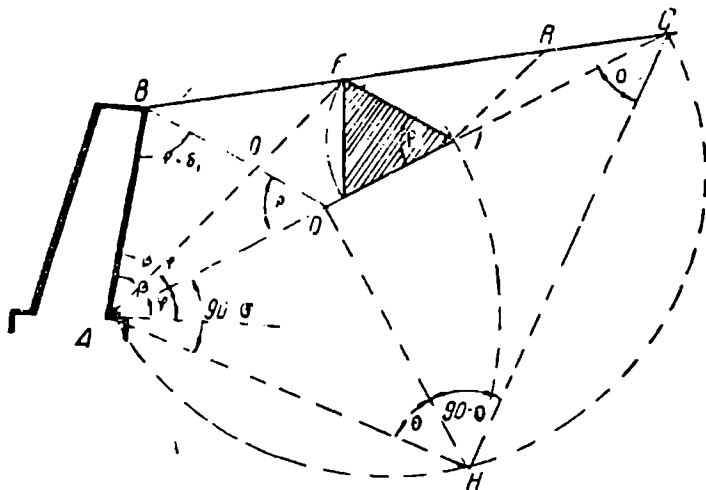
§ 53. ჩამონგრევის ფართობის ვრცელყოფილი წახით განსაზღვრა. ჩამონგრევის წახი:

ნახ. 106-ზე კედლის უკანა წახნაგისა და პორიზონტის მიერ შედგენილი კუთხე β -თი აღენიშნოთ. მაშინ უკანა კედლის ნორმალისა და შეეულის მიერ შედგენილი კუთხე, გვერდთა პერპენდიკულარობის გამო, აგრეთვე უდრის β -ს, საიდანაც:

$$\beta + \rho + \delta_1 = 180^\circ,$$

$$\beta = 180^\circ - \rho - \delta_1.$$

B წერტილიდან (ნახ. 108) AC ხაზთან ρ კუთხით გავატაროთ BD სწორ-
ხაზი. მაშინ ვიპოვიოთ, რომ $\triangle ABD$ სამკუთხედში B წვეროსთან შედგენილი
კუთხე უდრის:



ნახ. 108.

$$\angle ABD = 180^\circ - \rho - (\beta - \varphi) = 180^\circ - \rho - \beta + \varphi.$$

β -ს ნაცულად მისი მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ:

$$\angle ABD = 180^\circ - \rho - 180^\circ + \rho + \delta_1 + \varphi = \delta_1 + \varphi.$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ B წერტილიდან საყრდნობი კედლის უკანა წახ-
ნავის მიმართ $\varphi + \delta_1$ კუთხით თუ გავატარებთ BD ხაზს, მაშინ იგი AC ხაზ-
თან შეადგენს ρ კუთხეს, ე. ი. იგი FI ხაზის პარალელური იქნება.

I წერტილიდან გავატაროთ ხაზი IR₁ AF. რადგან $\triangle ABF$ და $\triangle AFI$ ტოლ-
სიდიდისანი არიან, ამიტომ საერთო AF ფუძის შემთხვევაში B და I წერტილები-
დან სიმალეები ურთიერთ თანატოლი უნდა იყოს, მაშასადამე, B და I წერ-
ტილები ერთნაირი მანძილით არიან დაშორებულნი A F ხაზიდან.

AF ხაზიდან თანატოლად დაშორებულ B და I წერტილებიდან AF ხაზი-
სადმი ერთნაირი კუთხით დახრილი და ურთიერთ პარალელური ორი BO და
FI ხაზებია გატარებული, ეს ხაზები ტოლები იქნებიან:

$$BO = FI.$$

სამკუთხედების ტოლობიდან

$$\Delta BOF = \Delta FIR$$

($BO = FI$; $\angle FBO = \angle RFI$ და $\angle BOF = \angle FIR$) გვაქვს, რომ:

$$BF = FR.$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$\Delta AFC \text{ ო } \Delta IRC,$$

$$\Delta BDC \text{ ო } \Delta FIC,$$

საიდანაც

$$\frac{\overline{BF}}{\overline{FC}} = \frac{\overline{DI}}{\overline{IC}} = \frac{\overline{AI} - \overline{AD}}{\overline{AC} - \overline{AI}} \text{ და}$$

$$\overline{FR} : \overline{FC} = \overline{AI} : \overline{AC}.$$

$\overline{FR} = \overline{BF}$ ტოლობის გამო მივიღებთ:

$$\frac{\overline{AI} - \overline{AD}}{\overline{AC} - \overline{AI}} = \frac{\overline{AI}}{\overline{AC}},$$

საიდანაც:

$$\overline{AI} \cdot \overline{AC} - \overline{AD} \cdot \overline{AC} = \overline{AC} \cdot \overline{AI} - \overline{AI}^2$$

ანუ

$$\overline{AD} \cdot \overline{AC} = \overline{AI}^2,$$

ე. ი. AI საშუალო პროპორციულია AD და AC მონაკვეთებს შორის.

აქედან დასკვნა: I წერტილის ასაგებად AC დიამეტრზე შემოვწერთ ნახევარ წრეხაზს. D წერტილიდან აღმართავთ DH პერპენდიკულიარს. შემდეგ გადავზომავთ $AI = AH$.

მართლაც ΔAHC ო ΔAHD მსგავსებიდან გვაქვს:

$$\overline{AH} : \overline{AC} = \overline{AD} : \overline{AH},$$

საიდანაც:

$$\overline{AH}^2 = \overline{AI}^2 = \overline{AC} \cdot \overline{AD}.$$

ამნიარად, F წერტილის ასაგებათ B წერტილზე უნდა გავატაროთ $\varphi + \beta_1$ კუთხით BD ხაზი, D წერტილიდან აღმართათ AC -ს პერპენდიკულიარია AC დიამეტრზე აგებული ნახევარწრეხაზის H წერტილში შეხვედრამდე, მოვკვეთოთ $AI = AH$ და, დაბოლოს, I წერტილიდან გავატაროთ BD -ს პარალელური IF ხაზი.

A და F წერტილების შეერთებით, მივიღებთ ჩამონგრევის სიბრტყის კვალს.

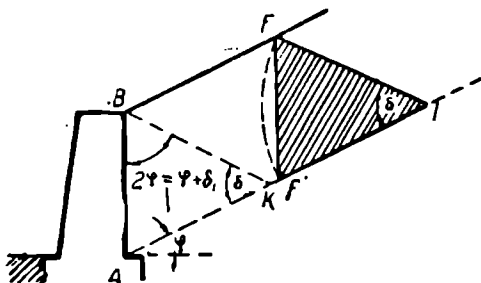
ეხლა ადვილად ავაგებთ $\Delta FF'I$ სამკუთხედს, რომლის ფართს γ ზე გადა-
 მრავლება მიწის უდიდეს წნევას ($\max E$) გვაძლევს საყრდნობ კედელზე.

AH რადიუსით მოკვეთა მეორე მხარეს რომ ვაწარმოთ A წერტილის
 იქეთ AC ხაზის გაგრძელებაზე, მაშინ მივიღებდით განწმევის უდიდესი სიდი-
 დის, ე. ი. $\min E$, სათანადო I' წერტილს.

FIF' სამკუთხედი $\max E$ -ს რომ ეთანადება და არა $\min E$, § 49-ის შავა-
 ლითში განხილულ მსჯელობისა და დასკვნებიდან გამომდინარეობს. რაც შეეხე-
 ბა $\min E$, ასეთი აბსოლუტური მნიშვნელობით გაცილებით ალეპატება $\max E$,
 რაიც დასტურდება ამ თავის § 49-ში აღწერილი ცლით.

§ 54. რეპანის სამკუთხედის აგების სხვადასხვა შემთხვევაში.

1. ააგეთ რეპანის სამკუთხედი, თუ BF სიბრტყე, რომელიც ზემოდან
 საზღვრავს მიწის მასას, ბუნებრივი ქანობის სიბრტყის პარალელურია, ე. ი.
 პორიზონტთან ადგენს კუთხეს $\angle \epsilon = \angle \varphi$ (ნახ. 109).



ნახ. 109.

ამოხსნა. C წერტილი უსასრულოდ იკარგება, ამიტომ I წერტილიც
 იკარგება უსასრულოდ. ამ შემთხვევაში სრიალის ხაზი ცხადია ემთხვევა ბუ-
 ნებრივი ქანობის AI ხაზს. მეორე მხრივ ცხადია, რომ თანაპარალელობისა გამო
 BF და AI ხაზებს შორის მანძილი მუდმივია. A წერტილიდან ნებისმიერ სი-
 შორეზე.

მაშასადამე, ჩვენ შევიძლებთ რეპანის სამკუთხედის აგებას, თუ I წერტი-
 ლად მივიღებთ ნებისმიერ წერტილს AI სწორზე.

აგება შემდეგზე დაიყვანება: B წერტილიდან გავატარებთ BK ხაზს, რო-
 მელიც AB კედელთან ადგენს კუთხეს

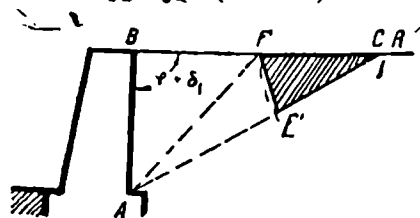
$$\varphi + \delta_1 = 2\varphi;$$

შემდეგ ნებისმიერ I წერტილიდან გავატარებთ

$$IF \parallel BK \text{ და } IF' = IF.$$

შევაერთებთ F და F' წერტილებს.

2. D წერტილის C წერტილთან თანხედენის შემთხვევისათვის ააგეთ რეპანის სამკუთხედი (ნახ. 110).



ნახ. 110.

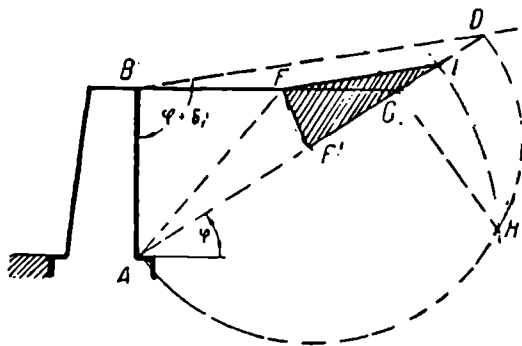
ამოხსნა. როგორც ზემოდ იყო ამოხსნილი

$$BF = RF.$$

ამ შემთხვევაში I წერტილი ხედება C წერტილს. R წერტილიც ხედება C წერტილს. მაშასადამე, F წერტილი სძევს BC ხაზის შუაადგილას, ე. ი.

$$BF = FC.$$

3. ააგეთ რეპანის სამკუთხედი იმ შემთხვევისათვის, როცა D წერტილი შორდება მიწის მასის ზღვარს (ნახ. 111).



ნახ. 111.

ამოხსნა. აგება უწინდელი რჩება, მხოლოდ C და D წერტილები შეიცვლიან ადგილებს, რადგან ამ შემთხვევაში AI საშუალო პროპორციულია AD და AC-ს შორის.

კითხვები, და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. როგორ გავლენას ახდენს დროებითი დატვირთვის სიდიდე ჩამონგრევის სიბრტყეზე, თუ მიწის ზედაპირი ამ შემთხვევაში წარმოადგენს სიბრტყეს?
2. ახდენს თუ არა დროებითი დატვირთვის სიდიდე გავლენას დაწნევის სიდიდეზე, როცა დედამიწის ზედაპირი სიბრტყეს წარმოადგენს?
3. ნახ. 106-ზე გამოარკვეეთ, როდის იქნება E დაწნევის სიდიდე მეტი, როცა $\alpha_1 = 0$, თუ $\alpha_1 = \varphi$ შემთხვევაში?
4. რომელ შემთხვევაში იქნება კედელი მეტად არახელსაყრელ პირობებში, როცა ნაყარი მშრალი სილისაა, თუ წყლით გაქვნილი სილის?

5. კედლის სისქეში რისთვის სტოვებენ კიკვირტანებს?

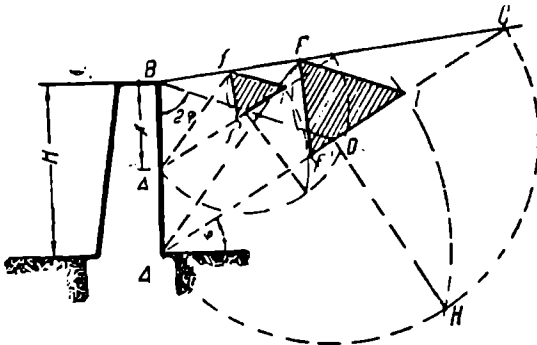
6. წყლის შეცულობის მიხედვით, როგორ იცვლება მიწის ნაყარის ბუნებრივი ქანობი?

§ 55. მიწის ფენის განრიგება საპარალელური კედლის უკანა სიბრტყეში.

საყარნობი კედლის უკანა წახნაგზე წილხვედრილი მიწის წნევა, ცხადია არ იქნება კედელზე მოდებული შთაწერტული ძალა, არამედ იგი კედლის მთელ H სიმაღლეზე განრიგებული იქნება.

გამოვიკვლიოთ, თუ როგორი წესით ხდება ამ E წნევის განრიგება კედლის სიმაღლეზე.

ისეთი შემთხვევა განვიხილოთ, როცა არ მოგვეპოება დროებითი დატვირთვა. კედლის იქეთ მიწის ზედაპირი კი წარმოადგენს BC დახრილ სიბრტყეს (ნახ. 112).



ნახ. 112.

უწინდლად ავაგოთ რეგზხანის $\Delta FIF'$ სამკუთხედი. სრული წნევა $\max E$ კედელზე იქნება:

$$\max E = \text{ფართი } \Delta FIF' \cdot \gamma$$

კედლის ზედა ნაწილიდან x მანძილს დაშორებით ავიღოთ A' წერტილი და x სიმაღლის $A'B$ კედლისათვის ავაგოთ რეგზხანის სამკუთხედი. ამ $A'B$ კედელზე წნევა იქნება:

$$E_x = \text{ფართი } f i f' \cdot \gamma$$

აგებისას ვამჩნევთ, რომ ორთავე შემთხვევაში მივიღეთ ერთნაირი ჩამონგრევის ხაზები, და მეორე ანაგები პირველის ზუსტ განმეორებას წარმოადგენს, თუმცა იმდენჯერ განმეორდება, რამდენჯერაც კედლის x სიმაღლე მცირეა H სიმაღლეზე. ამიტომ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ

$$\Delta FIF' \text{ თ } f i f'.$$

მაგრამ მსგავსი სამკუთხედების ფართობების შეფარდება მათი მსგავსი გვერდების კვადრატთა ფართობის ტოლია.

ამიტომ:

$$E_x : \max E = \text{ფართი } \Delta f | f' : \text{ფართი } \Delta F | F' = x^2 : H^2;$$

საიდანაც:

$$E_x = \max E \cdot \frac{x^2}{H^2}.$$

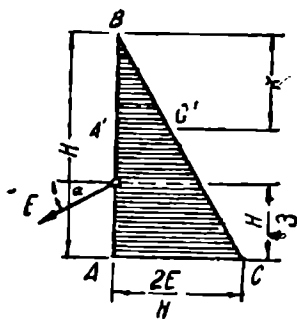
E განბიჯგი H სიმაღლიანი ΔABC სამკუთხედის ფართობის სახით წარმოვიდგინოთ (ნახ. 113). მაშინ ამ სამკუთხედის ფუძე ტოლი უნდა იყოს $\frac{2E}{H}$.

B წვეროდან x მანძილის დაშორებით AC ხაზის პარალელური $A'C'$ ხაზი გავატაროთ. ამ შემთხვევაში ჩვენ მივიღებთ პირობის დამაკმაყოფილებელ $A'BC'$ სამკუთხედს:

$$\text{ფართობი } \Delta A'BC' = \text{ფართ. } \Delta ABC \cdot \frac{x^2}{H^2} = \max E \cdot \frac{x^2}{H^2}.$$

მაშასადამე $\Delta A'BC'$ სამკუთხედის ფართობი წარმოადგენს E_x განბიჯგის სიდიდეს, რომელიც x სიმაღლის კეფელს ეთანადება:

$$E_x = \text{ფართ. } \Delta A'BC'$$



ნახ. 113.

მაშასადამე, სხედასხვა სიმაღლის კედლებისათვის განბიჯგის სიდიდის მოსაძებნად საკმარისია ერთჯერ ავაგოთ რეგზხანის სამკუთხედი, ავაგოთ ნახ. 113 ზე წარმოდგენილი დიაგრამა, და საჭირო სიღრმეზე გავატაროთ AC ხაზის პარალელური ხაზი.

x სიღრმეზე ავიღოთ ელემენტარული ფართობი $dx \cdot l$ (ნახაზს სიბრტყის პერპენდიკულარულად). ამ ფართობზე გამაფალი განბიჯგის სიდიდე იქნება dE_x . მაშასადამე, წნევის ქინება განსახილველ წერტილში ასე განიზღვრება:

$$\frac{dE_x}{dx}.$$

E_x -ის დაწერილი განტოლება განვაწარმოოთ x-ით და მივიღებთ:

$$\frac{dE_x}{dx} = \frac{E}{H^2} 2x.$$

მიღებულ განტოლებიდან გამომდინარე, რომ განბიჯვით წარმოშობილი ქინვა იცვლება სწორი ხაზის კანონით (რადგან x პირველი ხარისხით შედის).

$x = 0$ დროს B წერტილის ქინვა ნულს უდრის. $x = H$ დროს A წერტილის ქინვა $\frac{2E}{H}$ სიდიდით გადაიქცევა. მაშ ნახ. 113-ზე წარმოდგენილი ABC სამ.

კუთხედი მიწის კედელზე წნევის ქინვათა ეპიურას აღსახავს.

ქინვათა ეპიურის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ E განბიჯვის შოდების წერტილის მდებარეობა, რომელიც როგორც წნევათა ცენტრი A წერტილიდან $\frac{H}{3}$ სიმაღლეზე უნდა მდებარეობდეს.

E განბიჯვი კედლის უკანა წახნაგის ნორმალთან შეადგენს α_1 კუთხეს.

ამნაირად ჩვენ შევძლებთ E განბიჯვის მიმართულების, სიდიდის და შოდების წერტილის განსაზღვრა.

ესლა ის შემთხვევა განვიხილოთ, როცა საქმე გვაქვს დროებით $q \frac{kg}{m^2}$

დატვირთვასთან. თავდაპირველად ჩამოვყალიბოთ დატვირთვა h სიმაღლეზე. მდებარე მიწის ფენისათვის (ნახ. 114). ამ შემთხვევაში მიწის E განბიჯვი ტოლი იქნება:

$$\max E = \text{ფართი } \Delta FIF' \cdot \gamma \left(1 + \frac{2h_r \cos \alpha}{h'} \right).$$

ეს გამოსახულება ორ ნაწილისაგან შესდგება:

$$1) E' = \text{ფართი } \Delta FIF' \cdot \gamma$$

და

$$2) E'' = \text{ფართი } \Delta FIF' \cdot \gamma \frac{2h_r \cos \alpha}{h'}.$$

რადგან სრიალის ხაზის მდებარეობა არ არის დამოკიდებული დროებითი დატვირთვის არსებობაზე, ამიტომ ამ შემთხვევაშიაც x სიმაღლის კედლისათვის პგებული რეპზხანის სამკუთხედი H სიმაღლის კედლისათვის აგებული სამკუთხედის მსგავსი იქნება (ნახ. 114).

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ

$$h' : h'_x = H : x,$$

საიდანაც

$$h'_x = h' \frac{x}{H}.$$

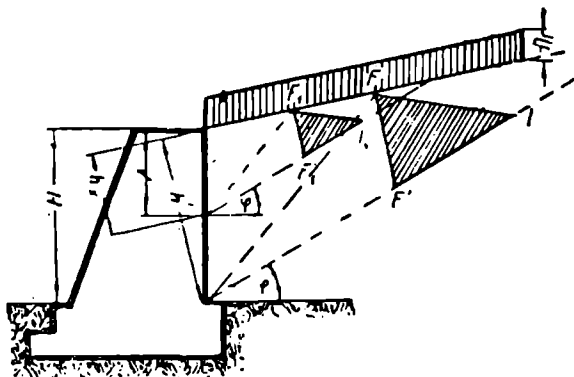
მაშასადამე, x სიღრმისათვის დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული განბიჯვის სიდიდე იქნება:

$$E''_x = \text{ფარ. } \Delta FIF' \frac{x^2}{H^2} \cdot \gamma \frac{2h_r \cos \alpha H}{h'x} = E'' \frac{x}{H}.$$

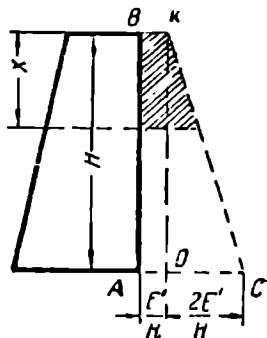
განვსაზღვროთ დროებითი დატვირთვისაგან x სიღრმეზე წნევით გამოწვეული კინვის სიდიდე:

$$\frac{dE''_x}{dx} = \frac{E''}{H}.$$

მიღებული ფორმულა გვიჩვენებს, რომ ეს კინვა არ არის დამოკიდებული x სიღრმეზე და ნებისმიერ წერტილში უდრის დროებითი დატვირთვით გამოწვეული E'' განბიჯგის შეუარლებას H სიღრმის სიდიდეზე.



ნახ. 114.



ნახ. 115.

ამნაირად დროებითი დატვირთვით გამოწვეული კინვათა ეპიურა წარმოიდგინება H სიმაღლიანი და $\frac{E''}{H}$ ფუძიანი $ABKD$ სწორკუთხედით (ნახ. 115).

E' და E'' განბიჯგების ერთდროულ ქმედებაზე თუ გადავალთ, შევნიშნავთ, რომ $\max E$ -ის კინვათა საერთო ეპიურა გვაძლევს $ABKC$ ტრაპეციას, რომელშიაც ზედა ფუძის სიდიდეა $\frac{E''}{H}$, ქვედაა $\frac{E''}{H} + \frac{2E'}{H}$, სიმაღლე კი არის

$$H. \text{ (ამ ტრაპეციის ფართობია: } \max E = \frac{E'' + E'' + 2E'}{2H} \cdot H = E' + E'').$$

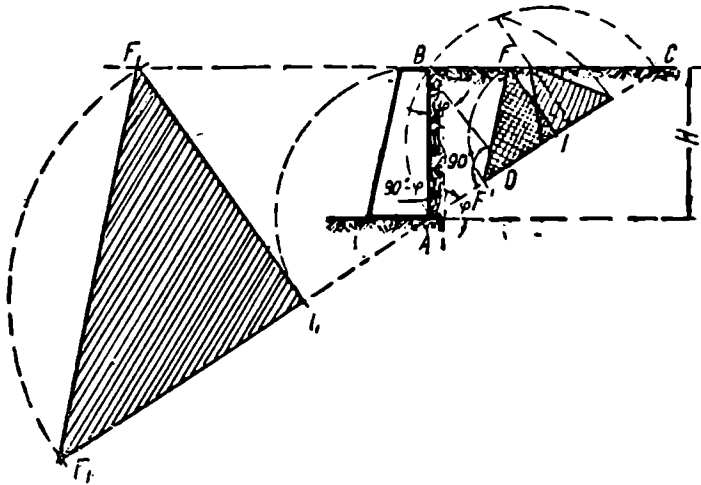
E განბიჯგის მოდების წერტილი სძევს $ABKC$ ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის სიმაღლეზე.

§ 56. მიწის წნევის ანალიზური გამოსახლება.

განვიხილოთ მიწის განბიჯგის კერძო შემთხვევა, როცა ნაყარს პორიზონტალური ზედაპირი აქვს, კედლის უკანა სიბრტყე ვერტიკალურია და მიწის სახეიანი კედლის სიბრტყეზე ნულის ტოლია: $\delta_1 = 0$.

გულეებას, რომ კუთხე $\alpha_1 = 0^\circ$, ეთანადება მიწის მასის მოსვენებული მდგომარეობა (გეოსტატიური შემთხვევა), მაშინ როცა მიწის მასის მო-

ძრავობისაქენ მისწრაფებისას წარმოიშობა ხახუნი მასსა და კედლის უკანა წახნაგს შორის (გეო დინამიური შემთხვევა).



ნახ. 116.

მიწის $\max E$ განბიჯვის ზოგადი ფორმულა, როცა მოქმედობს დროებითი დატვირთვა, მიწა პორიზონტალურათაა დაყრილი (ე. ი. $\varepsilon = 0$ და $\cos \varepsilon = \cos 0 = 1$) და კედლის სიმაღლეა H , ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\max E = \text{ფარ. } \Delta FIF' \cdot \gamma \left(1 + \frac{2h_r}{H} \right).$$

რადგან $\delta_1 = 0$, ამიტომ კუთხე $\angle ABD = \varphi + \delta_1 = \varphi$; ხოლო $\angle BAC = 90^\circ - \varphi$. მაშ, ΔABD სამკუთხედის მესამე კუთხე (ნახ. 16) ტოლი იქნება:

$$\angle ADB = 180^\circ - (90^\circ - \varphi) - \varphi = 90^\circ,$$

ე. ი. BD სწორხაზი ბუნებრივი AC ქანობის ხაზის პერპენდიკულიარია ($BD \perp AC$). მაშასადამე, BD ხაზის პარალელური IF ხაზი იქნება AC ხაზის პერპენდიკულიარული ($IF \perp AC$). რადგან $BD \perp AC$, ამიტომ DH მიმართულება ემთხვევა DB -ს და რადგან $\angle ABC = 90^\circ$ ეყრდნობა ნახევარწრის AC დიამეტრს, ამიტომ B წვერო უნდა სძევდეს ნახევარწრეზე, ე. ი. H წერტილი ემთხვევა B წერტილს.

აქედან გამომდინარეობს, რომ I წერტილის მისაღებად უნდა გადიზომოს $AB = AI = H$. სწორკუთხიანი ΔABF და ΔAFI სამკუთხედები ურთიერთ თანატოლებია, რადგან მათ აქვთ საერთო AF გვერდი, ხოლო AB და AI გვერდები ერთნაირებია და თითოეული მათგანი უდრის H -ს.

ამ სამკუთხედების ტოლობიდან გვაქვს, რომ:

$$\angle BAF = \angle FAI = \frac{90 - \varphi}{2} = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}.$$

აქედან რებზხანის სამკუთხედის ფართობი ტოლი იქნება:

$$\text{ფარ. } \Delta FIF' = \frac{FI^2}{2} = \frac{\left[\frac{H \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{2} \right]^2}{2} = \frac{H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

მაშასადამე

$$\max E = \frac{H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \gamma \left(1 + \frac{2h_r}{H} \right)$$

ანუ

$$\max E = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) (H^2 + 2 H h_r).$$

AB კედლის მეორე მხარეს აგებული მეორე $\Delta F_1 I_1 F_1'$ სამკუთხედის ფართობი დედამიწის უმცირესი პასიური წნევის განწნევის პროპორციულია. მისი ანალიზური მნიშვნელობაა:

$$\min E = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) (H^2 + 2 H' h_r).$$

ნახ. 116-ზე გეოდინამიური შემთხვევისათვის აგებული რებზხანის სამკუთხედი ($\beta_2 = \varphi$) გვიჩვენებს, რომ ამ შემთხვევაში მიწის დაწნევა გეოსტატიური წნევაზე ცოტათი მცირეა.

ამოცანა. განვსაზღვროთ გეოსტატიური განწნევა თუ რამდენჯერ მეტია დაწნევაზე, როცა ბუნებრივი ქანობის კუთხეა $\angle \varphi = 45^\circ$; ან, როცა $\angle \varphi = 30^\circ$.

ამოხსნა. ავიღოთ ფარდობა:

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} = \mu.$$

მაშასადამე:

როცა $\varphi = 45^\circ$,

$$\mu_1 = \frac{\operatorname{tg}^2 67,5^\circ}{\operatorname{tg}^2 22,5^\circ} = \left(\frac{2,414}{0,414} \right)^2 = 34 \text{ (ჯერ),}$$

როცა $\varphi = 30^\circ$,

$$\mu_2 = \frac{\operatorname{tg}^2 60^\circ}{\operatorname{tg}^2 30^\circ} = \left(\frac{1,732}{0,577} \right)^2 = 9 \text{ (ჯერ).}$$

§ 57. საყრდნობი კედლების ანგარიში.

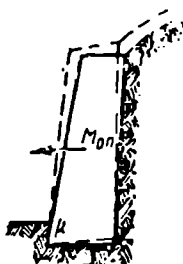
საყრდნობი კედლის ანგარიში შემდეგი გზით უნდა სწარმოებდეს:

1) კედლის სისქე ისეთნაირად უნდა განისაზღვროს, რომ საყრდნობი კედლის წყობის არცერთ ნაკერში არ იქმნას მიღებული დასაშვებზე მეტი სიდიდის ქინეა.

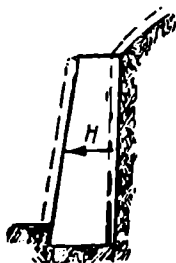
2) ქვის წყობაში არ უნდა წარმოიშვას კიმალი ქინეები, ე. ი. ტოლქედი არ უნდა განშორდეს კვეთის შუა ნაწილის შესამედს.

3) კედელი მდევარი უნდა იყოს წამოქცევის მიმართ. ეს შემთხვევა შესაძლოა მხოლოდ მტკიცე საძირკველის შემთხვევაში. წამოქცევისადმი მდევარობის კოეფიციენტი მიღებული ერთნაირი ნორმების მიერ უდრის 1,3-დან 1,5-დე, ე. ი. აუცილებელია, რომ კედლის G წონის და ერთნახევარი 1,5 E დაწნევის ტოლქმედი არ განშორდეს K კედლის წახნაგების ზღვრებს (ნახ. 117).

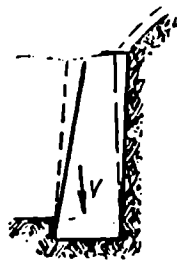
4) კედლები მდევარობას უნდა იჩენდნენ სრიალისადმი. აუცილებელია, რომ E დაწნევის H მდგენელი (რომელიც ფუძის პარალელურია) უნდა წარმოადგენდეს კედლის საფუძველზე ხახუნის კოეფიციენტის და კედლისა, წონისა და განბიჯვის იმ მდგენელის ნამრავლზე მცირე სიდიდეს, რომელიც ფუძის ნორმალს მისდევს (ნახ. 118).



ნახ. 117.



ნახ. 118.



ნახ. 119.

5) კედლის მდევარობა შიდახვევს, რომ ყამირზე წნევა არ აღემატებოდეს დასაშვებს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ქუსლის ქვეშ ყამირის თელვის გამო, კედელი შეიძლება წამოიქცეს დადაბლების გამო.

ამ შემთხვევაში შეუძლებელია მდევარობაზე ანგარიშის ჩატარება, რადგან საქმე გვაქვს მხოლოდ პორიზონტალური დაწნევის წამოქცევ მომენტთან (ნახ. 119).

მაგალითები საყრდნობ კედლების ანგარიშზე.

1. მოცემულია საყრდნობი კედელი შვეული უკანა წახნაგით, ნაყარის პორიზონტალური ზედაპირით და $p \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$ ინტენსიურობის დროებითი დატვირთვით. უნდა ჩავატაროთ კედლის სიმტკიცის და მდევარობის შემოწმება (ნახ. 120).

მოცულობა:

საყრდნობი კედლის სიმაღლეა:

$$H = 10 \text{ m};$$

ზედა ნაწილის სიგანეა:

$$a = 3 \text{ m};$$

ქვედა ნაწილის სიგანეა:

$$b = 6 \text{ m};$$

დროებითი დატვირთვის ინტენსიურობაა:

$$p = 3 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2};$$

ყაშირის 1 m-ის წონაა:

$$\gamma_{\text{ყაშ.}} = 1,5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3};$$

წყობის

$$\gamma_{\text{წყ.}} = 2,5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3};$$

ბუნებრივი ქანობის კუთხეა:

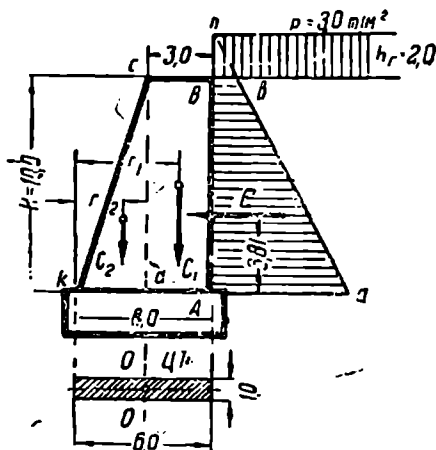
$$\varphi = 30^\circ;$$

ყაშირის კედელზე ხახუნის კუთხეა:

$$\delta_1 = 0^\circ;$$

წყობის ფენებს შორის ხახუნის კოეფიციენტია:

$$f = 0,50.$$



ნახ. 120.

ამოხსნა.

ა) ვიპოვოთ დროებითი დატვირთვის სიმაღლე:

$$h_r = \frac{p}{\gamma_{\text{ყაშირის}}} = \frac{3000}{1500} = 2 \text{ m}.$$

ბ) გამოვიანგარიშოთ ყაშირის უდიდესი აქტიური დაწნევა:

$$\max E = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1 \text{ t} \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \cdot (10^2 + 2 \cdot 10 \cdot 2) = 35,00 \text{ ton}.$$

გ) ავაგოთ წნევის დიაგრამა; იგი ABba ტრაპეციის სახეს მიიღებს.

რადგან ab სწორის გაგრძელება n წერტილზე უნდა გადიოდეს, ამიტომ Aa და Bnb სამკუთხედების მსგავსებიდან შეგვიძლია ვიპოვოთ, რომ

$$Bb : Aa = 2 : 12,$$

საიდანაც

$$Aa = 6 Bb,$$

ტრაპეციის ფართობი უდრის 35 ton, მაშ

$$\frac{Aa + Bb}{2} \cdot 10 = 35,$$

საიდანაც

$$Aa + Bb = 7$$

ანუ

$$6 Bb + Bb = 7,$$

ე. ი.

$$Bb = 1 \text{ და } Aa = 6.$$

დ) ვიპოვოთ $\max E$ მოდების წერტილი, რომელიც სძევს ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის სიმალეზე, ე. ი. ka ხაზიდან დაშორებულია შემდეგი მანძილით (სიმალლით):

$$y = \frac{H(Aa + 2Bb)}{3(Aa + Bb)} = \frac{10(6 + 2 \cdot 1)}{3(6 + 1)} = \frac{80}{21} = 3,81 \text{ mt.}$$

ე) განვსაზღვროთ საყრდნობი კედლის საანგარიშო უბნის წონა. შემდეგში რომ არ მოგვიხდეს ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატების ძებნა, ტრაპეცია გავყოთ ორ ნაწილად: $ABcd$ სწორკუთხედათ და dck სამკუთხედათ. როცა წუობის წონაა:

$$\gamma_{\text{წყ.}} = 2,5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3},$$

მივიღებთ:

$$\text{სწორკუთხედისათვის } G_1 = 10 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2,5 = 75 \text{ ton.}$$

$$\text{სამკუთხედისათვის } G_2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 2,5 = 37,5 \text{ ton.}$$

როგორც G_1 , ისე G_2 წონა მოდებული არიან სათანადო ნაწილების სიმძიმის ცენტრებში, სახელდობრ: k წერტილიდან $r_1 = 3 + \frac{1}{2} \cdot 3 = 4,5 \text{ mt}$ და $r_2 = 3 \cdot \frac{2}{3} = 2 \text{ mt}$ მანძილზე.

3) ქვედა წონა k ფერდთან შევამოწმოთ კედლის წამოქცევის შესაძლებლობა.

წამოქცევი მომენტი

$$M_{\text{წაგქ.}} = E \cdot y = 35 \cdot 3,81 = 133,3 \text{ ton. mt.}$$

მდგრადობის მომენტი:

$$M_{\text{მდგრ.}} = G_1 r_1 + G_2 r_2 = 75 \cdot 4,5 + 37,5 \cdot 2 = 412,5 \text{ ton. mt.}$$

მდგრადობის კოეფიციენტი:

$$k = \frac{412,5}{133,3} = 3,1 > 1,5.$$

ამნაირად საქმე გვაქვს წაქცევისადმი მდევარობის ზედმეტ მარავთან, რაიც იმაზე მიგვიჩვენებს, რომ არაეკონომიურათაა შერჩეული კვეთი.

ზ) შევამოწმოთ კედლის—საძირკველზე სრიალისადმი მდევარობა.

კედლის ამ ძრას ეწინააღმდეგება ხახუნი, რომლის სიდიდე შემდეგი ძალის ტოლია:

$$T = P \cdot f,$$

სადაც $P = G_1 + G_2$ ის ძალაა, რომლითაც კედლები მიკრულია სრიალის ზედაპირზე (მისი ნორმალურია). როცა $f = 0,5$, ვიპოვით:

$$T = (75 + 37,5) \cdot 0,5 = 56,25 \text{ ton.}$$

სრიალისადმი მდევარობის კოეფიციენტი:

$$K = \frac{\text{შემაზარებელი (ანუ შემზერებელი) ძალა}}{\text{ძრის ძალა}} = \frac{T}{E} = \frac{56,25}{35} = 1,6 > 1,5.$$

თ) კვეთი შევამოწმოთ სიმტკიცეზე.

რადგან P ძალა არ გადის ფუძის სიმძიმის (d) ცენტრზე, ამიტომ კედლის ქვედა Ak კვეთი განიცდის ექსცენტრიულ კუმშვას. გარდა ამისა კედელი განიცდის ლუნვას ჰორიზონტალური E ძალით.

ლუნვა და კუმშვის რთული დეფორმაციის შემთხვევაში ნორმალური კინებების განზღერისათვის გამოვიყენებთ ფორმულას:

$$\sigma = \frac{P}{F} \pm \frac{M}{W}.$$

აქ P — ნორმალური კუმშადი ძალაა, $P = 112,5 \text{ ton.}$

F — ქვედა კვეთის ფართობია kA ნაკერზე, ე. ი.

$$6 \times 1 = 6 \text{ mt}^2.$$

M — მლუნავი მომენტი kA კვეთში:

$$M = 35 \cdot 3,81 + 37,5 \cdot 1,00 + (-75 \cdot 1,5) = 59,7 \text{ ton mt.}$$

W — წინალობის მომენტი kA კვეთისათვის, ე. ი.

$$\frac{bh^2}{6} = \frac{1 \cdot 6^2}{6} = 6 \text{ mt}^3.$$

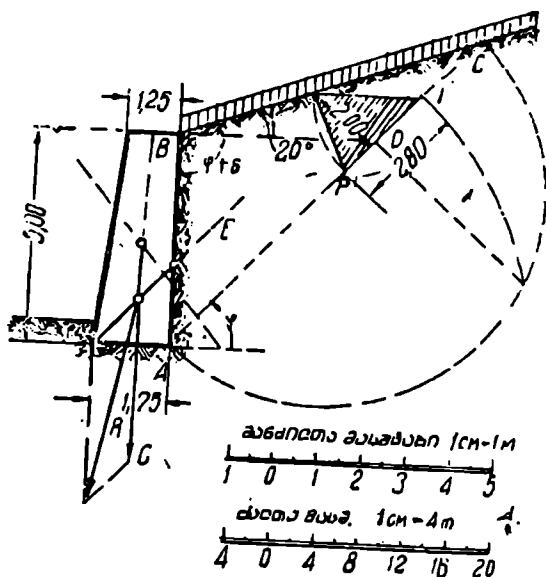
kg-ში და cm-ში გადაყვანით, ვიპოვით:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{112500}{60000} + \frac{5970000}{6000000} = 2,87 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2};$$

$$\sigma_{\text{min}} = 1,875 - 0,995 = 0,88 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

მაშასადამე, კინეზები დასაშვებზე მცირენია და წყობაში არ წარმოიშობა გაქიმვა, ე. ი. დატულია სიმტკიცის პირობები.

2. შეამოწმეთ ნახ. 121-ზე წარმოდგენილი საყრდნობი კედლის სიმტკიცე.



ნახ. 121.

მოცემულობა: დროებითი დატვირთვაა $800 \frac{\text{kg}}{\text{მ}^2}$. წყობის მოცულობითი წონაა $\gamma = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{მ}^3}$. კედლის იქეთ მიწისებრი ყაშირი ბუნებრივი სინესტისაა, რომლისთვისაც $\gamma = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{მ}^3}$, ბუნებრივი ქანობის კუთხეა $\varphi = 45^\circ$; $\delta_1 = \varphi$; $\delta_2 = \varphi$. კედლის სიმაღლეა 5 მ. ზედა ნაწილის სიგანეა 1,25 მ, ქვედასი კი 1,75 მ. გამოვიყენოთ ანგარიშის გრაფიკული მეთოდი რეზულტანტის წესის მიხედვით (ნახ. 121).

ამოხსნა.

ა) საყრდნობი კედლის წონაა

$$G = \frac{1,25 + 1,75}{2} \cdot 5 \cdot 2000 = 15000 \text{ kg.}$$

ბ) ავაგებთ რეპზანის სამკუთხედს: $\Delta FIF'$. გავზომოთ მასშტაბით მისი ფართობი:

$$\text{ფართი } \Delta FIF' = \frac{1}{2} \cdot 2,8 \cdot 2 = 2,80 \text{ mt}^2.$$

გ) განვსაზღვროთ დროებითი დატვირთვის დაყვანილი h_r სიმაღლე:

$$h_r = \frac{P}{\gamma} = \frac{800}{1600} = 0,5 \text{ mt}.$$

დ) განვსაზღვროთ E' და E'' დაწნევა:

$$E' = \text{ფართი } \Delta FIF' \cdot \gamma = 2,80 \cdot 1600 = 4480 \text{ kg}.$$

რადგან კედელი შეეულია, ამიტომ $h' = H \cos \varepsilon$, მაშასადამე:

$$E'' = E' \frac{2h_r \cdot \cos \varepsilon}{H \cos \varepsilon} = 4480 \frac{2 \cdot 0,5}{5} = 896 \text{ kg}.$$

ე) უდიდესი დაწნევა:

$$\max E = 4480 + 896 = 5376 \text{ kg}.$$

ვ) განვსაზღვროთ $\max E$ -ს მოდების წერტილიდან ქვედა ფუძემდე დაშორების y მანძილი:

ტრაპეციის ზედა ფუძეა:

$$b = \frac{E''}{H} = \frac{896}{5} = 179,2;$$

ტრაპეციის ქვედა ფუძეა

$$a = \frac{2E' + E''}{H} = \frac{2 \cdot 4480 + 896}{5} = 1971,2;$$

$$y = \frac{H}{3} \cdot \frac{(a + 2b)}{(a + b)} = \frac{5}{3} \cdot \frac{1971,2 + 2 \cdot 179,2}{1971,2 + 179,2} = 1,80 \text{ mt}.$$

ზ) გრაფიკულად ავაგოთ კედლის შეეული კვეთის სიმძიმის ცენტრი, მასზე მოვდოთ კედლის G წონა და მას დაუმატოთ ნახაზზე აგებული E ძალა. G და E ძალების R ტოლქმედი ქვედა ფუძეს შუა ადგილიდან $10 \text{ cm} = 0,1 \text{ mt}$ მანძილზე გადაკვეთს (ამას ჩვენ გაზომვით მივიღებთ). ეს იმაზე მიგვივითითებს, რომ წამოქცევისადმი მდებარება უზრუნველყოფილია.

თ) განვსაზღვროთ R ტოლქმედის შეეული მდგენელი, რომლითაც კედელი მიქედლია ფუძეზე:

$$P = G + E \sin \varphi = 15.000 + 5376 \cdot 0,707 = 18800 \text{ kg}.$$

ი) ვპოულობთ წნევას ყამირზე:

$$\sigma = \frac{P}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{18800}{175 \cdot 100} \pm \frac{18800 \cdot 10 \cdot 6}{100 \cdot 175 \cdot 175} = 1,07 \pm 0,37 = 1,44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

რაც საესებით დასაშვებია ($\delta_{\min} = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, მაშ კინეას არა აქვს ადგილი).

კ) შევამოწმოთ წყობის ყაპირზე სრიალი, მივიღოთ

$$f = 0,40.$$

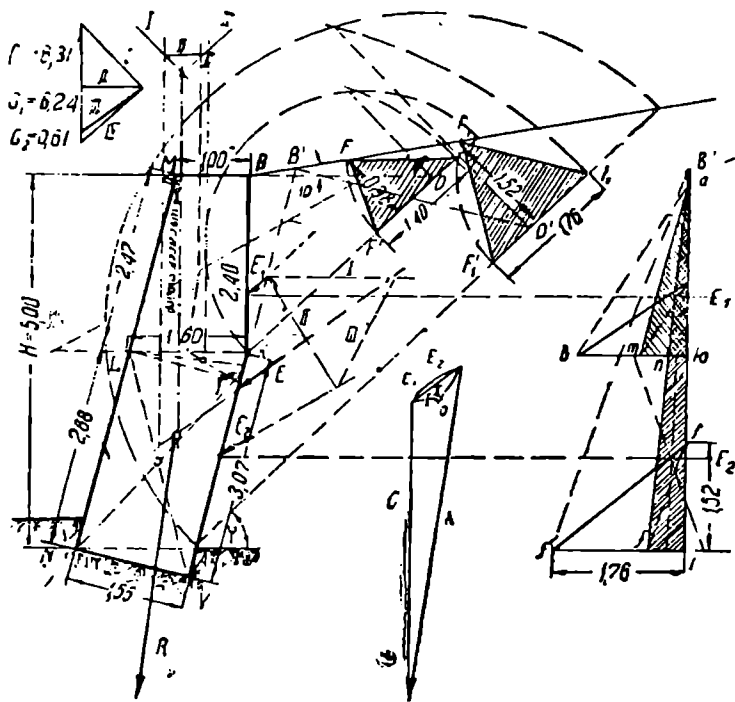
ძრის ძალას წარმოადგენს E დაწნევის პორიზონტალური მდგენელი, ე. ი.

$$E \cos \varphi = 5376 \cdot 0,707 = 3800 \text{ kg.}$$

$$K \text{ სრიალის } = \frac{P \cdot f}{3763} = \frac{18800 \cdot 0,4}{3800} = 2 > 1,5.$$

ამნაირად მდგეარობა სრიალისადმი უზრუნველყოფილია.

3. შევამოწმოთ ნახ. 122-ზე წარმოდგენილი საყრდნობი კედლის სიმტკიცის პირობები. მოცემულია:



ნახ. 122.

კედლის სიმაღლე შეეულებ
ზედნაწილის სივანა .
წინა წახნავეს აქვს დახრა
უკანა წახნაგი შეეულებ .

- . $H = 5 \text{ m};$
- . $1,00 \text{ m};$
- . $1 : 4;$
- . $2,40 \text{ m}$ მანძილზე;

უკანა წახნაგი 2,4 mt-ის ქვემოლ წინარას პარალელურია.
 ფუძე კედლის წახნაგების პერპენდიკულარულია.

$$\text{კედლის წყობის მოცულობითი წონაა} \quad \cdot \gamma_{\text{წყობის}} = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{mt}^3};$$

$$\text{ყამირის} \quad \cdot \gamma_{\text{ყამირის}} = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{mt}^3};$$

ხახუნის და ბუნებრივი ქანობის კუთხეებია:

$$\delta_1 = \delta_2 = \varphi = 45^\circ.$$

ამოხსნა.

ა) განვსაზღვროთ კედლის G წონა, რისთვისაც იგი სამ ელემენტად KBML, KLT და TLNV დავეყოთ, რომელთა წონაა G_1 , G_2 , G_3 . ვარკვევთ ჩვენთვის საჭირო კედლის ზომებს

$$LK = 1,00 + \frac{1}{4} \cdot 2,40 = 1,60 \text{ mt.}$$

$$LM = \sqrt{2,4^2 + 0,6^2} = 2,47 \text{ mt.}$$

$$LN = 2,47 \cdot \frac{2,6}{2,4} = 2,68 \text{ mt.}$$

$$\sin \alpha = 0,60 : 2,47 = 0,243; \quad \alpha = 14^\circ.$$

$$LT = 1,60 \cdot \cos 14^\circ = 1,55 \text{ mt.}$$

$$KT = 1,60 \cdot \sin 14^\circ = 0,39 \text{ mt.}$$

$$VK = 2,68 + 0,39 = 3,07 \text{ mt.}$$

KLM-ის წონა:

$$G_1 = \frac{1,00 + 1,60}{2} \cdot 2,40 \cdot 1 \cdot 2 = 6,24 \text{ ton.}$$

KLT-ს წონა:

$$G_2 = \frac{0,39 \cdot 1,55}{2} \cdot 1 \cdot 2 = 0,61 \text{ ton.}$$

TLNV-ს წონა:

$$G_3 = 2,68 \cdot 1,55 \cdot 1 \cdot 2 = 8,31 \text{ ton.}$$

მთლიანი კედლის წონა იქნება:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = 15,16 \text{ ton} = 15160 \text{ kg.}$$

ბ) G ძალის გავლენის ქმედების ხაზის მოძებნისათვის G_1 , G_2 და G_3 ძალებზე ავაგებთ ძალთა გეგმას და თოკის მრავალკუთხედს, რისთვისაც ძალებს სათანადოთ მოვდებთ ტრაპეციის, სამკუთხედის და სწორკუთხედის სიმძიმის

ცენტრში. ნაპირა I და IV სხივების გადაკვეთაში ეპოპულობთ წერტილს, რომელზედაც უნდა გადიოდეს G ძალის ქმედების ხაზი.

გ) კედლის შვეულ ნაწილისათვის ავაგოთ რეპზხანის სამკუთხედი:

მივიღებთ

$$\text{ფართი } \Delta FIF' = \frac{1}{2} \cdot 1,40 \cdot 0,98 = 0,686 \text{ m}^2.$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ დაწნევა

$$E_1 = 0,686 \cdot 1800 = 1250 \text{ kg}.$$

დ) KA წახნაგზე წნევის განსაზღვრისათვის ვაგრძელებთ მას B' წერტილამდე და AB₁ კედლისათვის ავაგებთ რეპზხანის ახალ სამკუთხედს; მივიღებთ:

$$\text{ფართი } \Delta F_1 I_1 F'_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,76 \cdot 1,52 = 1,338 \text{ m}^2.$$

მაშასადამე, დაწნევა

$$E'_2 = 1,338 \cdot 1800 = 2400 \text{ kg}.$$

მიწის იმ დაწნევის მოსაძებნად, რომელიც ხდება AK წახნაგზე, E'₂-დან უნდა გამოვრიცხოთ ის ნაწილი, რომელიც წილად ხვდება KB' წახნს. ეს ნაწილი ტოლია:

$$E''_2 = 2400 \frac{x^2}{H^2} = 2400 \frac{2,50^2}{5,10^2} = 580 \text{ kg}.$$

ამნაირად AK წახნაგზე განრიგებული დაწნევა იქნება:

$$E_2 = E'_2 - E''_2 = 2400 - 580 = 1820 \text{ kg}.$$

ე) E₁ და E₂ ძალების მოდების წერტილთა განსაზღვრისათვის ავაგოთ მათი სათანადო დაწნევათა ეპიურების ფართობები და ეპოპოთ ამ უკანასკნელთა სიმძიმის ცენტრები.

ავაგოთ რეპზხანის $\Delta F_1 I_1 F'_1$ სამკუთხედი, და წინასწარ იგი გარდაექმნათ სწორკუთხიან სამკუთხედათ, ფუძეთ დავტოვოთ 1,76 m, სიმაღლეთ კი 1,52 m.

$5 + 0,1 = 5,1$ m სიმაღლის კედელზე წილზედრილი E'₁ დაწნევის ეპიურა რეპზხანის სამკუთხედის ტოლძალოვანი სამკუთხედით წარმოიდგინება. სამკუთხედი 5,1 m სიმაღლიან ტოლძალოვან სამკუთხედათ გარდაექმნათ. გრაფიკულად ეს ასე სრულდება: f' წერტილი შეუერთოთ b' წერტილს და f წერტილიდან გავატაროთ f'' || b'f'. ამის შემდეგ f'' წერტილი შეუერთოთ cb' წერტილს. მიღებული if'' b' სამკუთხედი $\Delta F_1 I_1 F'_1$ -ის ტოლძალოვანია, რადგან

$$if'' : if = if : ib'$$

ანუ

$$if'' \cdot ib = if' \cdot if.$$

ბკ ჰორიზონტალური ხაზის ზემოთ მდებარე სამკუთხედის ნაწილი წარმოადგენს ფიქტიურ KB' კედელზე წნევას, მაშ E_2 -ს ეპიურა $kn f''$ -ი ტრაპეციის სახით წარმოიდგინება, რომლის სიმაღლეა 2,60 mt, და მასშტაბით გაზომილი ფუძეებია:

$$i f'' = 0,52; nk = 0,26.$$

მაშასადამე, გრაფიკულად ჩვენ მივიღებთ:

$$E_2 = \frac{0,52 + 0,26}{2} \cdot 2,6 \cdot 1 \cdot 1800 = 1825 \text{ kg.}$$

გრაფიკულად განესაზღვრავთ ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობას. სიმძიმის ცენტრის სიმაღლეზე მოდებული იქნება E_2 ძალა.

ასეთივე აგებით რებზხანის $\Delta FIF'$ სამკუთხედს დაეყვანთ 2,4 mt სიმაღლიან km სამკუთხედზე. ფუძის სიდიდე იქნება $km = 0,56$ mt. ამნაირად, გრაფიკულად:

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot 2,4 \cdot 0,56 \cdot 1800 = 1210 \text{ kg,}$$

რაც აგრეთვე უახლოვდება ჩვენ მიერ ანალიზურად მიღებულ შედეგს.

E_1 ძალა მოდებულია Δkma სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრის სიმაღლეზე, ე. ი. კედლის ზედა წახნაგის ქვემოთ $2,4 \cdot 2 : 3 = 1,6$ mt სიმაღლეზე.

3) E_1 ა E_2 ძალთა მიმართულებები 45° -ის დახრით გადაიან კედლის სათანადო წახნაგების მიმართ. ავაგოთ E_1 და E_2 , გრაფიკულად შევეკრიბოთ იგი-ნი და ეპოვოთ მათი E ტოლქმედის G ძალის ქმედების ხაზთან თანაკვეთის წერტილი.

ზ) იგივე ძალთა გეგმის გამოყენებით, შევეკრიბოთ E და G ძალები. მიღებული R ტოლქმედი გადაეიტანოთ G ძალის და E დაწნევის ქმედების ხაზთან თანაკვეთის წერტილში.

თ) საერთო ტოლქმედი გადის კვეთის (ფუძის) ნაპირა მესამედზე და უახლოვდება შიდა წახნაგს. ეს კი გვიჩვენებს, რომ $\varphi = 45^\circ$ კუთხისა და გეოდინამიური შემთხვევისათვის კედლის ზომები ძალზედ დიდებია (მძიმეა). აუცილებლად შერჩეული უნდა იქმნეს შედარებით მცირე სისქის კედელი.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. ნახ. 116-ზე აგებულია რებზხანის სამკუთხედები ორ შემთხვევისათვის, როცა $\delta_1 = 0$ და, როცა $\delta_1 = \varphi$. რომელ შემთხვევაში მიიღება მეტი E და მეტი წამქცევი მომენტი?

2. § 56-ის ამოხსნების გამოყენებით განსაზღვრეთ, მიწის მასის წოლვით გამოწვეული გეოსტატიური დაწნევა თუ როდის იქცევა ნულად და როდის აღწევს თავის უდიდეს სიდიდეს?

3. ბუნებრივ ქანობის კუთხის ცვლილებაზე დამოკიდებით რისი ტოლი იქნება მიწის უმცირესი განწნევის სიდიდე?

4. როგორ გავლენას ახდენს დროებითი დატვირთვა მიწის კედელზე და წნევის ცენტრის დადაბლებაზე?

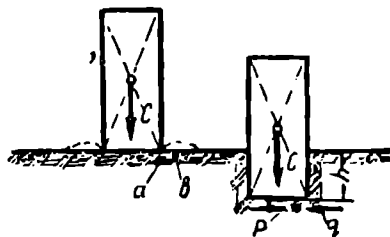
5. მიუთითეთ მიწის მასის წნევის ცენტრის ზღვრულ მდებარეობებზე.

6. წაიკეთევა თუ არა მიწოვან ფუძეზე მდგომი საყრდნობი კედელი, თუ მასზე მოდებული ყველა ძალების ტოლქმედი გადაკვეთს ფუძეს?

§ 58. მიწის გამორწევა საძირკვლის ძუსლიდან.

ფხენადი ტანის ზედაპირზე დამდგარი ნაშენი, მისი ფუძის ფართობის ზომებზე დამოუკიდებლად არ რჩება წონასწორობაში. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ შევადარებთ ერთმანეთს იმ პირობებს, რომლებშიაც იმყოფებიან ფხენადი სხეულის ორი მეზობელი ნაწილაკი (ნახ. 123). განვიხილოთ პირობები, რომლებშიაც იმყოფებიან ნაშენის კუთხის ქვეშ მოთავსებული a ნაწილაკი და ნაშენის გარეთ მოთავსებული b ნაწილაკი.

რადგან a ნაწილაკი უშუალოდ ნაშენისაგან განიციდის წნევას, b ნაწილაკი კი არ განიციდის უშუალო წნევას, ამიტომ პირველი ნაწილაკი ცდილობს დაიქიროს მეორე ნაწილაკის მდებარეობა. იგივე მოვლენას ექნება ადგილი ყველა იმ ნაწილაკებშიაც, რომელნიც მოთავსებული არიან განსახილველი ნაწილაკების ქვეშ.



ნახ. 123.

საძირკვლის ქუსლის ქვემოდან მიწის გამოწვევას მანამდე ექნება ადგილი, სანამ ნაშენი არ ჩაეულობა ისეთ სიღრმეზე, რომლის იქეთაც ასეთი გამოწვევა შეუძლებელი ხდება. ნაშენის დადაბლება (ჩაფლავა) ნაწილობრივ ნაშენის მახლობლობაში წარმოშობილი დაქანების გამო სწარმოებს, ნაწილობრივ კი ყამირის გამკერძებისა და დატკეპნის ხარჯზე.

h სიღრმეზე ჩაფლვის დროს a ნაწილაკი მის მარჯვნივ მოთავსებულ მიწიდან განიციდის q წინალობას (განწნევას). რომელიმე სიღრმეზე მიწის q განწნევა გადალახავს აქტიურ p წნევას, რომელიც გამოზურთვას (გამოხეთქვას) ცდილობს.

როცა ეს პირობა $q \geq p$ დაკმაყოფილებული იქნება უშუალოდ ნაშენის ქვეშ მოთავსებული ნაწილაკების მიზართ, მაშინ უფრო ქვეშ მოქცეულ ნაწილაკებისათვის იგი თავისთავად დამაკმაყოფილებელი იქნება, რადგან მიწის განწნევა დაწნევაზე სწრაფად იზრდება. მაშასადამე, იმ მოთხოვნილებების გარდა, რომელიც წარდგენილია ყამირზე დასაშვები კინეებისათვის საამშენებლო გეგმარების ერთიან ნორმებისადმი, აუცილებლად გამოანგარიშებული უნდა იყოს საძირკვლის ამოღების და მოწყობის სიღრმე იმ ვარაუდით, რომ უზრუნველყოთ გამოზურთვისაგან (გამოხეთქვისაგან) ქუსლქვეშ მოქცეული ყამირი.

§ 59. მოთხოვნილებანი საძირკვლის მოწყობისადმი.

სამშენებლო გეგმარების ერთიანი ნორმები საძირკვლების მოწყობას შემდეგ მოთხოვნილებებს წარუდგენენ:

1. საძირკველის ფუძე ყამირის ყინვის სიღრმის ქვეშ 0,20 ÷ 0,40 მ-ით დაბლა უნდა იყოს.

იმ შემთხვევაში, როცა ამ სიღრმის შესახებ არავითარი ცნობები არ მოგეპოვება, მაშინ რკინისგზის სახალხო კომისარიატის ძველი ნორმების (1926 წ.) გამოყენებით, ჩადგმის სიღრმე არ უნდა დავიყვანოთ 2 მ-ზე ქვემოლ (მეორე. სარტყლისათვის).

2. ყამირზე წნევა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ სიდიდეებს; იმ შემთხვევაში, როცა საძირკველის ქუსლის დგომის ყამირის ფენას ქვეშ შედარებით სუსტი ყამირია მოთავსებული, მაშინ დატვირთვის ზეგავლენაში მყოფი ფენის სიმძლავრე არ უნდა გახდეს ერთიან ნორმებში მოყვანილ დასაშვებ სიდიდეებზე მცირე. ეს მოთხოვნილება უზრუნველყოფს ყამირის სიმტკიცეს ნაშენის ქვეშ.

3) საძირკველის ჩადგმის სიღრმე ისეთი უნდა იყოს, რომ შეუძლებელი გახდეს ყამირის გამოხეტქვა ქუსლის ქვემოლ. ეს მოთხოვნილება უზრუნველყოფს საძირკველის ყამირის გამოხეტქვისაგან.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს კიდევ მოეთხოვება, რომ საძირკვლები ჩადგმული იყოს უდიდესი შესაძლო გამორეცხვის ხაზს ქვეშ. ეს მოსალოდნელი და შესაძლო გამორეცხვა განიზღვრება ხიდის პირის (ნახერეტის) ან რაიმე სხვა ნაგებობის პირის ჰიდრაულიური ანგარიშით; ეს იმ ნაგებობებს შეეხება, რომელთათვისაც საძირკველს ვაგებთ.

§ 60. საძირკვლის ჩადგმის სიღრმის განსაზღვრა.

ეთქვათ P წონის ნაშენი ეყრდნობა საძირკველით ყამირს; საძირკველის ქუსლის ფართობია Fმ².

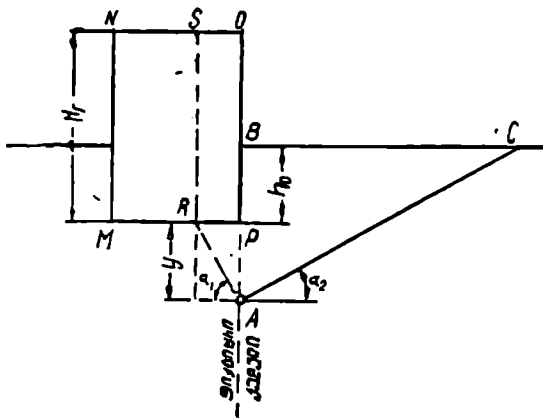
ვიპოვოთ საშუალო წნევა ყამირზე: $\sigma = \frac{P}{F}$. ნაშენის წონას ყამირის მოცულობითი ზვედრითი წონის მქონე ექვივალენტურ MNOP ბოძის წონაზე თუ დავიყვანთ (ნახ. 124), მივიღებთ ბოძის დაყვანილ სიმაღლეს, იგივე საძირკველის დროს:

$$H_r = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{P}{F \gamma}.$$

წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ ზემოთ მდებარე ფენების წნევით ნებისმიერი A ნაწილაკი არ გადაადგილდეს ნაშენის გარეთ. ეს პირობა დაცული იქნება, როცა SOPARS ბოძის (დაწნევის) აქტიური წნევა ABCA ბოძის (განწნევის) პასიურ წნევაზე მცირე იქნება. ეს პირობა დაცული უნდა იყოს AP სიბრტყის ნებისმიერ ΔF ფართობისათვის.

AP სიბრტყე y სიმაღლიან „ფიქტიურ კედლად“ ვიგულებოთ. ამ კედელზე მიყრა MP ხაზით იფარგლებოდეს, მაშინ თვით ნაშენი დაყვანილი H, სიმაღლიან ღროებით დატვირთვას წარმოადგენს. ფიქტიური კედლის სიბრტყეში A ნაწილაკზე მარცხნიდან მოქმედობს მინაყარის აქტიური დაწნევა, რომლის ღროებითი დატვირთვაა:

$$E_{max} = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left(H^2 + 2 h \cdot h_r \right) = \\ = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left(y^2 + 2 y H_r \right).$$



ნახ. 124.

მინაყარის ზედაპირიდან (MP ხაზიდან) y სიღრმით დაშორებულ dy უბანზე მიწის წნევის ინტენსიურობის პოენისათვის ავიღებთ dE_{max} დიფერენციალს და გავყოფთ მას dy-ზე. მივიღებთ:

$$e_{max} = \frac{dE_{max}}{dy} = \gamma (y + H_r) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

ამ აქტიური წნევის ქმედებით A ნაწილაკი მარჯვნივ გადაადგილდისაქენ შიისწრაფვის.

ფიქტიური, AP კედლის მეორე მხარეს მოთავსებული ფხვიერი სხეული BC ხაზით შემოფარგლური ზედაპირის მქონე სხეულად ვიგულებოთ. ამ შემთხვევაში ღროებითი დატვირთვა არ მოიპოვება.

გამოყოფილი A ნაწილაკი მარჯვნივ გადანაცვლების ღროს განიცილის განწნევას:

$$E_{min} = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(H^2 + 2 H \cdot h_r \right) = \\ = \frac{1}{2} \gamma \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(y + h_0 \right)^2.$$

განწარმოებით ვიპოვით პასიური წნევის (განწნევის) ინტენსიურობას y სიღრმეზე:

$$e_{min} = \frac{d E_{min}}{dy} = \gamma (y + h_0) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right).$$

წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ განწნევა არ იყოს დაწნევაზე. შცირე, ე. ი. აუცილებელია, რომ

$$\gamma (y + h_0) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \geq \gamma (y + H_r) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

ან γ -ზე გაყოფით და ალგებრული გარდაქმნით, მივიღებთ:

$$\frac{y + h_0}{y + H_r} \geq \frac{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}.$$

ტგ-ზე გაყოფვას ctg -ზე გამრავლებით თუ შევცვლით, და ამ უკანასკნელის ნაცვლად დამატებითი კუთხის ტგ-ს თუ შემოვიღებთ, გვექნება:

$$\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)} = \operatorname{ctg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

მივიღებთ:

$$\frac{y + h_0}{y + H_r} \geq \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

წესიერი წილადის ($h_0 < H_r$) უმცირესი მნიშვნელობა მიიღება $y = 0$ დროს. აქედან ვპოულობთ ქუსლის ჩადგმის უმცირესს სიღრმეს:

$$\boxed{h_0 \geq H_r \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}.$$

ეს დამოკიდებულება პაუკერის ფორმულის სახელწოდებას ატარებს. იგი გამოსახავს ყამირის ნაწილაკის ძრის შეუძლებლობას უშუალოთ საძირკვლის ქუსლის ქვეშ.

შეგჩერდეთ დაყვანილი H_r სიმაღლის გამოანგარიშების საკითხზე. ამ პარაგრაფის დასაწყისში ჩვენ ვთქვით, რომ

$$H_r = \frac{P}{F\gamma}.$$

აქ P დატვირთვა უნდა შეიცავდეს თვითონ საძირკვლის წონასაც.

შენიშვნა: პრაქტიკულად საძირკვლის ზომებს თავდაპირველად ჩაყინვის აილრმის გათვალისწინებით ვსახლვრავთ, შემდეგ კი ყამირზე დასაშვები კინვის მიხედვით. პაუკერის ფორმულით ჩვეულებრივად სარგებლობენ საძირკვლის ჩადგმის სიღრმის საკმარისობის შემოწმების დროს, როცა წინასწარ დასახულია საძირკვლის ზომები.

ამ ფორმულით დაყვანილი H_r სიმადლის გამოთვლისას ჩვენ დაუშვით, რომ P ტვირთი თანაბრათაა განრიგებული მთელ ქუსლზე.

ეს კი ტოლძალოვანია დაშვებისა, რომ P ძალის კმედების ხაზი გადის ფუძის ციმძიმის ცენტრზე. ასეთ შემთხვევაში H_r ასე განიზღვრება:

$$H_r = \frac{\sigma}{\gamma}$$

და პაუკერის ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$h_0 = \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

როცა ტვირთი ექსცენტრიულია, მაშინ H_r -ის ფორმულაში შემავალი ქუსლის საშუალო წნევის $\left(\sigma = \frac{P}{F} \right)$ ნაცვლად ანგარიშში უკიდურესი σ_{max} კინვა მივიღოთ. ამ შემთხვევაში პაუკერის ფორმულა ასეთი იქნება:

$$h_0 = \frac{\sigma_{max}}{\gamma} \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

ამ დროს შესაძლოა ორი შემთხვევა:

1) ტოლქმედი არ შორდება შუა მესამედს, მაშინ

$$\sigma_{max} = \sigma \left(1 + 6 \frac{e}{b} \right),$$

სადაც e — ექსცენტრისიტეტია, b — კი ქუსლის სიგანეა;

2) ტოლქმედი არ გადის შუა მესამედზე, არამედ იგი a მანძილითაა დაშორებული უახლოეს ნაპირიდან, მაშინ:

$$\sigma_{max} = \frac{2P}{3a}.$$

§ 61. ბელჯაცკის ფორმულა.

ეხლა პაუკერის ფორმულა ფართო გამოყენებაშია. მაგრამ მას ის არსებითი ნაკლი აქვს, რომ იგი არ ითვალისწინებს საძირკვლის სიგანეს. ცდებით და უფრო ზუსტი თეორიული კვლევებით აღმოჩნდა, რომ საძირკვლის სიგანის გადიდებასთან ერთად დასაშვები დატვირთვა 1 მ^2 -ზე დიდდება იმ გზების გადიდებით, რომელზედაც უნდა მოხდეს ყამირის ნაწილაკების გადაადგილება.

ამიტომ საძირკვლის ჩადგმის h_0 სიმაღლის განზღვრისათვის ერთიანი ნორმები გვიყარნახებენ გამოვიყენოთ ბელზეტკის ფორმულა, რომელშიაც შესწორებულია პაუკერის ფორმულაში მითითებული ნაკლი და შეყვანილია საძირკვლის ქუსლის b სიგანე.

ჩვენ ფორმულის ამოხსნას არ მოვიყვანთ, არამედ მას წარმოვადგენთ თავისი საბოლოო სახით:

$$h_0 = H_r \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - b \frac{1 - \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{2 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}$$

ფორმულის პირველი წევრი გვაძლევს საძირკვლის ჩადგმის სიღრმეს პაუკერის მიხედვით, მეორე კი წარმოადგენს შესწორებას, რომელიც ითვალისწინებს საძირკვლის ფუძის სიგანეს.

დაყვანილ H_r სიმაღლეს § 60-ის ფორმულებით ანგარიშობენ.

§ 62. საძირკვლის მოხაჯულობის შერჩევა.

საძირკვლის მიერ ყამირის რაც შეიძლება მეტ ფართობზე წნევის გადაცემისაგან მისწრაფება იმით აიხსნება, რომ ჩვეულებრივად საძირკვლის კვეთი ქვემოთკენ გაფართოებულ ტრაპეციას წარმოადგენს.

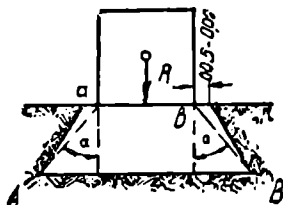
როცა დატვირთვა შევული და ცენტრალურია, მაშინ საძირკვლის კვეთი ჩვეულებრივად ტოლფერდა $AaBb$ ტრაპეციას წარმოადგენს (ნახ. 125). წყობის მოცულობის შემცირების მიზნით გადიდებული უნდა იქნეს შევულსა და ფერდით წახნაგს შორის მოთავსებული $\angle \alpha$, რადგან ასეთ გადიდების დროს ჩვენ მივალწვევთ მცირე სიღრმეზე ქუსლის სასურველ გაფართოებას. მაგრამ ნორმები ნებას არ გვაძლევს გადავლახოთ ზღვარი $\alpha = 35^\circ$ (რაც ესაბამება $\angle \beta = 55^\circ$, ე. ი. წინააღმდეგ შემთხვევაში შესაძლებელია საძირკვლის ჩამოსქდომა). როცა იძულებული ვართ გადავლახოთ ზღვარული $\alpha = 35^\circ$ სიდიდე, მაშინ საძირკვლის ქუსლს რკინის კაზმულობა უნდა დაუერთოთ. ტრაპეციის დახრილი ფერდების ნაცვლად საძირკვლის ფერდითი წახნაგებს მთელ რიგ შევრილებს სახით აკეთებენ. საძირკვლის ზედა ზედაპირი ნაშენის ფარგს თითოეულ მხარეს შორდება $0,05 \div 0,10$ m-ით, რითაც იქმნება ეგრედწოდებული საძირკვლის ჩამონათალი.

დახრილ დატვირთვების შემთხვევაში ქუსლის შუა მესამედი სასურველია დაუახლოვდეს ტოლქმედის ქუსლთან თანაკვეთის წერტილს. ეს ნაწილობრივ სრულდება იმით, რომ საძირკველს აფართოებენ ერთმხრივ (ნახ. 126). ამ შემთხვევაში $\angle \alpha$ კუთხე აგრედვე არ უნდა აღემატებოდეს 35° , რაიც გვაძლევს:

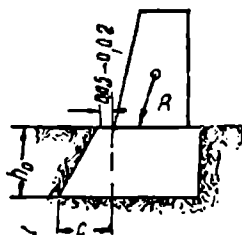
$$c : h_0 = 0,7.$$

ძლიერ დიდ დახრილ ტვირთების შემთხვევაში მეტად სწორ ამოხსნათ ითვლება დახრილ ფუძიანი საძირკვლის მოწყობა (ნახ. 127). ასეთი საძირკვე-

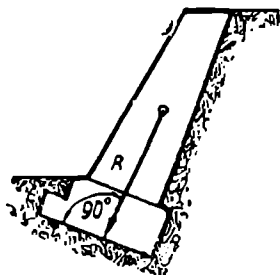
ლი მდგრადობის კოეფიციენტს უსაზღვრობამდე (σ) ზრდის, ე. ი. თავიდან აგვაშორებს ჩამოსრილობის ცდას. წაქცევისადმი მდგრადობის კოეფიციენტი შეიძლება აგრედვე გადიდდეს ყამირისაყენ დახრის გადიდებით.



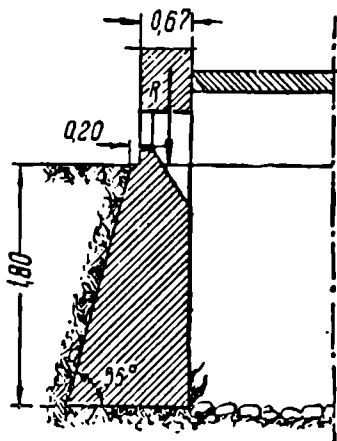
ნახ. 125.



ნახ. 126.



ნახ. 127.



ნახ. 128.

საძირკვლის ჩადგმის სიღრმე არ უნდა აღემატებოდეს 3 ÷ 4 მტ. წინა-აღმდეგ შემთხვევაში უფრო ხელსაყრელია ხიმინჯიანი ფუძის მოწყობა.

§ 63. მაგალითი საძირკვლის ამოყვანის სიღრმის განსაზღვრაზე.

რა სიღრმეზე უნდა ამოვიყვანოთ ნაშენის საძირკვლის ქუსლი, თუ იგი გარეფერდში წარმოშობს $\sigma_{max} = 2,7 \frac{kg}{cm^2}$ წნევას ყამირზე. ყამირი — სილაა ბუნებრივი სინესტისა, რომლისათვისაც

$$\gamma = 1,8; \varphi = 40^\circ; m = 2.$$

ამოხსნა. გამოვიყენოთ პაუკერის ფორმულა. ამისათვის უპირველესად ყოელისა ვიპოვიოთ დაყვანილი H_r სიმაღლეს, რისათანა:

$$\left(2,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{2,7 \cdot 10000}{1000} = 27 \frac{\text{ton}}{\text{mt}^2} \right):$$

$$H_r = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{27}{1,8} = 15 \text{ mt.}$$

მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით გვექნება:

$$h_0 = 2 \cdot 15 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - 20^\circ) = 30 \text{ tg}^2 25^\circ = 30 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ mt.}$$

ამ სიღრმეზე შეჩერება მხოლოდ მაშინ შეიძლება, როცა დაცულია § 59-ში მოხსენებული მოთხოვნილებანი. წინააღმდეგ შემთხვევაში სიღრმე უნდა გავადილოთ კონსტრუქტიული მოსაზრებებით.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. წყლით გაქლენილი თიხიანი ყამირისათვის შეგვიძლია მივიღოთ $\varphi = 20^\circ$, $\gamma = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{mt}^3}$. ასეთ ყამირისათვის დასაშვები წნევა აიღება

$2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ -დღე. დასაშვები კინვის სრული გამოყენების დროს საკმარისი იქნება თუ არა $1,8 \text{ mt}$ სიღრმის ჩადგმა?

2. სწორად არის თუ არა დაგეგმილი ნახ. 128-ზე წარმოდგენილი სარდაფი?

3. წნევათა ტოლქმედის მიმართ საძირკვლის ქუსლის როგორ განრიგებისაკენ უნდა მივისწრაფოდეთ, საძირკვლის დაგეგმვის დროს?

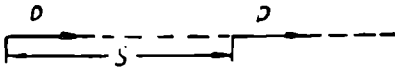
4. § 57-ის მეორე მოცემულობის ამოცანა 3-ის მოცემულობის მიხედვით (იხ. ნახ. 124) გამოაანგარიშეთ კედლის საფუძველში წარმოშობილი კინევა, თუ ზედა ნაწილამდე მისი სიგანეა $0,5 \text{ mt}$ ($1,0 \text{ mt}$ -ის ნაცვლად) და ბუნებრივი ქანობის კუთხეა $\varphi = 35^\circ$ (45° -ის ნაცვლად).

თავი რეკავსა.

სტატიური ურკვევადი ლარკვანი სისტემაი.

§ 64. ზოგიერთი ცნობა თეორიული მექანიკის კუასიდას.

თეორიულ მექანიკაში მოყვანილი იყო შემდეგი დებულებები და ამოხსნები:



ნახ. 129.

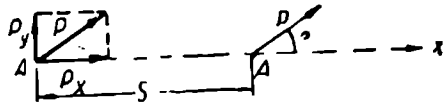
1. როცა გადაადგილება ძალის მოდების წერტილი, მაშინ ამბობენ, რომ ძალამ შესრულა მუშაობა (ნახ. 129).

2. მოდების წერტილის ძრაობის მიმართულებით მქმედი მუდმივი ძალის მუშაობა უდრის ძალის გავლილ მანძილზე ნამრავლს:

$$T = P \cdot s$$

3. ვთქვათ P ძალის მოდების A წერტილის შეუძლია მხოლოდ x ღერძის გასწვრივ გადაადგილება, P ძალა კი ამ მიმართულებასთან ადგენს რაღაც (P, s) კუთხეს (ნახ. 130).

P ძალას P_x და P_y მდგენელებათ თუ დაეშლით, შევამჩნევთ, რომ AX ღერძის ნორმალურად მიმართული P_y ძალა არაეითარ მუშაობას არ ქმნის, მაშ მუშაობს მხოლოდ მეორე მდგენელი



ნახ. 130.

$$P_x = P \cdot \cos(P, s).$$

მაშასადამე, გზასთან კუთხით მქმედი მუდმივი ძალის მუშაობა უდრის ძალის მანძილზე (გზაზე) გეგმილის ნამრავლს გზის სიდიდებზე:

$$T = P \cdot \cos \alpha \cdot s.$$

4. ცვალებადი ძალის შემთხვევაში s მანძილის უსასრულოდ მცირე Δs ნაწილისათვის, ძალის სიდიდე და მიმართულება უცვლელი რჩება. ამიტომ გადატანითი ძრაობის დროს ძალის ელემენტარული მუშაობა

წარმოადგენს P ძალის ნამრავლს მისი მოდების წერტილის გადაადგილების ელემენტარულ Δs ვექტორზე (ნახ. 131):

$$T = P \cdot \Delta s = P \Delta s \cos \alpha.$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ მუშაობა დადებითი იქნება, თუ $\angle \alpha$ კუთხე მახვილი იქნება, იგი უარყოფითია, როცა $\angle \alpha$ კუთხე ბლაგვია. მუშაობა უდრის ნულს, როცა

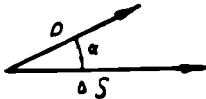
$$1) P = 0, 2) \Delta s = 0, \text{ ან } 3) \angle \alpha = 90^\circ.$$

5. ტოლქმედის ნებისმიერ გადაადგილებაზე წარმოებული ელემენტარული მუშაობა უდრის მდგენელ ძალთა მუშაობათა ჯამს ამ გადაადგილებაზე.

6. ძალის შედგენილ გადაადგილებაზე წარმოებული ელემენტარული მუშაობა უდრის იმავე ძალის მუშაობათა ჯამს იგივე შედგენილ გადაადგილებებზე. ასევე: ტოლქმედის მუშაობა შედგენილი გადაადგილებაზე უდრის მდგენელ ძალთა მუშაობათა ჯამს თითოეულ მდგენელ გადაადგილებაზე.

7. მყარი სხეულის რაიმე NN ლერძის გარს ბრუნვის დროს (ნახ. 132), მასზე მოდებული P — ძალის ელემენტარული მუშაობა უდრის ამ ძალის NN ლერძის მიმართ M მომენტის ნამრავლს ელემენტარულ კუთხურ $\Delta \varphi$ გადაადგილებაზე, ე. ი.

$$T = M \cdot \Delta \varphi.$$



ნახ. 131.

მომენტის თეორემის მიხედვით ვპოულობთ, რომ:

$$M = M(P_1) + M(P_2) + M(P_3).$$

აქ $M(P_2) = 0$, რადგან P_2 ძალა გადაჭყვეთს NN ლერძს, ხოლო $M(P_3) = 0$ იმიტომ, რომ P_3 ძალა NN ლერძის პარალელურია; მაშასადამე,

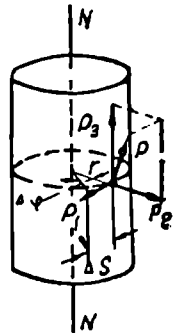
$$M = M(P_1) = P_1 \cdot r.$$

რადგან საქმე გვაქვს ბრუნვითი ძრაობასთან, ამიტომ ელემენტარული Δs გადაადგილება თანხვედება მხების მიმართულებას, ამისგამო

$$P \cdot \cos(P, \Delta s) = P_1$$

და

$$\Delta s = r \Delta \varphi,$$



ნახ. 132.

მაშასადამე

$$T = P \cdot \Delta s \cos (P, \Delta s)$$

მუშაობა ამ მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ განიზღვრება ფორმულით:

$$T = P_1 r \Delta \varphi = M (P_1) \Delta \varphi = M \cdot \Delta \varphi.$$

§ 65. შესაძლო გადაადგილებაზე პრინციპი.

ნივთიერი წერტილი თავისუფალია, როცა იგი დაუბრკოლებლივ გადაადგილდება ნებისმიერი მიმართულებით და როცა მისი გადაადგილება არ იზღუდება არავითარი პირობებით. გადაადგილების ყოველგვარ შეზღუდვას ბმავწოდებთ. ბმა იდეალურია, როცა მისი რეაქციის შესაძლო მუშაობა უდრის ნულს. აი იდეალური. ბმების მაგალითები: იდეალურად უძრავი წერტილი, იდეალურად გლუვი ბრუნვის ღერძი, იდეალურად მოქნილი უქიმიანი ძაფი, იდეალური ცილინდრული სახსარი და ა. შ. ყოველი არათავისუფალი სხეული შეგვიძლია ვიგულოთ როგორც თავისუფალი, თუ ბმების ქმედებას შევცვლით ამ ბმების რეაქციითა ქმედებით, ან სხეულზე ვქმედ აქტიურ ძალებს. თუ დაუმატებთ პასიურ ძალებს — რეაქციებს. ბმების ქმედებას თუ შევცვლით რეაქციის ძალთა ქმედებით, მაშინ თავისუფლად ნაგულებს სხეულის მიმართ შესაძლებელი ხდება წმინდათ თავისუფალ სხეულისათვის ამოხსნილი თეორიული მექანიკის კანონების გამოყენება.

ნივთიერ წერტილთა სისტემა წონასწორობაში რომ მოვიდეს აუცილებელია, რომ მასზე მოდებული P ძალები და R რეაქციები თითოეულ ნივთიერ წერტილისათვის ქმედონ ტოლობას:

$$P + \bar{R} = 0.$$

ამ ტოლობას წერტილის ერთ-ერთ შესაძლო Δs გადაადგილებაზე თუ გადავამრავლებთ და მიღებულ აქტიურ და პასიურ ძალთა მუშაობებს მთელ სისტემისათვის ავჯამავთ, მივიღებთ:

$$\sum \bar{P} \cdot \Delta \bar{s} + \sum \bar{R} \cdot \Delta \bar{s} = 0.$$

მაგრამ, როგორც იდეალური ბმების განმარტებიდან გამომდინარეობს:

$$\sum \bar{R} \cdot \Delta \bar{s} = 0.$$

მაშასადამე, ნივთიერ წერტილთა წონასწორობისათვის აუცილებელია, რომ

$$\sum \bar{P} \cdot \Delta \bar{s} = 0.$$

პირიქით, როცა $\sum \bar{P} \cdot \Delta \bar{s} = 0$, მაშინ სისტემა უთუოდ წონასწორობაშია. ნებისმიერ m წერტილზე ბმათა R რეაქციას თუ მოვდებთ, მაშინ მას

თავისუფალ წერტილად მივიჩნევთ, ამიტომ წერტილი რომ ამოძრავებულყო, მაშინ ელემენტარული მუშაობა უკვე ნულის ტოლი კი არ იქნებოდა, არამედ იგი ტოლი იქნებოდა რაიმე დადებითი სიდიდისა:

$$(\bar{P} + \bar{R}) \bar{\Delta s} = \bar{P} \bar{\Delta s} + \bar{R} \bar{\Delta s} > 0.$$

მთელ სისტემისათვის შეჯამებით, ამ შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\sum \bar{P} \bar{\Delta s} + \sum \bar{R} \bar{\Delta s} > 0;$$

მაგრამ რადგან აქტიურ ძალთა $\sum \bar{P} \cdot \bar{\Delta s}$ მუშაობა პირობის თანახმად ნულის ტოლია, ამიტომ გვექნებოდა

$$\sum \bar{R} \bar{\Delta s} > 0,$$

ეს კი ეწინააღმდეგება იდეალური ბმების განმარტებას.

მაშ, ნივთიერ წერტილთა სისტემის წონასწორობისათვის აუცილებელი და საკმარისია, რომ ამ სისტემაზე მოდებული ყველა აქტიური ძალების შესაძლო მუშაობა ნულის ტოლი იყოს.

სისტემის წონასწორობის ნიშანდობლივობას ეწოდება შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპი.

§ 66. ღეროვან სისტემისათვის შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის გამოყენება.

შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპი გამოიყენოთ ღეროვანი სისტემისათვის. ამიტომ გამოვიყენოთ ნებისმიერი i კვანძი და მისთვის დაეწეროთ წონასწორობის აუცილებელი პირობა:

$$\sum P_i \Delta s_i \cos (P_i \Delta s_i) = 0. \quad . (\alpha)$$

აქ P_i -ით იგულისხმება როგორც კვანძზე მოდებული გარეძალები, ისე ძალოვნებიც, რომელნიც მოქმედობენ ამ კვანძში თავმოყრილ ღეროებში; Δs_i წარმოადგენს i კვანძისათვის შესაძლო ნებისმიერ გადაადგილებას.

ცალკე შესაკრებებთან რომ გამოვიყენოთ გარე P_i ძალები და ღეროებში მქმედი S_i ძალოვნები, მაშინ (α) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

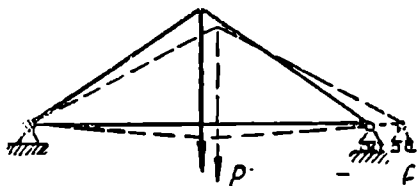
$$\sum P_i \Delta s_i \cos (P_i \Delta s_i) + \sum S_i \cdot \bar{\Delta s}_i \cos (S_i \bar{\Delta s}_i) = 0 \quad . (\beta)$$

ეს განტოლება სამართლიანივე რჩება იმ შემთხვევაშიაც, როცა იგი ვრცელდება მოცემული სისტემის ყველა კვანძებზე.

ეს განტოლება ყველა კვანძებისათვის გამოვიყენოთ, ამისათვის უნდა დავიცვათ შემდეგი პირობები:

1. კვანძთა გადაადგილება ურთიერთ შეთანხმებულად უნდა სწარმოებდეს, ე. ი. ყველა კვანძისათვის განტოლების შედგენისას თითოეული კვანძის ყოველი შესაძლო გადაადგილებიდან ისეთი Δs_i გადაადგილება უნდა შევარჩიოთ, რომელიც წარმოიშობა დატვირთვის ერთსა და იგივე სისტემით.

წარმოვიდგინოთ, რომ ნახ. 133-ზე წარმოდგენილ წამწეზე მოდებულია P ძალთა სისტემა (ამ შემთხვევაში ერთი ძალა). ამ ძალის ქმედებით წამწეს კვანძები წყვეტილით ნაჩვენებ მდგომარეობაში გადაადგილდებიან. ეს გადაადგილებანი ერთმანეთთან თანხედებიან, იმიტომ, რომ ისინი წარმოშობილი არიან ერთი და იგივე დატვირთვით.



ნახ. 133.

მართალია ეს გადაადგილებანი წარმოშობა P სისტემაში, მაგრამ ნებისმიერი სხვა გარეძალთა სისტემის მუშაობა წონასწორობისას იქნება ნულის ტოლი. ეს ნებას გვაძლევს გამოვიყენოთ შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპი, რისთვისაც ძალთა ერთი სისტემის მუშაობას შევასრულებთ მეორე სისტემით გამოწვეულ გადაადგილებებზე.

2. გადაადგილებანი უნდა შეთანხმდებოდეს სისტემის ბმებს, ე. ი. უნდა ეთანადებოდნენ მხოლოდ ღეროთა წარგრძელებებს და დამოკლებებს. კვანძზე მქმედი ღეროების S_i ძალონეებს, როგორც გაკიმვის, ისე კუმშვის დროს მუდამ კვანძთა გადაადგილებების შებრუნებული მიმართულებები აქვთ. აქედან გამომდინარეობს, რომ ამ ძალონეების მუშაობა მუდამ უარყოფითი იქნება. ამისგამო (β) განტოლებაში S_i ძალონეთა მუშაობების ჯამს უარყოფითი ნიშანი ექნება და განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\sum P_i \Delta s_i \cos (P_i \Delta s_i) - \sum S_i \Delta s_i \cos (S_i \Delta s_i) = 0,$$

საიდანაც

$$\sum P_i \Delta s_i \cos (P_i \Delta s_i) = \sum S_i \Delta s_i \cos (S_i \Delta s_i) \quad . (\gamma)$$

ამ ტოლობის მარცხენა ნაწილი წარმოადგენს ძალთა და მათი დასაბამის წერტილთა (ძალის გასწვრივ) გადაადგილებების ნამრავლთა ჯამს. ძალის მიმართულებაზე ძალის დასაბამი წერტილის გადაადგილების პროექციას Δp -ით თუ აღვნიშნავთ, მაშინ ტოლობის მარცხენა ნაწილი ასე გადიწერება: $\sum P \Delta p$.

მარჯვენა ნაწილი კი, რომელიც წარმოადგენს S ძალონეთა და მათ გასწვრივ გადაადგილებათა გეგმილების (ე. ი. სხეანაირათ რომ ვთქვათ გადაად-

გილების გეგმილები ღეროთა მიმართულებაზე) ნამრავლთა ჯამს, ასეთ სახეს მიიღებს: $\sum S \Delta s$.

კვანძების გადაადგილებათა გეგმილები კი ღეროთა მიმართულებებზე ეთანადებიან ღეროთა Δl წაგრძელებებს და დამოკლებებს, ე. ი.

$$\sum S \Delta s = \sum S \Delta l.$$

ამნაირად ჩვენი განტოლება მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\sum P \cdot \Delta p = \sum S \Delta l.$$

ზოგჯერ საყრდნობთა რეაქციები გამოიყოფიან გარე P ძალთა ჯგუფიდან ცალკე წევრად და მაშინ განტოლება შემდეგნაირად გაღიწვრება:

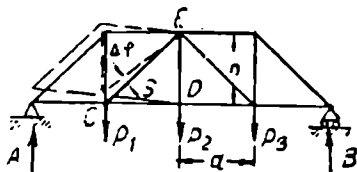
$$\sum P \cdot \Delta p + \sum A \cdot \Delta a = \sum S \cdot \Delta l.$$

ეს განტოლება ამოხსნილია ელემენტარულ გადაადგილებებისათვის, მაგრამ ძალებსა და გადაადგილებებს შორის ხაზობრივ დამოკიდებულების დროს (ე. ი. ჰუკის კანონის ზღვრებში), იგი ვრცელდება მკირე სასრულო გადაადგილებაზედაც.

ამოხსნილი განტოლება გამოიყენება წამწეში ღეროთა ძალონების და წამწეს დეფორმაციის განზღვრისას.

§ 67. ძალონების განსაზღვრა წამწეს ღეროებში და წამწეს დეფორმაციის განსაზღვრა შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპით.

1. შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის გამოყენებით განვსაზღვროთ ნახ. 134-ზე წარმოდგენილი სტატიურად რკვევადი წამწეს ძალონე CD ღეროში.



ნახ. 134.

ამოხსნა. ვთქვათ, წამწე განიცდის ქვედა სარტყლის კვანძებზე მოდებული P_1 , P_2 და P_3 გარეძალთა ქმედებას. საყრდნობთა რეაქციები ჩვენ მიერ განსაზღვრულია და ისინი სათანადო ტოლნი არიან A და B-სი. CD ღეროში ძალონის განსაზღვრისათვის, წამწე ისეთნაირად გადავადგილოთ, რომ შეი-

ცვალოს მხოლოდ CD ღეროს სიგრძე. CD ღეროს ისეთი Δl წაგრძელება მივცეთ, რომ წამწეს მარჯვენა ნაწილი უცვლელი დარჩეს, მარცხენა კი E კვანძის ირგვლივ მობრუნდეს $\Delta \varphi$ კუთხით.

ასეთ შემთხვევაში მუშაობას აწარმოებენ მხოლოდ A და P₁ ძალები. არტახის სიგრძე აღვნიშნოთ d ასოთი, წამწეს სიმაღლე კი h-ით. მაშინ წინა პარაგრაფის ფორმულის მიხედვით მივიღებთ:

$$A \Delta a - P_1 \Delta p_1 = S \Delta l.$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\angle \Delta \varphi$ ძალზედ მცირეა, რადგან საქმე გვაქვს ელემენტარულ გადაადგილებასთან, განვსაზღვრავთ, რომ

$$\Delta l = h \Delta \varphi; \Delta p_1 = d \Delta \varphi \text{ და } \Delta a = 2d \Delta \varphi.$$

გადაადგილებათა ნაპოვნი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$A 2d \Delta \varphi - P_1 d \Delta \varphi = Sh \cdot \Delta \varphi$$

ან $\Delta \varphi$ -ზე შეკვეციით, გვქვდება:

$$A 2d - P_1 d = S h,$$

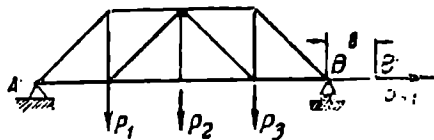
საიდანაც:

$$S = \frac{d(2A - P_1)}{h}.$$

ამ ფორმულის მიხედვით გამოვითვლით ძალღონეს CD ღეროში. ამავე ძალღონეს მივიღებდით რიტერის წესითაც.

2. შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის გამოყენებით განსაზღვრეთ ნახ. 135-ზე წარმოდგენილი წამწეს B საყრდნობის პოზიციონტალური გადაადგილება.

ამოხსნა. შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპი სამართლიანია ნებისმიერ ძალთა სისტემისათვის და ნებისმიერ შესაძლო გადაადგილებათათვის. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ განტოლება



ნახ. 135.

$$\sum P \Delta p = \sum S \Delta l$$

აგრეთვე სამართლიანი იქნება, თუ მისი შედგენის დროს დავწერთ ნებისმიერ ძალთა სისტემის (არა P დატვირთვათა სისტემის) სათანადო გადაადგილებებზე. სხვანაირათ რომ ვთქვათ შეიძლება დატვირთვათა ერთი სისტემის სათანადო გადაადგილებათა მნიშვნელობების აღება, ოღონდ კი გადაადგილებანი შესაძლო იყოს.

შემდგომ ანგარიშში ჩვენ ვრცლად გამოვიყენებთ ამ მდგომარეობას მათემატიკური ამოხსნების გასამარტივებლად და შესაძლო გადაადგილებათა განტოლებების შედგენისას დატვირთვათა სისტემად მივიღებთ „ერთეულ“ ძალას,

გადაადგილებებისათვის კი: P დატვირთვით გამოწვეულ ნამდვილ გადაადგილებებს.

გადავიღეთ ჩვენი ამოცანის ამოხსნაზე. შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის გამოყენებისას, ვსარგებლობთ ძალთა ორი სისტემით: 1) ნამდვილად წამწეზე მოდებული (P_1, P_2 და P_3) ძალთა სისტემით და 2) ძალთა სისტემით $P=1$ (P — ძალთა AB მიმართულებისა და B წერტილზეა მოდებული). განტოლების შედგენისას პირველ ძალთა სისტემიდან ნამდვილ გადაადგილებებს ავიღებთ, მეორე სისტემიდან კი — დატვირთვას.

დაუშვათ, რომ ტვირთთა სისტემის ქმედებით B წერტილი B' -ში გადაადგილდა. ეს გადაადგილება δ ასოთი აღენიშნოთ. მაშინ ნამდვილ $BB' = \delta$ გადაადგილებაზე „ერთეული“ ძალა შეასრულებს 1. δ მუშაობას. „ერთეულ“ სისტემის ქმედებით ლეროებში წარმოიშობა γ ძალლონეები, რომელნიც ნამდვილ Δl გადაადგილებებზე შეასრულებენ $\gamma \Delta l$ მუშაობას. ამ შემთხვევაში საყრდნობთა რეაქციების მუშაობა ნულის ტოლია.

შესაძლო გადაადგილებათა განტოლება ეხლა შემდეგნაირად დაიწერება:

$$1 \cdot \delta = \sum \gamma \cdot \Delta l.$$

Δl -ის ნაცვლად ჰუკის კანონის მიხედვით მისი მნიშვნელობის ჩასმით, ე. ი.

$$\Delta l = \frac{S l}{F E}$$

მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ:

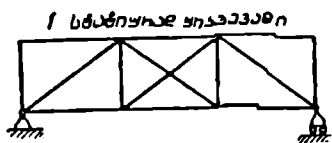
$$\delta = \sum \gamma \cdot \frac{S l}{F E}.$$

ლეროებში მოცემულ დატვირთვათა სისტემის ქმედებით მიღებული ნამდვილი S ძალლონეების აღება შეგვიძლია კრემონას დიაგრამიდან. ამ ძალლონეების მიხედვითავე უნდა იქმნეს შერჩეული ლეროთა F კვეთები. ლეროთა სიგრძეები წამწეს განზომილებებით განიზღვრება. დრეკადობის მოდული ჩვენთვის ცნობილია. წამწეს ლეროებში γ ძალლონეთა მოსაძებნათ უნდა ავაგოთ $P=1$ სისტემის ქმედებისათვის კრემონას მეორე დიაგრამა. მაშინ \sum ნიშნის ქვეშ მოქცეული ყველა სიდიდეები ჩვენთვის ცნობილი იქნება და ადვილათ გამოვიანგარიშებთ δ -ს.

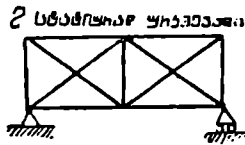
§ 68. შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის მიხედვით „ზომები“ ღეროში ძალლონეების განსაზღვრა.

ი კვანძიანი წამწე 2ი — 3-ზე მეტი ლეროსაგან თუ შესდგება, მაშინ განტოლებათა ის რიცხვი, რომლებსაც გვაძლევს სტატისტიკა ლეროებში წარმოშობილი ძალლონეების განსაზღვრისათვის, უცნობთა რიცხვზე მცირე იქნება.

მხოლოდ სტატიკის განტოლებების გამოყენებით, ჩვენ ასეთ სისტემაში ვერ განვსაზღვრავთ ლეროებში მქმედ ყველა ძალღონეებს. ამ დროს მიიღება ზედმეტი ლეროები, რომლებმაც ასეთი სახელწოდება მხოლოდ იმიტომ მიიღეს, რომ ისინი ზედმეტნი არიან და არ გამოვადგებიან სისტემის გეომეტრიულ უცვლელობისათვის. შევთანხმდეთ და ზედმეტ ლეროებიან სისტემას შიდა სტატიურად ურკვევადი უწოდოთ. როცა სისტემას აქვს ორი ან რამდენიმე ზედმეტი ლერო, მაშინ სისტემას ორჯერადათ, სამჯერადათ და ა. შ. სტატიურად ურკვევადი ეწოდება (ნახ. 136 — 138).



ნახ. 136.



ნახ. 137.

როგორც § 14-ში იყო თქმული, თავდაპირველად უნდა გამოვარკვიოთ ის, არის თუ არა წამწე გეომეტრიულად უცვლელი, შემდეგ კი გადავიდეთ კვანძთა და ლეროთა გამოთვლაზე.

ნაშენებში მოძრავი სისტემები (გეომეტრიულად ცვლადი) არ გამოიყენებიან.

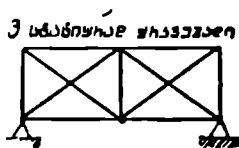
იმ საკითხის გამორკვევისას, თუ სისტემის რომელი ლეროები მივიჩნით ზედმეტად. ეს ლეროები ისეთნაირად უნდა შევარჩიოთ, რომ მათი მოშორების შემდეგ მივიღოთ ხისტი სტატიურად რკვევადი სისტემა. შექმდეში ასეთ სისტემას ძირითად სისტემას უწოდებთ, მის სათანადო ლეროებს კი აუცილებელ ლეროებს.

მაგრამ ზედმეტი ლეროების ნებისმიერად შერჩევა როდი შეიძლება, რადგან გარეძალების ზეგავლენით ძირითადი სისტემა ოდნავად განიცდის დეფორმაციას (იძვლება ლეროების სიგრძე), და მაშასადამე იძვლება კვანძებს შორის მანძილიც. კერძოდ ცვლილებას. განიცდის აგრეთვე ზედმეტი ლეროების ღამამაგრებელ კვანძებს შორის მანძილიც, ეს კი წარმოშობს ძალღონეებს ზედმეტ ლეროებში. მაშ, თავის მხრივ ზედმეტი ლეროები მოქმედობენ სხვა ლეროთა ძალღონეებზე.

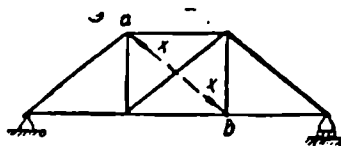
ზედმეტ ლეროში ძალღონეს განსაზღვრისათვის არ კმარა სტატიკის განტოლებები. იმიტომ თითოეულ ზედმეტ ლეროსათვის ადვენენ თითო დამატებით განტოლებას, რის დროსაც მხედველობაში იღებენ იმ ჯარემოებას, რომ ზედმეტ ლეროში წარმოშობილი ძალღონით გამოწვეული ზედმეტი ლეროს წაგრძელება უნდა უდრიდეს ზედმეტი ლეროს შემაერთებელ კვანძებს შორის მანძილის ცვლილებას.

შიდა სტატიურად ურკვევად სისტემის ლეროებში ძალღონეთა მოძებნისათვის შემდეგნაირად ვიქცევით.

ნახ. 139-ზე წარმოდგენილ სისტემაში ზედმეტ ლეროთ აბ ლერო ითვლება. ზედმეტი აბ ლერო რომ უკუვაგდოთ, მაშინ წამწე სტატიურად რკვევადი გახდება. მიღებული სტატიურად რკვევადი წამწეს ლეროთა ძალონეები მოცემული წამწეს ლეროთა ძალონეების ტოლი რომ იყოს, ამისათვის a და b კვანძებზე მოვდოთ $X - X$ ძალები, რომელიც მოშორებული ლეროდან a და b კვანძებზე მჭიდროდ ძალონის ტოლნი არიან. ამნაირად, სისტემა სტატიურად რკვევადი იქნება, აბ ლეროს $X - X$ ძალებით თუ შევცვლით (ეს ძალები მოქმედობენ აბ ლეროს ლერძის გასწვრივ და სიდიდით ზედმეტ ლეროში მჭიდროდ ძალონის ტოლნი არიან).



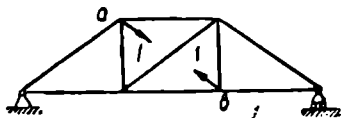
ნახ. 138.



ნახ. 139.

ამნაირად ჩვენ მივიღებთ სტატიურად რკვევად წამწეს, რომელიც განიცდის ძალთა, ორი სისტემის ქმედებას: 1) მოცემული გარე ძალთა $\sum P$ სისტემისა და 2) ძალთა $X - X$ სისტემის ქმედებას.

წამწე მხოლოდ მოცემულ ძალთა $\sum P$ სისტემის ზეგავლენის ქვეშ რომ ვიგულოთ, მაშინ წამწეს ლეროებში ძალონეებს ექნებათ რაღაც S სიდიდე. რომელიც მიიღება კრემონას დიაგრამიდან. წამწეს ლეროებში სრული ძალონეების მოსაძებნად, S ძალონეს უნდა დაუმატოთ $X - X$ სისტემით გამოწვეული ძალონეები. რადგან ჩვენთვის უცნობ $X - X$ ძალებისათვის კრემონის დიაგრამის აგება არ შეგვიძლია, ამიტომ იგივე სტატიურად რკვევადი წამწე მხოლოდ აბ ლეროს ლერძის გასწვრივ მქნელ და a და b კვანძებზე მოდებულ ორ „ერთეული“ ძალის ზეგავლენაში ვიგულოთ (ნახ. 140).



ნახ. 140.

გარეძალების (დატვირთვის) და X ძალების ერთობლივ ქმედებით სისტემის ლეროებში წარმოშობილი საერთო ძალონე $S + \gamma X$ გამოსახულებით წარმოიდგინება.

ვისარგებლოთ შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპით. რადგან γ ძალონეები და ერთეულის ტოლი ძალები (ნახ. 140) ურთიერთ გამაწონასწორე-

ზელ ძალთა სისტემას წარმოადგენენ, ამიტომ ამ ძალთა სისტემის მუშაობა ყოველ შესაძლო გადაადგილებაზე იქნება ნულის ტოლი.

თუ გამოვიყენებთ განტოლებას

$$\sum P \Delta p = \sum S_i \Delta l_i$$

ჩვენ ძალთა სისტემად მივიღებთ 1 — 1 ძალას, შესაძლო გადაადგილებებით კი იმ მცირე გადაადგილებებს, რომლებსაც ასრულებს მოცემული სისტემის კვანძები დაუტვირთავ მდგომარეობიდან ნამდვილად დატვირთულ მდგომარეობაში გადასვლის დროს (ფაქტიურად კვანძთა გადაადგილებაზე გადასვლისას).

ასეთ შემთხვევაში $\sum P$ წარმოადგენს 1 — 1 სისტემას, Δp კი ზედმეტ ღეროს წაგრძელებას; ღეროთა S_i ძალონეები γ -ს ტოლი იქნებიან, $S + \gamma X$ ძალით გამოწვეული ნამდვილი წაგრძელებები იქნება Δl .

ზედმეტი ღეროს ზომები l_0 და F_0 ასოებით აღვნიშნოთ, მაშინ ab სიგრძის ცვლილება ან რაც იგივეა, გადაადგილება, რომელზედაც „ერთეული“ ძალა ასრულებს მუშაობას, ტოლი იქნება

$$\frac{X l_0}{F_0 E}$$

აუცილებელი ღეროების ზომებს კი l და F ასოებით თუ აღვნიშნავთ, სათანადოთ მივიღებთ გადაადგილებებს:

$$\frac{(S + \gamma X) \cdot l}{F E}$$

შესაძლო გადაადგილებათა განტოლება შემდეგნაირად დაიწერება:

$$-1 \cdot \frac{X \cdot l_0}{F_0 E} = \sum \gamma \frac{(S + \gamma X) l}{F E} = \sum \gamma \frac{S l}{F E} + \sum \gamma^2 \frac{S X l}{F E}$$

აქ მარცხენა ნაწილში მიხედავთ ნიშანი იმიტომად აღებული, რომ კვანძზე მომქმედი ძალონე კვანძის გადაადგილების წინაუკმო მხრივია მიმართული. გარდაეკმნათ ეს განტოლება:

$$-X \left(\frac{l_0}{F_0 E} + \sum \frac{\gamma^2 l}{F E} \right) = \sum \gamma \frac{S \cdot l}{F E}$$

ერთგვაროვან მასალის შემთხვევაში E ყველა ღეროსათვის ერთნაირია და მაშინ:

$$X = \frac{- \sum \gamma \frac{S l}{F}}{\frac{l_0}{F_0} + \sum \frac{\gamma^2 l}{F}}$$

(ბ).

ამ ფორმულის მარჯვენა ნაწილში შედის ღეროების F კვეთები.

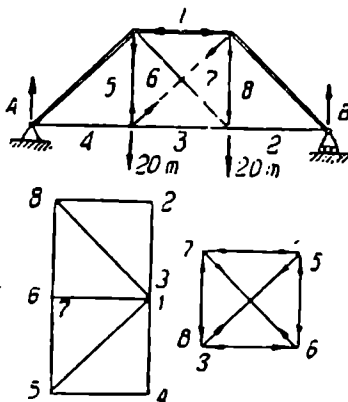
ეს მდგომარეობა გვაძლევს ჩვენ, რომ ფორმულის გამოყენებისას წინასწარ შევარჩიოთ ღეროების ზომები და მხოლოდ შემამოწმებელ გამოთვლების შემდეგ დავიღეთ დასაკმაყოფილებელ შედეგზე.

§ 69. უმარტივესი სტატიურად უკავშავალი გამბანისი წამწახა ანგარიშისა და კვთთა უმარტივის სანიმუშო მაგალითი.

გამოვიანგარიშოთ ნახ. 141-ზე წარმოდგენილი წამწე და მისთვის შევარჩიოთ კვეთები.

ქვედა არტახის კვანძთა დატვირთვაა $P_1 = P_2 = 20$ ton. არტახის სიგრძეა 300 cm. წამწეს სიმაღლეც არის 300 cm.

ამოხსნა. ღეროებით გამოვრიცხოთ ზედმეტი ღერო და სტატიურად რკვევად სისტემისათვის (რომელშიაც უკვე აღარ შედის ზედმეტი l_0 ღერო) ავაგოთ კრემონას დიაგრამა. ღეროთა S ძალღონეებისათვის ნაპოვნი სიდიდეები შეგვაქვს ტაბულაში (იხ. ტაბულა ამავე §-ში).



ნახ. 141.

შემდეგ ავიღებთ იმავე წამწეს, დაეტვირთავთ მას „ერთეული“ სისტემით და ვაგებთ მეორე დიაგრამას. მეორე დიაგრამის აგებისას ვამჩნევთ, რომ ამ მაგალითის საყრდნობთა რეაქციები $A = B = 0$, რისგამო 1 — 8, 2 — 8, 4 — 5 და 1 — 5 ღეროები უქმად არიან. აგებას ვიწყებთ ერთეულის ტოლი 1 — 8 ძალის გადაზომვით, რომელსაც გავატარებთ 8 — 7 და 7 — 1 ხაზების ბოლოებიდან სათანადო ღეროების პარალელურად. ეპოულობთ, რომ ღერო 8 — 7 შეკუმშულია, 7 — 1 ღეროც შეკუმშულია და მათი ძალღონეები 0,707-ის ტოლ-

ნი არიან. მარცხენა ზედა კენაძზე გადასვლით შევიმჩნევთ, რომ დიაგრამაზე 7—6 ძალლონის მისაღებათ, წერტილი 5 უნდა თანხედებოდეს წერტილ 1-ს. მივიღებთ, რომ ღერო 7—6 დაკვიშულია და მასში მქმედი ძალლონე „ერთეული“ ძალლონეა. გადავდივართ რა ქვედა კენაძზე, რომელზედაც მოდებულია „ერთეული“ ძალა, ვამჩნევთ რომ წერტილი 3 უნდა ემთხვევოდეს წერტილ 8-ს და 5—6 და 6—3 ღეროებში მქმედი ძალლონეები ორთავე კუმშვადია და 0,707-ის ტოლი უნდა იყოს.

ეს 7 ძალლონეები შეგვაქვს ტაბულაში.

პირველ მიახლოებისათვის კვეთებს შევარჩევთ 'ძირითადი სისტემის ღეროებში S ძალლონის მიხედვით, F_0 კვეთს კი 6—7 ღეროს კვეთის ტოლად ვიგულებთ. დავიწყეთ ამ კვეთთა შერჩევა.

გაკვიშული ღეროებისათვის: 4—5; 5—6; 6—3; 7—8 და 2—8:

$$F_{\text{ითხო}} = \frac{20000}{1000} = 20 \text{ cm}^2.$$

მოქლონების გამო დაძაბუნებას 20%, ტოლად თუ ავიღებთ, მაშინ დაგვეკირდება ორი კუთხოვანა $80 \times 80 \times 8 \text{ mm}$.

მივიღებთ ფართობს: $F_{\text{სრული}} = 24,54 \text{ cm}^2$.

შეკუმშულ ღეროებისათვის: 1—5 და 1—8:

1) სიმტკიცეზე შემოწმება:

$F_{\text{ითხო}} = \frac{28284}{1000} = 28,28$, ე. ი. სამოქლონო ნახერტებისათვის 20% თუ

მივიღებთ, მაშინ უნდა შევარჩიოთ უახლოესი უდიდესი კვეთი ორი კუთხოვანასაგან $120 \times 80 \times 10 \text{ mm}$, რომელთათვისაც:

$$F_{\text{სრული}} = 38,26 \text{ cm}.$$

2) მდგრადობაზე შემოწმება: კუთხოვანებს შორის მანძილი ტოლი იყოს 10 mm. = 1 cm.

$$J_{\text{ითხო}} = 98,2 + 19,13 \cdot 2,45^2 = 207 \text{ cm}^4.$$

ინერციის რადიუსია:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} = \sqrt{\frac{207}{19,13}} = 3,28;$$

მოქნილობა: 1

$$\frac{l}{i} = \frac{424}{3,28} = 129.$$

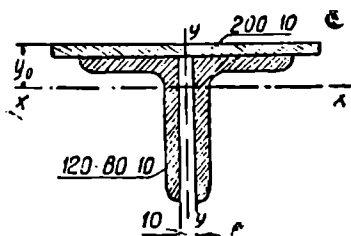
ერთიანი ნორმების მიხედვით:

$$R'_d = 1000 \cdot \varphi = 397 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

ფაქტიური კინეაა:

$$\sigma = \frac{28284}{38,26} = 740 > 397 \text{ (დასაშვებზე).}$$

კუთხოვანების თაროებზე მივამოქლონებთ ფურცელს 200×10 mm და ვამოწმებთ მიღებულ კვეთს (ნახ. 142):



ნახ. 142.

ნახ. 142.

$$F_{\text{ერთი}} = 38,26 + 20 = 58,26 \text{ cm}^2.$$

მინიმალური ინერციის მომენტი:

$$J_y = 207 + 1 \frac{20^3}{12} = 873 \text{ cm}^4.$$

ეპოულობთ J_x მომენტს: ამისათვის უნდა ვიპოვოთ შედგენილი კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი x ღერძის დაშორების მანძილი ფურცლის გარე წახნაგამდე:

$$y_0 = \frac{38,26 \cdot 4,92 + 20 \cdot 0,5}{58,26} = 3,41 \text{ cm,}$$

მაშასადამე:

$$\begin{aligned} J_x &= \frac{20 \cdot 1^3}{12} + 20 \cdot 2,91^2 + 275,6 \cdot 2 + 2 \cdot 19,13(4,92 - 3,41)^2 = \\ &= 810 \text{ cm}^4 = J_{\text{min}}; \end{aligned}$$

ინერციის რადიუსია:

$$i = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{810}{58,26}} = 3,72;$$

მოქნილობა:

$$\frac{l}{i} = \frac{424}{3,72} = 114.$$

ერთიანი ნორმების მიხედვით;

$$\varphi = 0,492; R'_d = 1000 \cdot \varphi = 492 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

ფაქტიური კინვაა:

$$\sigma = \frac{28284}{58,26} = 495 \text{ ან } 492 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

მიღებული შედეგები მოგვეყავს სისტემაში და შეგვაქვს ტაბულაში.

ზედმეტ ღეროში X ძალღონეს განსაზღვრის მიზნით საჭირო ფორმულისათვის ვადგენთ აუცილებელ გამოსახულებებს:

$$\frac{S \cdot \gamma \cdot l}{F}, \frac{\gamma l}{F} \text{ და } \frac{l_0}{F_0}.$$

ეს შედეგები შეგვაქვს ტაბულაში, მათ ვკრიბავთ სვეტებათ, ჩავსვამთ X -ის ფორმულაში (იხილე წინა §-ში) და მივიღებთ, რომ

$$X = 6450 \text{ kg,}$$

შემდეგ ვპოულობთ ზედმეტი ღეროს გავლენის გათვალისწინებით წამწეს ღეროებში წარმოშობილ საბოლოო ძალღონეებს

$$(S + \gamma X),$$

და შედეგები შეგვაქვს ტაბულაში.

გაქიმულ ღეროებისათვის ნაპოვნი $F_{\text{ნაღვ}}$ და შეკუმშულებისათვის F კვეთების პოვნით ვანგარიშობთ მიღებულ კინეებს.

ტაბულიდან ჩანს, რომ ზედმეტი ღეროს ზეგავლენაში მყოფი ღეროების კინეები, ძალზედ მცირე სიდიდისანი აღმოჩნდნენ. ამ ღეროებში დასაშვები კინეების ტოლ სიდიდეებს რომ მიუახლოვდეთ, შევარჩიოთ ზედმეტი ღეროს კვეთი, და მასადაამე მასთან გადაჯვარიდინებული 7—6 ღეროს კვეთიც, ორ კუთხოვანადან

$$60 \times 60 \times 6 \text{ mm,}$$

რომელათათვისაც $F_{\text{ნაღვ}} = 13,82 \text{ cm}$ და ახალი X ძალღონის, ახალი ნამდვილი $S + \gamma X$ ძალღონეების გამაანგარიშებით ხელახლად შევამოწმოთ კინეები.

სტატიურად რკვევად სისტემებში თითოეულმა ღეროს საჭირო კვეთს ცალცალკე შევარჩევთ და თანაბარ კინეის სისტემას მივიღებთ (მაქსიმალურად დასაშვებს). როგორც ამ მაგალითიდან ჩანს, სტატიურად ურკვევადი სისტემის ტოლი დაქიმულობის სისტემად გარდაქმნა თითქმის შეუძლებელია, ამისგამო ასეთი სისტემები შედარებით მძიმეა.

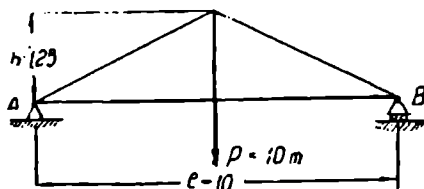
| ლეროთა № | ლეროების სიგრძე cm-ში | S ძალონე kg-ში | | γ ძალონე kg-ში | | ლეროთა პროფილები | კვეთის ფართობი cm ² -ში | Sγ/ F |
|----------------|-----------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|---------------------------------------|--|----------|
| | | + | - | + | - | | | |
| 1/5 | 424 | — | 28284 | — | — | 2 L 120 × 80 × 10 ზედმეტი 200 × 10 | 58,26 | — |
| 4/5 | 300 | 20000 | — | — | — | 2 L 80 × 80 × 8 | 24,54 | — |
| 5/6 | 300 | 20000 | — | — | 0,707 | 2 L 80 × 80 × 8 | 24,54 | - 173000 |
| 6/8 | 300 | 20000 | — | — | 0,707 | 2 L 80 × 80 × 8 | 24,54 | - 173000 |
| 6/7 | 424 | — | — | 1,00 | — | 2 L 65 × 65 × 6 | 15,02 | — |
| 1/7 | 300 | — | 20000 | — | 0,707 | 2 L 120 × 80 × 10 ზედმეტი 200 × 10 | 58,26 | + 73000 |
| 1/8 | 424 | — | 28284 | — | — | 2 L 120 × 80 × 10 ზედმეტი 200 × 10 | 58,26 | — |
| 7/8 | 300 | 20000 | — | — | 0,707 | 2 L 80 × 80 × 8 | 24,54 | - 173000 |
| 2/8 | 300 | 20000 | — | — | — | 2 L 80 × 80 × 8 | 24,54 | — |
| 1 ₀ | 424 | x | x | 1,00 | — | 2 L 65 × 65 × 6 | 15,02 | — |

-446000

$$X = \frac{446000}{28,2 + 49,1} = 6450 \text{ kg}$$

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. რას უდრის იდეალურად გლუვი სრიალის ლერძის რეაქციის მუშაობა?
2. როგორ სახეს მიიღებს სხუდასხვაგვარი მასალისაგან დამზადებული წეროებიანი წამწესათვის (ბ) განტოლებები?



ნახ. 143.

თუ იგი განიცდის $P = 10 \text{ ton}$ დატვირთვის მოქმედებას (ნახ. 143).

5. გადაიანგარიშეთ (ნახ. 141) წამწეს ლეროთა კონფები, რისათანა დაიცავით § 69-ში განხილული მაგალითის მოცემულობანი, ზედმეტ ლეროს F_0 კვეთისა და 6—7 ლეროს კვეთის გამონაკლისით; მათი კვეთი ორი კუთხოვანას 2 L 60 × 60 × 5 კვეთის ტოლად მიიღეთ.

| $\frac{J^2 I}{F}$ | $\frac{l_0}{F^0}$ | S + ; X | | F _{netto} და ყ. F | პანკები kg/cm ² -ში | შ ე ნ ი შ ე ნ ა : |
|-------------------|-------------------|---------|-------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | + | - | | | |
| — | — | — | 28284 | 28,7 | 957 | $J_{min} = 810; \frac{l}{l} = 114 \varphi = 0,492$ |
| — | — | 20000 | — | 21,34 | 940 | d = 20 mm |
| 6,1 | — | 15440 | — | 21,34 | 722 | d = 20 |
| 6,1 | — | 15440 | — | 21,34 | 720 | d = 20 |
| 28,2 | — | 6450 | — | 13,34 | 483 | d = 14 |
| 2,6 | — | — | 24560 | 39,5 | 623 | $J_{min} = 810; \frac{l}{l} = 81, \varphi = 0,677$ |
| — | — | — | 28284 | 28,7 | 957 | $\varphi = 0,492$ |
| 6,1 | — | 15440 | — | 21,34 | 722 | d = 20 mm |
| — | — | 20000 | — | 21,34 | 940 | d = 20, " |
| — | 28,2 | 6450 | — | 13,34 | 483 | d = 14 |
| 49,1 | 28,2 | | | | | |

§ 70. ოკსახსრიანი გაშბანისი თალის საყრდნობთა რაბაძციების განსაზღვრა.

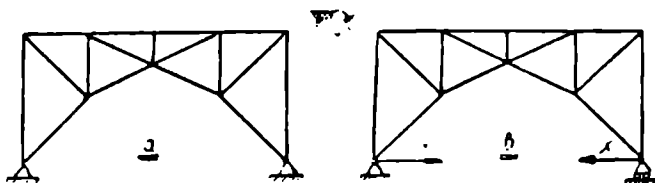
წინაღ ზეენ გავეცანით შიდა სტატიურად ურკვევადი წამწეთა ანგარიშს. პრაქტიკაში შეიძლება შეგვხვდეს ისეთი შემთხვევა, როცა ზედმეტ უცნობათ საყრდნობის ზედმეტი დამგარება მიჩნეული, რაიც გარე სტატიურად ურკვევად ამოცანას წარმოადგენს. განვიხილოთ ისეთი ღეროვანი სისტემის გამოთვლის მაგალითი, როცა სისტემა შიდა სტატიურად რკვევადია და გარე სტატიურად ურკვევადი.

განვსაზღვროთ ორ სახსრიანი თალის (ნახ. 144 ა) საყრდნობთა რეაქციები. რადგან ამ სისტემის არცერთი საყრდნობი არ არის მოძრავი, ამიტომ საყრდნობთა რეაქციების უცნობი მდგენელების რიცხვი უდრის ოთხს.

მარჯვენა უძრავი საყრდნობი მოძრავით შევცვალოთ. მივიღებთ სტატიურად რკვევად სისტემას.

P ტვირთთა სისტემის ქმედებით, მარჯვენა მოძრავი B საყრდნობი B' მდებარეობაში გადაადგილდება რადგან ზეენ შევცვალეთ B საყრდნობის კონსტრუქცია და იგი მოძრავით გავხადეთ, ამიტომ იგი უძრავი საყრდნობის პირობებში რომ ჩავაყენოთ, B' საყრდნობი თავდაპირველ მდებარეობაში უნდა დავაბრუნოთ. ამისათვის B'-ზე უნდა მოვდოთ რაღაც პორიზონტალური X ძა-

ლა, რომელიც ალბათ უძრავი B საყრდნობის (დაწნევის) რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელის ტოლი იქნება. ამნაირად ჩვენ სტატიურად ურკვევადი წამწე განვიხილოთ, როგორც სტატიურად რკვევადი, რომელზედაც მოქმედობს ძალთა P და X სისტემები (ნახ. 144, b).



ნახ. 144.

დროებით X ძალის უკუგდებით და კრემონას დიაგრამის აგებით, ვპოულობთ სისტემის ღეროებში მქმედ ძალონეებს, რომლებსაც S ასოთი აღვნიშნავთ.

შემდეგ კრემონას მეორე დიაგრამის აგებით ვპოულობთ იმავე სისტემის ღეროებში B წერტილზე მოდებული და X ძალის ქმედების მხრივ მოდებული „ერთეული“ ძალის ქმედებით აღძრულ γ ძალონეებს. „ერთეული“ ძალა ღეროებში γ ძალონეებს თუ წარმოშობს, მაშინ X ძალა X-ჯერ მეტი სიდიდის ძალონეებს აღძრავს, ე. ი. γX .

ზედმეტი დამაგრების გათვალისწინებით ღეროებში მქმედი საბოლოო ძალონე იქნება

$$S + \gamma X.$$

X-ის განზღვრისათვის ვისარგებლოთ შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპით, რის დროსაც გარეძალთა სისტემათ მივიღებთ 1—1 სისტემას, გადაადგილებათა სისტემათ კი ნამდვილ გადაადგილებებს (რომელიც გამოწვეულია გარე ძალების და X ძალების ერთდროული ქმედებით).

განტოლება:

$$\sum P \Delta p = \sum S \Delta l$$

ასეთ სახეს მიიღებს:

$$1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = \sum \gamma \frac{(S + \gamma X) l}{FE},$$

საიდანაც

$$\sum \frac{\gamma S}{FE} = - \sum \frac{\gamma^2 X l}{FE}$$

$$X = - \frac{\sum \frac{\gamma/S}{FE}}{\sum \frac{\gamma^2 I}{FE}}$$

ზემოლ ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ ამ შემთხვევაში $\frac{\gamma/S}{F}$ და $\frac{\gamma^2 I}{F}$ გამოსახულებათა შედგენისათვის უწინდელის თანაგვარად აუცილებლად წინასწარ შერჩეული უნდა იქნეს ლეროების კვეთები, X გამოთვლის შემდეგ კი უნდა ვიპოვოთ ნამდვილი ძალღონე: $\gamma X + S$, რომლის მიხედვითაც ვამოწმებთ კინეზს. კინეზის შემოწმება არა დადებით შედეგებს (არა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს) თუ მოგვეცემს, მაშინ ხელახალი შემოწმება უნდა ჩავატაროთ.

§ 71. ტემპერატურის სვალეგადროვის გავლენა სტატიურად ურკვევადი სისტემის ლაჩოთა ძალღონეებზე.

სისტემა გარეგნულად სტატიურად რკვევადი თუ იქნება, მაშინ ერთნაირ გათბობისას სისტემის ყველა ლეროები ერთნაირად წაგრძელებიან (ან გაცივებისას ერთნაირად დამოკლებიან). ლეროთა სიგრძის პროპორციულად, და ტემპერატურის ცვლებადობით სისტემის ელემენტებში არავითარი დამატებითი კინეზები¹⁾ არ წარმოიშეება.

თუ კი სისტემა გარეგნულად სტატიურად ურკვევადი გამოდგება, მაშინ საყრდნობთა ზედმეტი დამაგრებანი საყრდნობებს ადგილიდან არ დასძრავენ და ტემპერატურის ცვლილება წამწეს ელემენტებში წარმოშობს კინეზს: ტემპერატურის ამალღება ნაშენს შეკუმშავს საყრდნობებს შორის, ტემპერატურის დადაბლება კი—გასქიმავეს (ნახ. 144).

მაგალითისათვის განესაზღვროთ ტემპერატურის t⁰ გრადუსით შეცვლის დროს წამწეს ლეროებში წარმოშობილი ძალღონეები, როცა წამწეს მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი უდრის α-ს.¹⁾

ერთერთი საყრდნობი მოძრავი საყრდნობით შეეცვალოთ, რომელსაც თანდართული აქვს საყრდნობის გადაადგილების შემაფერხებელი, სახსარზე მოდებულია, ჰორიზონტალური X ძალა. ლეროთა F კვეთის ზომები ჩვენთვის ცნობილია: ჩვენ ისინი უწინდელის თანაგვარად ძირითადი დატვირთვის მიხედვით შევარჩიეთ. ამავე დროს ვპოულობთ X ძალის ნაცვლად ლეროებში „ერთეული“ სისტემის ქმედებით აღძრულ γ ძალღონეებსაც.

¹⁾ ნათქვამი იმ წამწევებს შეეხება, რომელთა ელემენტები ერთგვაროვან ლითონისაგან არიან აგებულინი.

შესაძლო გადაადგილებათა განტოლების შედგენისათვის ვისარგებლოთ „ერთეულ“ ტვირთთა სისტემით, გადაადგილებებში კი მივიღოთ ტემპერატურის $\alpha \cdot t \cdot l$ ცვალებადობისა და X ძალდონის კმედებით გამოწვეული ღეროთა წაგრძელებანი. ასეთ შემთხვევაში მივიღებთ:

$$1 \cdot 0 = \sum \gamma \left(\alpha \cdot t \cdot l + \frac{\gamma X l}{EF} \right),$$

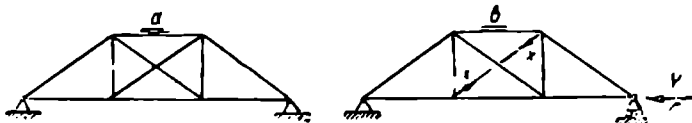
საიდანაც

$$X = - \frac{\sum \gamma \alpha \cdot t \cdot l}{\sum \frac{\gamma^2 l}{EF}},$$

X -ის მიღების შემდეგ მოვძებნით სათანადო γX .

§ 72. მახალითი ორჯერ სტატიურად უკვევად სისტემაში ძალდონის განსაზღვრა.

განსაზღვროთ ძალდონეები ისეთ წამწეს ღეროებში, რომელსაც აქვს ზედმეტი ღერო და საყრდნობის ზედმეტი დამაგრება, ე. ი. იგი ორჯერ სტატიურად ურკვევადია (ნახ. 145, a).



ნახ. 145.

სისტემას ვაქცევთ სტატიურად რკვევად, რისთვისაც ზედმეტი ღეროს X — X ძალით ვცვლით, ზედმეტი დამაგრებას კი Y ძალით (ნახ. 145, b). განსაზღვროთ S ძალდონეები სტატიურად რკვევად სისტემაში, რის დროსაც დროებით უუურადღებოთ დავტოვოთ X — X და Y ძალები. შემდეგ ვპოულობთ X — X ძალთა სისტემის მიმართულებით მქმედი 1 — 1 ძალთა სისტემით წამწეს ღეროებში წარმოშობილ (γ_1) ძალდონეებს. და ბოლოს ვპოულობთ „ Y “ სისტემის მიმართულებით მქმედი „ერთეულ“ ძალთა სისტემით წამწეს ღეროებში წარმოშობილ γ_2 ძალდონეებს.

წამწეს ღეროებში წარმოშობილი სრული ძალდონე იქნება

$$S + \gamma_1 X + \gamma_2 Y.$$

დამატებითი განტოლებების მისაღებათ ორჯერ გამოვიყენებთ შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპს, ორთავე შემთხვევაში ავიღებთ ნამდვილ წაგრძელებებს, ძალთა სისტემით კი პირველ შემთხვევაში გამოვიყენებთ X — X მი-

მართლებით მქმედ 1 — I სისტემას, მეორეჯერ კი Y მიმართლებით მქმედ „ერთეულ“ ძალთა სისტემას.

პირველ შემთხვევისათვის მივიღებთ:

$$-1 \cdot \frac{X \cdot I_0}{F_0 E} = \sum \gamma_1 \frac{(S + \gamma_1 X + \gamma_2 Y) l}{FE}$$

და მეორე შემთხვევაში:

$$1 \cdot 0 = \sum \gamma_2 \frac{(S + \gamma_1 X + \gamma_2 Y) l}{FE}$$

ამ ორ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით, ვიპოვიot X და Y უცნობებს, შემდეგ კი წამწეს ღეროებში მქმედ ნამდვილ $(S + \gamma_1 X + \gamma_2 Y)$ ძალდონეებს.

ამ მაგალითში, ისე როგორც წინა მაგალითებში, X და Y ძალთა განსაზღვრისათვის თავდაპირველად უნდა შეეარჩიოთ ღეროთა F კვეთები, რომელნიც კინეზთა შემოწმების შემდეგ უნდა შევასწოროთ განმეორებითი ანგარიშით, რისათანა შეძლებისდაგვარად უნდა მიუახლოვდეთ თანაბრად დაქიშულ ელემენტებს.

§ 73. თეორემა ურთიერთ გადაადგილებაზე.

ეს თეორემა განიხილავს რაიმე სხეულზე გარეძალთა ორი სისტემის ქმედებით გამოწვეულ გადაადგილებებს შორის დამოკიდებულებას.

X სისტემით გამოწვეული გადაადგილებანი აღვნიშნოთ δ_x -ით, Y სისტემით გამოწვეული გადაადგილებანი კი δ_y -ით.

Y სისტემით გამოწვეულ გადაადგილების მიმართულებაზე X სისტემით გამოწვეული გადაადგილებანი δ_y -ით აღვნიშნოთ. სათანადოთ X სისტემით გამოწვეულ გადაადგილების მიმართულებაზე Y სისტემით გამოწვეული გადაადგილება δ_{yx} იქნება.

დაეამტკიცოთ, რომ X სისტემის მუშაობა ამ ძალთა შროდების წერტილთა გადაადგილებაზე (რომელნიც გამოწვეულია Y სისტემის), ე. ი. δ_{yx} -ზე, უდრის Y სისტემის მუშაობას X სისტემით გამოწვეულ გადაადგილებებზე, ე. ი.

$$X \cdot \delta_{yx} = Y \cdot \delta_{xy}$$

წამწეს ღეროებში X სისტემით აღძრული კინეები S_x -ით აღვნიშნოთ, Y სისტემით წარმოშობილი კი S_y -ით.

აეილოთ X სისტემის ძალები და Y სისტემით გამოწვეული გადაადგილებანი; შესაძლო გადაადგილებათა წესის მიხედვით, დავწერთ:

$$X \cdot \delta_{yx} = \sum S_x \cdot \Delta l_y = \sum \frac{S_x S_l}{FE}$$

ასევე, Y სისტემის ძალები X სისტემის გადაადგილებებზე კნინან მუშაობას:

$$Y \delta_{xy} = \sum S_y \cdot \Delta l_x = \sum \frac{S_y S_x \cdot l}{FE}$$

მაშასადამე:

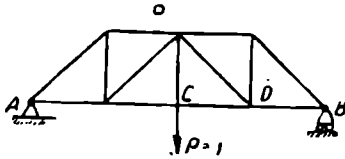
$$X \cdot \delta_{yx} = Y \cdot \delta_{xy}$$

კერძო შემთხვევაში, როცა X და Y ძალები თანატოლებია, მივიღებთ, რომ

$$\delta_{xy} = \delta_{yx}$$

ე. ი. X ძალა Y ძალის მიმართულეებაზე ისეთივე გადაადგილებას გამოიწვევს, როგორც Y ძალა X მიმართულეებაზე.

ამ ამოხსნის ძალით წამწეს ნალუნებისათვის შეგვიძლია ავსვით გავლენის ხაზი (ნახ. 146).



ნახ. 146.

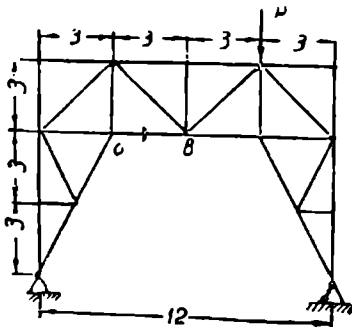


ნახ. 147.

ძალა $P=1$ მოდებულია C წერტილზე და D წერტილში გამოიწვევს ისეთივე ნალუნს, როგორსაც გამოიწვევს D წერტილში მოდებული $P=1$ ძალა C წერტილში. ამიტომ C წერტილზე მოდებული $P=1$ ძალისათვის აგებული ნალუნთა ხაზი არის სწორეთ C წერტილის იმ ნალუნთა ხაზი, რომელიც მიიღებოდა წამწეს ქვედა სარტყელზე მოძრავი $P=1$ ძალის ქმედებით.

კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის.

1. წარმოვიდგინოთ სტატიურად რკვევადი წამწე, შემოვილოთ საყრდნობთა სახსრების მართებელი ზედმეტი ღერო (ნახ. 147). თუ დაუშვებთ, რომ AB ღერო უსახლგროთ დიდი განივი კვეთის მქონეა $F_0 = \sigma$, მაშინ ღერო არ წაგრძელდება, ე. ი. B საყრდნობი უძრავი გახდება. დარწმუნდით, რომ ამ შემთხვევაში § 62-ის (ბ) ფორმულა გარდაიქმნება § 70-ის ფორმულად.



ნახ. 148.

შობილი ქინეა (ნახ. 148), თუ ვიგულისხმებთ, რომ ღეროების ყველა კვეთები ერთნაირია და შესდგებიან ორ კუთხოვანასაგან $100 \times 100 \times 10$. ზომები ნახაზიდან აიღეთ. $P = 10$ ton.

სასაფხველო გეგმარების ერთიანი ნორმები.

სერია XIV.

საერთო საანგარიშო ნორმები.

სასარგებლო ტვირთები № 4.

ამონაწერი ოქმი № 9-დან.

ა. აღრიცხვის წესი და განმარტება.

1. სასარგებლო ეწოდება ყოველგვარ დროებით (ცვალებადს, რომელსაც შეუძლია რაოდენობით და რაობით ცვლილება) დატვირთვას, რომელიც ესაბამება ნაშენის დანიშნულებას (ადამიანთა ჯგუფი, საბარგულები, ჩარხები და დაზგები, მოწყობილების საგნები, საქონელი და სხვ.).

2. სასარგებლო ტვირთი აღირიცხება მუდმივის ზევით; მუდმივად კონსტრუქციის და მისი მდგენელების წონა ითვლება.

3. ანგარიშს აწარმოებენ ტვირთის არახელსაყრელ მდებარეობის გათვალისწინებით.

ბ. უნდობის ნაწილების ანგარიშისათვის სასარგებლო დატვირთვათა ნორმები.

1. საცხოვრებელი ნაგებობანი.

- ა) ინდივიდუალური მოხმარების (ერთი ან რამოდენიმე პირისათვის) ბინა და საერთო საცხოვრებელის უჯრედთა ბინა . 150 kg/mt³
- ბ) კოლექტიური მოხმარების ბინა 250 "
- გ) საწოლი-საყაზარმო საცხოვრებელი ბინა 250 "
- დ) საცხოვრებელი სახლების (ორ სართულამდეა დერეფნები და კიბეები 300 "
- ე) კიბეები ორ სართულს ზემოთ 350 "
- ვ) კიბეები ყაზარმებში 400 "
- ზ) აივნები, გალერეები და ტერასები 350 "
- თ) აივნების და კიბეების სახელურები: 1 სიგრძე მეტრზე 50 kg

2. კომუნალური საყოფა-ცხოვრებო ნაგებობანი.

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| ა) მცირე ზომის საზოგადო სასაბინოები | 250 kg/m ² |
| ბ) დიდი " " | 350 " |
| გ) სასაკლაოები | 550 |
| დ) პურის საცხობები | 450 |

3. სამკურნალო ნაგებობანი.

| | |
|---|-----------------------|
| ა) საწოლი (ავადმყოფთა) პალატები | 150 kg/m ² |
| ბ) ამბულატორიები | 200 |
| გ) კიბეები | 350 |
| დ) გალერეები, ტერასები, აივნები | 350 " |
| ე) აივნების და კიბეების სახელურები 1 სიგრძივ მეტრზე | 50 kg. |

4. სასკოლო-განმანათლებელ დაწესებულებათა ნაგებობანი.

| | |
|--|-----------------------|
| ა) საკლასო აუდიტორიები | 250 kg/m ² |
| ბ) კიბეები | 350 " |
| გ) გალერეები, ტერასები, აივნები | 350 " |
| დ) აივნების და კიბეების სახელურები: 1 სიგრძივ მეტრზე | 100 kg. |

5. საზოგადოებრივი ნაგებობანი.

| | |
|--|-----------------------|
| ა) საერთო ოთახის, ფოიეს, ვესტიბიულების და გასახდელის გარდა კლუბების, თეატრების, კინოთეატრების და ა. შ. სადგომები | 300 kg/m ² |
| ბ) თეატრების, კინოთეატრების და კლუბების საერთო დარბაზები, ფოიე, ვესტიბიულები და გასახდელისაუფის | 400 |
| გ) სამკითხველოები განჯინებით კაპიტალურ კედლებთან | 300 |
| დ) წიგნთსაცავები და არქივები | 500 |
| ე) ვოკალური ბინები | 400 |
| ვ) გარაეები | 500 |
| ზ) კიბეები, გალერეები, ტერასები, აივნები | 400 |
| თ) აივნების და კიბეების სახელურების 1 სიგრძივ მეტრზე | 100 |

6. საწარმო-დამამუშავებელი ნაგებობანი.

| | |
|----------------------------------|-------|
| ა) საქარხნო-საფაბრიკო სადგომები: | |
| ძლიერ სუბუქისათვის | > 300 |
| დანარჩენ შემთხვევაში | > 400 |
| ბ) საწყობებისათვის | > 400 |
| გ) კიბეებისათვის | 400 |
| დ) კიბეთა სახელურებისათვის | 100 |

7. სასოფლო-სამეურნეო ნაგებობანი.

| | |
|-------------------------------|-----|
| ა) სათივესათვის | 300 |
| ბ) მარნებისა და ბელღებისათვის | 400 |
| გ) პურის ბელღისათვის | 500 |

8. საადმინისტრაციო ნაგებობანი.

| | |
|---|--------|
| ა) კანტორის და სასამსახურო ბინები, რომლებშიაც მრავლად არ იყრის თავს ხალხი | 200 |
| ბ) იგივე როცა მრავლად იყრის ხალხი თავს | 300 |
| გ) კიბეები | 400 |
| დ) აივნები, გალერეები, ტერასები | 350 |
| ე) კიბეების სახელურებისა და აივნების სახელურებისათვის: სიგრძე 1 mt-ზე . | 50 kg. |

9. საერთო ელემენტები ყველა სახის ნაგებობისათვის.

| | |
|---|-----------------------|
| ა) სახურავ ქვეშა გადაფარება | 75 kg/mt ² |
| ბ) $\frac{1}{20}$ დახრილი ჰორიზონტალური ან შვეული სახურავებისათვის, რომელზედაც დროებით შეიძლება იდგეს ხალხი სათამაშოთ, დასაკვირვებლათ, დასასვენებლათ (ქარის და თოვლის წნევის გათვალისწინებით) | 250 |

სააგრონომიო გეგმარების ერთიანი ნორმები.

სერია XIV.

საერთო საანგარიშო ნორმები.

ბარე-ქალები № 3.

A. განსაზღვრა.

გარეძალგება:

1. საანგარიშო ელემენტების საკუთარი წონა,
2. შემზარებელი კონსტრუქციის წონა,
3. სასარგებლო დატვირთვა (ხალხის ჯგუფი, მატარებელი, ავტომობილები, აბარგულები, ეტლები, მიწის წნევა, წყლის წნევა),
4. ნაგებობაში მქმედი ინერციის ძალები.

B. ქარის წნევა.

ქარის წნევით გამოწვეული დატვირთვა განიზღვრება ფორმულით:

$$p_j = k (p_j^0 + k_1 h),$$

სადაც: p_j — ქარის წნევა (კილოგრამებში) 1 m^2 ზედაპირზე, k — გარსვლების კოეფიციენტი (იხ. ტაბულა. 1 და ტაბ. 2, დამატებებში); p_j^0 — ქარის წნევა (კილოგრამებში) დედაქიწის ზედაპირის 1 m^2 -ზე; h — ნაგებობის სრული სიმაღლე (მეტრებში).

C. თოვლის წნევა.

თოვლის წნევა განიზღვრება ფორმულით:

$$p_{\sigma} = p_{\sigma}^0 (1 + 0,002 h) (45 - \alpha),$$

სადაც: p_{σ} — თოვლის შვეული წნევა (კილოგრამებში) ზედაპირის 1 m^2 -ზე;

p° — ემპირიული სიდიდეა (kg-ში 1 mt²-ზე) (იხ. ტაბ 5); h — სიმაღლეა (mt-ში) ზღვის დონედან (იხ. ტაბ. 6, დამატების); α — კორიწონტთან ზედაპირის დახრის კუთხეა გრადუსებში.

ტაბულა 1 (დამატების).

| ნაშენის ნაწილების დახასიათება | K კოეფიციენტი (როცა ნაშენს არა აქვს დიდი წნევა) |
|-------------------------------|---|
| 1. ორფერდობიანი სახურაეები | $0 \div 0,5 \div 1,0$ |
| 2. ნაშენთა კედლები . | $0,4 \div 0,8.$ |

ტაბულა 2 (დამატების).

| ნაშენის დახასიათება | K კოეფიციენტი, როცა მხედველობაში არ არის მიღებული ქარის დადებითი და უარყოფითი წნევანი |
|---|---|
| 1. შთლიანი ან რიკულიანი ხიდის წამწე . | 1,5 |
| 2. შუქურები, კოშკები, საჭ-საფ. საკვამლე მილები: . | $0,6 \div 1 \div 1,25 \div 1,5$ |
| 3. გადაღარება მიწაზე: | |
| ა) ორმხრივი გადახურვა | $1,2 \div 0,6$ |
| ბ) რგვალი გადახურვა | $0,6 \div 0,25$ |

დედამიწის ზედაპირზე ქარის P⁰ წნევის მნიშვნელობა.

| რ ა ი ო ნ ე ბ ი | ადგილია დაცვის პირობები | | |
|---|--|--|------------------------------|
| | ლია ადგილზე თავისუფლად მდგომი ნაგებობანი | ქალაქის ნაპირებზე ან ახალშენებზე მდგომი ნაგებობანი | ხშირ-მოსახლეობაში ნაგებობანი |
| | 100% | 80% | 60% |
| შავი ზღვის პირი | 100 | 80 | 60 |
| ფინეთის უბის და აზოვის ზღვის გარეშე ზღვის პირი და დიდი მდინარეების დაბლობები შვედეთის ადგილებში | 75 | 60 | 45 |
| საბჭოთა კავშირის მთელი ტერიტორია ზედა ორი პუნქტის გარეშე | 50 | 40 | 30 |

ტაბულა 4.

საანგარიშო R₁ კოეფიციენტის მნიშვნელობანი

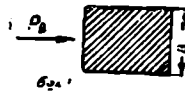
| ნაშენის დახასიათება | K ₁ |
|---|-------------------------|
| 1. ზემოდან ქარის წნევის ქვეშ მოხვედრილი ნაგებობა . | 0,67 |
| 2. იგივე—ქვემოდანაც | $1 - 0,5 \frac{h'}{h}$ |
| 3. ფერდიდან ქარის წნევის ქვეშ მოხვედრილი ნაგებობა (იხ. ნახ. 6 და 7) | $1 - 0,33 \frac{h'}{h}$ |

თოვლის დაბვიანობის გამოანგარიშებისათვის ემპირიულ რუკ სიდიდის მნიშვნელობა.

| გაჭრის კუთხე | ს ი გ რ ძ ი ს გ რ ა ე ჯ ს ე ბ ი | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° | 100° | 110° | 120° | 130° | 140° | 150° | 160° | 170° | 180° | 190° |
| 70° | 1,92 | 2,12 | 2,30 | 2,72 | 2,92 | 3,15 | 3,38 | 3,46 | 3,54 | 3,60 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,60 | 3,54 | 3,42 | 3,31 | 3,15 |
| 65° | 1,92 | 2,10 | 2,27 | 2,66 | 2,89 | 3,06 | 3,23 | 3,31 | 3,38 | 3,49 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,45 | 3,31 | 3,14 | 2,97 | 2,85 |
| 60° | 1,92 | 2,07 | 2,23 | 2,61 | 2,86 | 2,97 | 3,08 | 3,15 | 3,23 | 3,38 | 3,51 | 3,51 | 3,51 | 3,31 | 3,08 | 2,86 | 2,53 | 2,30 |
| 55° | 0,57 | 1,69 | 2,07 | 2,36 | 2,64 | 2,70 | 2,86 | 2,95 | 3,04 | 3,15 | 3,29 | 3,29 | 3,20 | 2,98 | 2,78 | 2,49 | 2,15 | 1,96 |
| 50° | — | 0,94 | 1,93 | 2,12 | 2,30 | 2,41 | 2,53 | 2,74 | 2,86 | 2,92 | 3,04 | 2,92 | 2,86 | 2,61 | 2,23 | 2,01 | 1,33 | 0,37 |
| 45° | — | — | 1,33 | 1,79 | 1,96 | 2,02 | 2,07 | 2,35 | 2,61 | 2,69 | 2,80 | 2,53 | 2,30 | 1,96 | 0,57 | — | — | — |
| 40° | — | — | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 1,93 | 2,23 | 2,30 | 2,38 | 2,01 | 0,57 | — | — | — | — | — |

გეობრაფიული მოცუვალობანი ზომიერით აღბილისათვის.

| № რიგზე | ადგილმდებარეობა | განედი | სიგრძედი | სიმაღლე მტ-ში ზღვის დონედან |
|---------|-----------------|--------|----------|-----------------------------------|
| 1 | ბაკო | 40°22' | 49°50' | 2 |
| 2 | ბათომი | 41°40' | 41°38' | 3 |
| 3 | ქ. ორჯონიკიძე | 43° 2' | 41°41' | 684. |
| 4 | ქუთაისი | 42°16' | 42°44' | 140 |
| 5 | ტფილისი | 41°43' | 44°47' | 400 |
| 6 | ზარკოვი | 50° 4' | 36° 9' | 126 |
| 7 | სტალინგრადი | 48°12' | 38°39' | 35 |
| 8 | ფლოთი | 42° 8' | 41°39' | 8 |
| 9 | მოსკოვი | 55°46' | 37°40' | 137 |
| 10 | ლენინგრადი | 59°56' | 30°16' | 5 |
| 11 | ერევანი | 40°10' | 44°30' | 1000 |



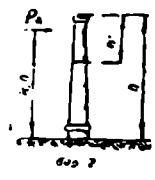
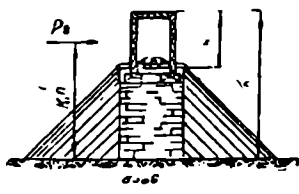
გვერდიდან და ზემოდან ჭარის წნევის ქვეშ მოხვედრილი ნაშენის პორიზონტალური კვეთი

გვერდიდან და ზემოდან ჭარის წნევის ქვეშ მოხვედრილი ნაშენის პორიზონტალური კვეთი



ნაშენის განივი კვეთი

ნაშენის განივი კვეთი



პროფ. ბელუჯიძის ფორმულაში შესხვდარილი ბუნებრივი მანობის კუთხის $\varphi = 15^\circ + 45^\circ$ ტაბულა.

| | $\alpha = \frac{\varphi - \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{4}}$ | $1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $1 - 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $\frac{1}{2} 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $\frac{1 - 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha}{2} 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $\frac{1}{1 \text{ ს}^{\circ} \alpha}$ | $2 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $\frac{1}{2} 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ | $\frac{1 - 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha}{2} 1 \text{ ს}^{\circ} \alpha$ |
|----------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|---|--|--------------------------------|--|---|
| 15 . . . | 37°30' | 0,767 | 0,568 | 0,346 | 0,654 | 0,652 | 0,426 | 2,890 | 0,531 | 1,883 | 1,231 |
| 16 . . . | 37° | 0,751 | 0,569 | 0,324 | 0,676 | 0,663 | 0,448 | 3,086 | 0,459 | 2,045 | 1,382 |
| 17 . . . | 36°30' | 0,740 | 0,5-18 | 0,300 | 0,710 | 0,676 | 0,473 | 3,333 | 0,4-14 | 2,525 | 1,576 |
| 18 . . . | 36° | 0,727 | 0,529 | 0,280 | 0,720 | 0,688 | 0,495 | 3,571 | 0,407 | 2,457 | 1,769 |
| 19 . . . | 35°30' | 0,714 | 0,508 | 0,258 | 0,742 | 0,701 | 0,520 | 3,876 | 0,368 | 2,717 | 2,016 |
| 20 . . . | 35° | 0,700 | 0,490 | 0,240 | 0,760 | 0,714 | 0,543 | 4,167 | 0,336 | 2,976 | 2,262 |
| 21 . . . | 34°30' | 0,687 | 0,472 | 0,223 | 0,777 | 0,728 | 0,566 | 4,484 | 0,306 | 3,268 | 2,539 |
| 22 . . . | 34° | 0,675 | 0,456 | 0,208 | 0,792 | 0,741 | 0,587 | 4,808 | 0,281 | 3,559 | 2,819 |
| 23 . . . | 33°30' | 0,662 | 0,438 | 0,192 | 0,808 | 0,755 | 0,610 | 5,208 | 0,254 | 3,937 | 3,181 |
| 24 . . . | 33° | 0,649 | 0,421 | 0,177 | 0,823 | 0,772 | 0,635 | 5,650 | 0,230 | 4,348 | 3,578 |
| 25 . . . | 32°30' | 0,637 | 0,406 | 0,165 | 0,835 | 0,785 | 0,665 | 6,061 | 0,210 | 4,782 | 3,976 |
| 26 . . . | 32° | 0,625 | 0,391 | 0,153 | 0,847 | 0,500 | 0,678 | 6,536 | 0,191 | 5,236 | 4,435 |
| 27 . . . | 31°30' | 0,613 | 0,376 | 0,141 | 0,859 | 0,816 | 0,701 | 7,032 | 0,173 | 5,780 | 4,965 |
| 28 . . . | 31° | 0,601 | 0,361 | 0,130 | 0,870 | 0,842 | 0,724 | 7,692 | 0,156 | 6,410 | 5,577 |
| 29 . . . | 30°30' | 0,589 | 0,347 | 0,120 | 0,880 | 0,849 | 0,747 | 8,333 | 0,141 | 7,092 | 6,241 |
| 30 . . . | 30° | 0,577 | 0,334 | 0,111 | 0,889 | 0,867 | 0,771 | 9,039 | 0,128 | 7,813 | 6,946 |
| 31 . . . | 29°30' | 0,566 | 0,320 | 0,102 | 0,899 | 0,884 | 0,794 | 9,804 | 0,115 | 8,696 | 7,809 |
| 32 . . . | 29° | 0,554 | 0,307 | 0,094 | 0,906 | 0,905 | 0,820 | 10,638 | 0,104 | 9,615 | 8,711 |
| 33 . . . | 28°30' | 0,543 | 0,295 | 0,087 | 0,913 | 0,921 | 0,841 | 11,494 | 0,094 | 10,638 | 9,712 |
| 34 . . . | 28° | 0,532 | 0,283 | 0,080 | 0,920 | 0,940 | 0,865 | 12,500 | 0,085 | 11,765 | 10,824 |
| 35 . . . | 27°30' | 0,521 | 0,271 | 0,073 | 0,927 | 0,960 | 0,890 | 13,699 | 0,076 | 13,158 | 12,197 |
| 36 . . . | 27° | 0,510 | 0,260 | 0,068 | 0,932 | 0,981 | 0,914 | 14,705 | 0,069 | 14,493 | 13,507 |
| 37 . . . | 26°30' | 0,499 | 0,249 | 0,062 | 0,938 | 1,002 | 0,940 | 15,129 | 0,062 | 16,129 | 15,129 |
| 38 . . . | 26° | 0,488 | 0,238 | 0,057 | 0,943 | 1,025 | 0,967 | 17,544 | 0,056 | 17,857 | 16,839 |
| 39 . . . | 25°30' | 0,477 | 0,228 | 0,052 | 0,948 | 1,048 | 0,994 | 19,231 | 0,050 | 20,000 | 18,960 |
| 40 . . . | 25° | 0,466 | 0,217 | 0,047 | 0,953 | 1,073 | 1,023 | 21,277 | 0,044 | 22,727 | 21,659 |
| 41 . . . | 24°30' | 0,456 | 0,208 | 0,043 | 0,957 | 1,097 | 1,050 | 23,256 | 0,033 | 25,641 | 24,538 |
| 42 . . . | 24° | 0,445 | 0,198 | 0,039 | 0,961 | 1,124 | 1,080 | 25,641 | 0,035 | 28,571 | 27,457 |
| 43 . . . | 23°30' | 0,435 | 0,189 | 0,036 | 0,964 | 1,150 | 1,109 | 27,778 | 0,031 | 32,258 | 31,097 |
| 44 . . . | 23° | 0,424 | 0,180 | 0,032 | 0,968 | 1,179 | 1,141 | 31,250 | 0,027 | 37,037 | 35,852 |
| 45 . . . | 22°30' | 0,414 | 0,171 | 0,029 | 0,971 | 1,208 | 1,173 | 34,433 | 0,024 | 41,667 | 40,459 |

მართნაირი I მალიანი და ამავე ღრუს მრავალმალიანი კოვების 3 + 6 საყრდნობაზე გამოსაანგარიშებელი ტაბულები.

კოქები დატვირთულია თანაბრად განრიგებული q დატვირთვით ან შთაწერტული P (ერთნაირი სიდიდის) ძალებით.

ტვირთის ხასიათის მიხედვით, უნდა ვისარგებლოთ ფორმულებით:

$$M = k \cdot q \cdot l^2,$$

$$M = k \cdot P \cdot l,$$

საყრდნობთა რეაქციების და გადაძვრელი ძალების გამოსაანგარიშებლათ კი ფორმულებით:

$$Q = k' \cdot q \cdot l$$

და

$$Q = k' \cdot P,$$

k და k' კოეფიციენტების სიდიდეები გ. მენშის ქვემოთ ტაბულებშია მოყვანილი.

ორმალნიანი კოვი.

| პ.ნ. რიგზე | დატვირთვის ხერხები | მომენტი | | მ-საყრდნობის მენტი M ₁ | საყრდნობის რეაქცია | | | გადაძვრელი ძალა | |
|------------|--------------------|---------|----------|-----------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| | | I მალზე | II მალზე | | A ₀ | A ₁ | A ₂ | მარცხენა მუკა საყრდნობიდან | მარჯვნივ მუკა საყრდნობიდან |
| 1 | | 0,070 | 0,070 | -0,125 | 0,376 | 1,250 | 0,375 | -1,625 | 0,625 |
| 2 | | 0,096 | -0,025 | -0,063 | 0,437 | 0,625 | -0,063 | -0,563 | 0,063 |
| 3 | | 0,156 | 0,156 | -0,188 | 0,312 | 1,375 | 0,312 | -0,688 | 0,688 |
| 4 | | 0,203 | -0,047 | -0,094 | 0,406 | 0,688 | -0,094 | -0,594 | 0,094 |
| 5 | | 0,222 | 0,222 | -0,333 | 0,667 | 2,667 | 0,667 | -1,334 | 1,334 |
| 6 | | 0,278 | -0,056 | -0,167 | 0,833 | 1,334 | -0,167 | -1,167 | 0,167 |
| 7 | | 0,266 | 0,266 | -0,469 | 1,042 | 3,916 | 1,042 | -1,959 | 1,959 |
| 8 | | 0,383 | -0,117 | -0,234 | 1,266 | 1,968 | -0,234 | -1,734 | 0,234 |

სამშენიანი კოეფიციენტი

| პ.ნ. ლოგეტი | დატვირთვის ხერხი | მომენტში | | საყრდენობის მომენტი | | ს ა ყ რ |
|-------------|------------------|----------|---------|---------------------|----------------|---------|
| | | 1 შალზე | 2 შალზე | M ₁ | M ₂ | |
| 1 | | 0,080 | 0,025 | -0,100 | -0,100 | 0,400 |
| 2 | | 0,101 | -0,050 | -0,050 | -0,050 | 0,450 |
| 3 | | -0,025 | 0,075 | -0,050 | -0,050 | -0,050 |
| 4 | | | | -0,117 | -0,033 | 0,383 |
| 5 | | | | -0,067 | -0,017 | 0,433 |
| 6 | | 0,175 | 0,100 | -0,150 | -0,150 | 0,350 |
| 7 | | 0,213 | -0,075 | -0,075 | -0,075 | 0,425 |
| 8 | | -0,038 | 0,175 | -0,075 | -0,075 | -0,075 |
| 9 | | | | -0,175 | -0,050 | 0,325 |
| 10 | | | | -0,100 | -0,025 | 0,400 |
| 11 | | 0,244 | 0,067 | -0,267 | -0,267 | 0,733 |
| 12 | | 0,289 | -0,133 | -0,133 | -0,133 | 0,866 |
| 13 | | -0,044 | 0,200 | -0,133 | -0,133 | -0,133 |
| 14 | | | | -0,311 | -0,089 | 0,689 |
| 15 | | " | | -0,178 | -0,044 | 0,822 |
| 16 | | 0,313 | 0,125 | -0,375 | -0,375 | 1,125 |
| 17 | | 0,406 | -0,188 | -0,188 | -0,188 | 1,313 |
| 18 | | -0,034 | 0,313 | -0,188 | -0,188 | -0,188 |
| 19 | | | | -0,437 | -0,125 | 1,063 |
| 20 | | | | -0,250 | -0,062 | 1,250 |

| დნობის რეაქციები | | | გადამკრელი ძალები | | | |
|------------------|----------------|----------------|--|--|--|--|
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | მარცხნივ A ₁ საყრდ- ნობიდან | მარჯვნივ A ₁ საყრდ- ნობიდან | მარცხნივ A ₂ საყრდ- ნობიდან | მარჯვნივ A ₂ საყრდ- ნობიდან |
| 1,100 | 1,100 | 0,400 | -0,600 | 0,500 | -0,500 | 0,600 |
| 0,550 | 0,550 | 0,450 | -0,550 | 0,000 | -0,000 | 0,550 |
| 0,550 | 0,550 | -0,050 | -0,050 | 0,500 | -0,500 | 0,050 |
| 1,200 | 0,450 | -0,033 | -0,617 | 0,583 | -0,417 | 0,033 |
| 0,650 | -0,100 | 0,017 | -0,567 | 0,083 | -0,083 | -0,017 |
| 1,150 | 1,150 | 0,350 | -0,650 | 0,500 | -0,500 | 0,650 |
| 0,575 | 0,575 | 0,425 | -0,575 | 0,000 | -0,000 | 0,575 |
| 0,575 | 0,575 | -0,075 | -0,075 | 0,500 | -0,500 | 0,075 |
| 1,300 | 0,425 | -0,050 | -0,675 | 0,625 | -0,375 | 0,050 |
| 0,725 | -0,150 | 0,025 | -0,600 | 0,125 | -0,125 | -0,025 |
| 2,267 | 2,267 | 0,733 | -1,267 | 1,000 | -1,000 | 1,267 |
| 1,133 | 1,133 | 0,600 | -1,133 | 0,000 | -0,000 | 1,133 |
| 1,133 | 1,133 | -0,133 | -0,133 | 1,000 | -1,000 | 0,133 |
| 2,533 | 0,867 | -0,69 | -1,311 | 1,222 | -0,778 | 0,089 |
| 1,400 | -0,266 | 0,044 | -1,178 | 0,222 | -0,222 | -0,044 |
| 3,375 | 3,375 | 1,125 | -1,875 | 1,500 | -1,500 | 1,875 |
| 1,688 | 1,688 | 1,313 | -1,688 | 0,000 | 0,000 | 1,688 |
| 1,688 | 1,688 | -0,188 | -0,188 | 1,500 | -1,500 | 0,188 |
| 3,750 | 1,313 | -0,125 | -1,938 | 1,812 | -1,188 | 0,125 |
| 2,062 | -0,374 | 0,062 | -1,750 | 0,312 | 0,312 | -0,062 |

| სახ. რიცხვი | დატვირთვის ხერხი | მომენტები | | | | საყრდნობის მომენტები | | |
|-------------|------------------------|-----------|---------|---------|---------|----------------------|----------------|----------------|
| | | 1 მალზე | 2 მალზე | 3 მალზე | 4 მალზე | M ₁ | M ₂ | M ₃ |
| 1 | <p>0222, 022, 0222</p> | 0,077 | 0,036 | 0,036 | 0,077 | 0,107 | -0,071 | -0,107 |
| 2 | | 0,100 | -0,045 | 0,081 | -0,023 | -0,054 | -0,086 | -0,054 |
| 3 | | - | - | - | - | -0,121 | -0,018 | -0,059 |
| 4 | | - | - | - | - | -0,036 | -0,107 | -0,036 |
| 5 | | - | - | - | - | -0,067 | 0,018 | -0,004 |
| 6 | | - | - | - | - | -0,049 | -0,054 | 0,013 |
| 7 | | 0,169 | 0,116 | 0,116 | 0,169 | -0,161 | -0,107 | -0,161 |
| 8 | | 0,210 | -0,067 | 0,183 | -0,040 | -0,080 | -0,054 | -0,080 |
| 9 | | - | - | - | - | -0,181 | -0,027 | -0,087 |
| 10 | | - | - | - | - | -0,054 | -0,161 | -0,054 |
| 11 | | - | - | - | - | -0,100 | -0,027 | -0,007 |
| 12 | | - | - | - | - | -0,074 | -0,080 | 0,020 |
| 13 | | 0,238 | 0,111 | 0,111 | 0,238 | -0,266 | -0,191 | -0,266 |
| 14 | | 0,286 | -0,111 | 0,222 | -0,048 | -0,143 | -0,095 | -0,143 |
| 15 | | - | - | - | - | -0,321 | -0,048 | -0,153 |
| 16 | | - | - | - | - | -0,095 | -0,266 | -0,095 |
| 17 | | - | - | - | - | -0,173 | 0,048 | -0,012 |
| 18 | | - | - | - | - | -0,131 | -0,143 | 0,036 |
| 19 | | 0,299 | 0,165 | 0,165 | 0,299 | -0,402 | -0,268 | -0,402 |
| 20 | | 0,400 | -0,167 | 0,333 | -0,101 | -0,201 | -0,134 | -0,201 |
| 21 | | - | - | - | - | -0,452 | -0,067 | -0,218 |
| 22 | | - | - | - | - | -0,134 | -0,402 | -0,134 |
| 23 | | - | - | - | - | -0,251 | 0,067 | -0,017 |
| 24 | | - | - | - | - | -0,184 | -0,201 | 0,050 |

| საყრდნობთა რეაქციები | | | | | ბ ა დ ა მ კ რ ე ლ ი ძ ა ლ ე ბ ი | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | | | | | A ₁ საყრდნობ. | | A ₂ საყრდნობ. | | A ₃ საყრდნობ. | |
| A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | მარცხნივ | მარჯვნივ | მარცხნივ | მარჯვნივ | მარცხნივ | მარჯვნივ |
| 0,393 | 1,143 | 0,929 | 1,143 | 0,393 | -0,607 | 0,536 | -0,461 | 0,464 | -0,536 | 0,607 |
| 0,446 | 0,572 | 0,164 | 0,572 | -0,054 | -0,554 | 0,018 | 0,018 | 0,482 | -0,518 | 0,054 |
| 0,380 | 1,223 | 0,357 | 0,593 | 0,412 | -0,620 | 0,603 | -0,397 | -0,040 | -0,040 | 0,589 |
| -0,036 | 0,465 | 1,143 | 0,465 | -0,036 | -0,036 | 0,429 | -0,571 | 0,571 | -0,429 | 0,036 |
| 0,433 | 0,652 | -0,107 | 0,027 | -0,004 | -0,567 | 0,055 | 0,085 | -0,022 | -0,022 | 0,004 |
| -0,049 | 0,545 | 0,571 | -0,050 | 0,013 | -0,049 | 0,496 | -0,504 | 0,067 | 0,067 | -0,013 |
| 0,339 | 1,24 | 0,592 | 1,214 | 0,339 | -0,661 | 0,553 | -0,446 | 0,446 | -0,553 | 0,661 |
| 0,420 | 0,607 | 0,446 | 0,607 | -0,050 | -0,500 | 0,027 | 0,027 | 0,473 | -0,527 | 0,080 |
| 0,319 | 1,335 | 0,296 | 0,647 | 0,413 | -0,681 | 0,634 | -0,346 | -0,060 | 0,060 | 0,587 |
| -0,051 | 0,446 | 1,214 | 0,446 | -0,051 | -0,051 | 0,403 | 0,407 | 0,607 | -0,393 | 0,054 |
| 0,400 | 0,729 | -0,161 | 0,010 | -0,007 | -0,000 | 0,127 | 0,127 | -0,033 | -0,033 | 0,027 |
| -0,074 | 0,567 | 0,607 | 0,121 | 0,020 | -0,074 | 0,333 | -0,507 | 0,100 | +0,100 | -0,020 |
| 0,714 | 2,381 | 1,810 | 2,381 | 0,714 | -1,286 | 1,095 | -0,905 | 0,905 | -1,095 | 1,286 |
| 0,557 | 1,190 | 0,904 | 1,191 | -0,143 | -1,143 | 0,049 | 0,049 | 0,952 | -1,048 | 0,143 |
| 0,679 | 2,595 | 0,619 | 1,262 | 0,845 | -1,321 | 1,274 | -0,726 | 0,107 | -0,107 | 1,155 |
| -0,095 | 0,905 | 2,381 | 0,905 | -0,095 | -0,095 | 0,810 | -1,190 | -1,190 | -0,810 | 0,095 |
| 0,821 | 1,105 | -0,286 | 0,071 | -0,012 | -1,178 | 0,226 | 0,226 | 0,060 | -0,060 | 0,012 |
| -0,131 | 1,119 | 1,190 | -0,214 | 0,036 | -0,131 | 0,938 | -1,012 | 0,178 | 0,178 | -0,036 |
| 1,093 | 3,536 | 2,732 | 3,536 | 1,093 | -1,902 | 1,694 | -1,366 | 1,366 | -1,694 | 1,902 |
| 1,299 | 1,763 | 1,366 | 1,763 | -0,201 | -1,701 | 0,067 | 0,067 | 1,433 | -1,567 | 0,201 |
| 1,049 | 3,837 | 0,964 | 1,869 | 1,282 | -1,952 | 1,885 | -1,115 | -0,151 | -0,151 | 1,718 |
| -0,134 | 1,366 | 3,536 | 1,366 | -0,134 | -0,134 | 1,232 | -1,763 | 1,763 | -1,232 | 0,134 |
| 1,249 | 20,69 | -0,402 | 0,101 | -0,017 | -1,751 | 0,318 | 0,318 | -0,084 | -0,084 | 0,017 |
| -0,184 | 1,667 | 1,763 | -0,301 | 0,050 | -0,184 | -1,483 | -1,517 | 0,251 | 0,251 | -0,05 |


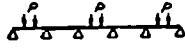
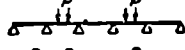
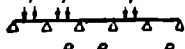
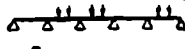
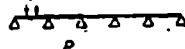
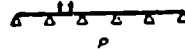
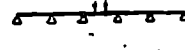
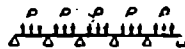
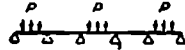
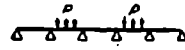
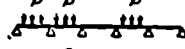
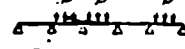
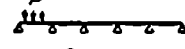
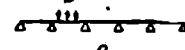
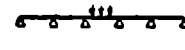
სუთმალნიანი

| პ. ნომერი | დატვირთვის განმარტება | მოქმედება | | | საყრდენობა მოქმედება | | | |
|-----------|-----------------------|----------------|--------------|---------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | პირველი პალატი | მეორე პალატი | მესამე პალატი | M ₁ | M ₂ | M ₃ | M ₄ |
| 1 | | 0,0781 | 0,0331 | 0,0462 | -0,106 | -0,079 | -0,079 | -0,106 |
| 2 | | 0,100 | -0,0461 | 0,0855 | -0,059 | -0,040 | -0,040 | -0,053 |
| 3 | | 0,0263 | 0,0787 | -0,0395 | -0,053 | -0,040 | -0,040 | -0,053 |
| 4 | | - | - | - | -0,119 | -0,022 | -0,044 | -0,051 |
| 5 | | - | - | - | -0,035 | -0,111 | -0,020 | -0,057 |
| 6 | | - | - | - | -0,067 | 0,018 | -0,005 | 0,001 |
| 7 | | - | - | - | -0,049 | -0,054 | 0,014 | -0,004 |
| 8 | | - | - | - | 0,013 | -0,053 | -0,053 | 0,013 |
| 9 | | 0,171 | 0,112 | 0,132 | -0,158 | -0,118 | -0,118 | -0,158 |
| 10 | | 0,211 | -0,069 | 0,191 | -0,079 | -0,059 | -0,059 | -0,079 |
| 11 | | -0,039 | 0,181 | -0,059 | -0,079 | -0,059 | -0,059 | -0,079 |
| 12 | | - | - | - | -0,179 | -0,032 | -0,066 | -0,077 |
| 13 | | - | - | - | -0,052 | -0,167 | -0,031 | -0,050 |
| 14 | | - | - | - | -0,100 | 0,077 | 0,007 | 0,000 |
| 15 | | - | - | - | -0,073 | -0,081 | 0,022 | -0,005 |
| 16 | | - | - | - | 0,020 | -0,079 | -0,079 | 0,020 |

კოჭი

| საყრდენობა რეკონსტრუქცია | | | | | | შედეგების დასჯები | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₁ საყრდ. | | A ₂ საყრდ. | | A ₃ საყრდ. | | A ₄ საყრდ. | |
| | | | | | | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. | დად. / დად. |
| 0,395 | 1,132 | 0,974 | 0,974 | 1,132 | 0,395 | -0,076 | 0,520 | -0,474 | 0,500 | -0,500 | 0,474 | -0,520 | 0,076 |
| 0,417 | 0,566 | 0,487 | 0,487 | 0,566 | 0,447 | -0,553 | 0,013 | 0,013 | 0,500 | -0,500 | -0,013 | -0,013 | 0,533 |
| -0,053 | 0,506 | 0,487 | 0,487 | 0,506 | -0,053 | -0,053 | 0,513 | -0,487 | 0,000 | 0,000 | -0,487 | -0,513 | 0,053 |
| 0,350 | 1,218 | 0,279 | 0,515 | 0,555 | -0,052 | -0,620 | 0,598 | -0,402 | -0,023 | -0,023 | -0,493 | -0,577 | 0,032 |
| -0,035 | 0,456 | 1,167 | 0,372 | 0,594 | 0,443 | -0,033 | 0,424 | -0,576 | -0,591 | -0,409 | -0,037 | -0,137 | 0,557 |
| 0,433 | 0,632 | -0,108 | 0,029 | -0,007 | 0,001 | -0,567 | 0,065 | 0,065 | -0,023 | -0,023 | 0,006 | 0,006 | -0,001 |
| -0,049 | 0,644 | 0,573 | -0,086 | 0,022 | -0,004 | -0,049 | 0,495 | -0,505 | 0,068 | 0,068 | -0,018 | -0,018 | 0,004 |
| 0,013 | -0,079 | 0,566 | 0,566 | -0,079 | 0,013 | 0,013 | -0,066 | -0,066 | 0,500 | -0,500 | 0,066 | 0,066 | -0,013 |
| 0,342 | 1,198 | 0,960 | 0,960 | 1,198 | 0,342 | -0,653 | 0,540 | -0,460 | 0,500 | -0,600 | 0,460 | -0,510 | 0,653 |
| 0,421 | 0,599 | 0,480 | 0,480 | 0,598 | 0,421 | -0,579 | 0,020 | 0,020 | 0,500 | -0,500 | -0,020 | -0,020 | 0,579 |
| -0,079 | 0,599 | 0,480 | 0,480 | 0,598 | -0,079 | -0,079 | 0,520 | -0,490 | 0,000 | 0,000 | 0,490 | -0,520 | 0,079 |
| 0,371 | 1,328 | 0,319 | 0,523 | 0,588 | -0,077 | -0,679 | 0,647 | -0,353 | -0,034 | -0,034 | 0,499 | -0,511 | 0,077 |
| -0,052 | 0,437 | 1,251 | 0,307 | 0,642 | 0,414 | -0,052 | 0,385 | -0,615 | 0,637 | -0,363 | -0,059 | -0,059 | 0,553 |
| 0,400 | 0,721 | -0,161 | 0,043 | -0,011 | 0,002 | -0,600 | 0,127 | 0,127 | -0,034 | -0,034 | 0,009 | 0,009 | -0,002 |
| -0,073 | 0,566 | 0,600 | -0,129 | 0,032 | -0,005 | -0,073 | 0,493 | -0,507 | 0,102 | 0,102 | -0,027 | -0,027 | 0,005 |
| 0,020 | -0,118 | 0,599 | 0,599 | -0,118 | 0,020 | 0,020 | -0,030 | -0,030 | 0,500 | -0,500 | 0,030 | 0,030 | -0,020 |



სუბმასლინანი

| № | დატვირთვის გეგმობა | ქოორდინატები | | | საყრდენობის მომენტები | | | |
|----|---|---------------|-------------|--------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | პირველი პალეა | მეორე პალეა | მესამე პალეა | M ₁ | M ₂ | M ₃ | M ₄ |
| 17 |  | 0,240 | 0,100 | 0,122 | -0,281 | -0,211 | -0,211 | -0,731 |
| 18 |  | 0,287 | -0,117 | 0,228 | -0,140 | -0,105 | -0,105 | -0,140 |
| 19 |  | -0,047 | 0,218 | -0,105 | -0,140 | -0,165 | -0,105 | -0,140 |
| 20 |  | - | - | - | -0,319 | -0,057 | -0,118 | -0,117 |
| 21 |  | - | - | - | -0,093 | -0,287 | -0,051 | -0,153 |
| 22 |  | - | - | - | -0,179 | 0,048 | -0,013 | 0,013 |
| 23 |  | - | - | - | -0,131 | -0,144 | 0,035 | -0,010 |
| 24 |  | - | - | - | 0,035 | -0,140 | -0,140 | 0,035 |
| 25 |  | 0,302 | 0,155 | 0,204 | -0,395 | -0,296 | -0,296 | -0,395 |
| 26 |  | 0,401 | -0,173 | 0,352 | -0,198 | -0,158 | -0,148 | -0,198 |
| 27 |  | -0,099 | 0,327 | -0,148 | -0,198 | -0,148 | -0,148 | -0,198 |
| 28 |  | - | - | - | -0,415 | -0,051 | -0,166 | -0,193 |
| 29 |  | - | - | - | -0,130 | -0,417 | -0,076 | -0,215 |
| 30 |  | - | - | - | -0,251 | 0,067 | -0,015 | 0,004 |
| 31 |  | - | - | - | -0,184 | -0,202 | 0,054 | -0,013 |
| 32 |  | - | - | - | 0,019 | -0,197 | -0,197 | 0,049 |

| სამედიცინო მკვლევარების | | | | | | სადავო-სამართლო კვლევები. | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₁ სპარე. | | A ₂ სპარე. | | A ₃ სპარე. | | A ₄ სპარე. | |
| | | | | | | მართლ. | მართლ. | მართლ. | მართლ. | მართლ. | მართლ. | მართლ. | მართლ. |
| 0,719 | 2,351 | 1,930 | 1,930 | 2,351 | 0,719 | -1,281 | 1,070 | -0,930 | 1,000 | -1,000 | 0,930 | -1,070 | 1,281 |
| 0,860 | 1,175 | 0,965 | 0,965 | 1,175 | 0,860 | -1,140 | 0,035 | 0,035 | 1,000 | -1,000 | -0,035 | -0,035 | 1,140 |
| -0,140 | 1,175 | 0,965 | 0,965 | 1,175 | -0,140 | -0,140 | 1,035 | -0,965 | 0,000 | 0,000 | 0,965 | -1,035 | 0,140 |
| 0,681 | 2,581 | 0,677 | 1,042 | 1,156 | -0,137 | -1,317 | 1,262 | -0,738 | -0,061 | -0,061 | 0,981 | -1,019 | 0,137 |
| -0,093 | 0,889 | 2,447 | 0,658 | 1,252 | 0,817 | -0,093 | 0,795 | -1,204 | 1,243 | -0,757 | -0,099 | -0,099 | 1,154 |
| 0,821 | 1,405 | -0,287 | 0,077 | -0,019 | 0,003 | -1,179 | 0,227 | 0,227 | -0,061 | -0,061 | 0,016 | 0,016 | -0,003 |
| -0,131 | 1,118 | 1,195 | -0,230 | 0,058 | -0,010 | -0,131 | 0,987 | -1,013 | 0,182 | 0,182 | -0,019 | -0,019 | 0,010 |
| -0,035 | -0,210 | 1,175 | 1,175 | -0,210 | 0,035 | 0,035 | -0,175 | -0,175 | 1,000 | -1,000 | 0,175 | 0,175 | -0,035 |
| 1,105 | 3,494 | 2,901 | 2,901 | 3,494 | 1,105 | -1,895 | 1,599 | -1,401 | 1,500 | -1,500 | 1,401 | -1,599 | 1,895 |
| 1,302 | 1,747 | 1,450 | 1,450 | 1,747 | 1,302 | -1,697 | 0,050 | 0,050 | 1,500 | -1,500 | -0,050 | -0,050 | 1,697 |
| -0,197 | 1,747 | 1,450 | 1,450 | 1,747 | -0,197 | -0,197 | 1,539 | -1,450 | 0,000 | 0,000 | 1,450 | -1,539 | 0,197 |
| 1,051 | 3,816 | 1,043 | 1,558 | 1,720 | -0,190 | -1,949 | 1,367 | -1,131 | -0,085 | -0,085 | 1,473 | -1,527 | 0,173 |
| -0,130 | 1,343 | 3,628 | 1,020 | 1,851 | 1,285 | -0,130 | 1,213 | -1,767 | 1,841 | -1,159 | -0,130 | -0,130 | 1,715 |
| 1,245 | 2,069 | -0,400 | 0,107 | -0,027 | 0,004 | -1,761 | 0,319 | 0,319 | -0,085 | -0,085 | 0,022 | 0,022 | -0,004 |
| -0,184 | 1,666 | 1,774 | -0,323 | 0,091 | -0,013 | -0,184 | 1,482 | -1,518 | 0,258 | 0,258 | -0,067 | -0,067 | 0,013 |
| 0,049 | -0,296 | 1,777 | 1,747 | -0,296 | 0,049 | 0,049 | -0,247 | -0,247 | 1,500 | -1,500 | 0,247 | 0,247 | -0,049 |

როგორც მოვანილია $\delta_1 = 0$ ხახუნის კოეფ. შემთხვევაში ნაჯარის ბანფლავრელი და კედლის მდებარეობის კოორდინატები შემთხვევებისათვის მიწის წნევის ანალიზურად ბანფლავრელი ფორმულებს

ტ ა ბ უ ლ ა

| მისი რიგში | კედლის და ნაჯარის მდებარეობა | წნევის ფორმულა | ფორმულა კინემატურის სიღრმეზე „x“: $\frac{dE}{dx}$ |
|------------|--|---|---|
| 1 |  | $E = \frac{\gamma \cdot H^3}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ | $e = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ |
| 2 |  | $E = \frac{\gamma H^3}{2} \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi + \alpha}{2} \right) + \operatorname{tg} \alpha \right] \cos \alpha$ | $e = \gamma \cdot H \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi + \alpha}{2} \right) + \operatorname{tg} \alpha \right] \cos \alpha$ |

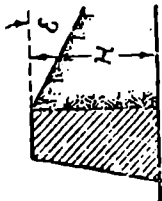
3



$$E = \frac{\gamma H^3}{2} \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi + \tau}{2} \right) + \operatorname{tg} \tau \right] \cos \tau$$

$$e = \gamma \cdot H \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi + \tau}{2} \right) - \operatorname{tg} \tau \right] \cos \tau$$

4

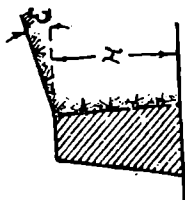


$$E = \frac{\gamma H^3}{2} \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} (\alpha + \tau)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \tau},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-\operatorname{tg}^2 \varphi + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \tau) \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \tau (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}$$

$$e = \gamma \cdot H \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} (\alpha + \tau)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \tau}$$

5



$$E = \frac{\gamma H^3}{2} \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} (\alpha + \tau)}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \tau},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-\operatorname{tg}^2 \varphi + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \tau) (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi)}}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \tau (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}$$

$$e = \gamma \cdot H \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} (\alpha + \tau)}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \tau}$$

შ ი ნ ა ა რ ს ი

თავი პირველი

გრაფიკული სტატიკის საფუძვლები

| | | |
|-------|--|----------|
| § 1. | სტატიკის ძირითადი დებულებანი . | გვ. 3 |
| § 2. | ძალთა შეკრება და დაშლა | 4 |
| § 3. | სამი ძალის წონასწორობა სიბრტყეზე | 6 |
| § 4. | თოკის მრავალკუთხედი | 8 |
| § 5. | თოკის მრავალკუთხედის საშუალებით პარალელურ ძალთა შეკრება. | 9 |
| § 6. | ძალთა თანწყობის წონასწორობის პირობები | 11 |
| § 7. | ორ საყრდნობზე თავისუფლად მდებარე და შთაწერტული ტვირთების ზეგავლენაში მყოფი კოქის მლუნავი მომენტის განსაზღვრა . კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის . | 14 17 |
| § 8. | სიმძიმის ცენტრის განსაზღვრა გრაფიკული წესით | 18 |
| § 9. | მოცემული ღერძის მიმართ ფართობის სტატიური მომენტის განსაზღვრა გრაფიკულად | 19 |
| § 10. | ბრტყელი ნაკეთის ინერციის მომენტის გრაფიკული განსაზღვრა ღერძის მიმართ | 21 |
| § 11. | SS ღერძის მიმართ კვეთის სტატიური და ინერციის მომენტების განსაზღვრის რიცხვითი მაგალითი კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის | 22 25 |
| § 12. | კოქის გალუნული ღერძი | 25 |
| § 13. | მაგალითები ნალუნების გამოანგარიშებაზე | 30 |

თავი მეორე

ცხრილოვანი წამწეები

| | | |
|-------|--|----------|
| § 14. | განრაპირა წამწეების თვისებებზე . | 35 |
| § 15. | წამწეების ანგარიში კულონის წესით . | 39 |
| § 16. | წამწეს ანგარიში რიტერის წესით . | 41 |
| § 17. | ჩაკტილ კვეთთა წესით ანგარიში კითხვები და ამოცანა განმეორებისათვის. | 43 44 |
| § 18. | გამტანის წამწეების ანგარიში კრემონის დიაგრამის საშუალებით . | 45 |
| § 19. | კრემონას დიაგრამით წამწეთა ანგარიშის მაგალითები | 46 |
| § 20. | რთულ ელემენტებიანი წამწეები | 51 |
| § 21. | მოკლე ცნობები რკინის გამტან წამწეთა ღეროებისათვის კვეთების შერჩევაზე კითხვები და ამოცანები თვით შემოწმებისათვის . | 53 58 |

თავი მესამე

გავლენის ხაზები

| | | |
|-----|--|----------|
| 22. | ცნება გავლენის ხაზზე | 62 |
| 23. | საყრდნობთა რეაქციების გავლენის ხაზი | 62 |
| 24. | გავლენის ხაზი გადაშვრელ ძალებისათვის . | 65 |
| 25. | მოდრავი დატვირთვის კენძზე გადაცემა . | 67 |
| 26. | გავლენის ხაზები მლუნავ მომენტებისათვის | 69 |
| 27. | უდიდესი მლუნავი მომენტი მოძრავი დატვირთვის ქვეშ . . კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის | 71 76 |
| 28. | გავლენის ხაზები ისეთ ლეროვან გამტანისი წამწეთათვის, რომელ- თაც სარტყლები მრულ ხაზოვან მოხაზულობისა აქვთ | 77 |
| 29. | პარალელურ სარტყლიანი წამწებები | 82 |
| 30. | გავლენის ხაზები სამსახსრიანი თალის განაზღვრისა, მლუნავ მომენ- ტებისა და გადაშვრელი ძალებისათვის | 83 |
| 31. | გავლენის ხაზი ლეროვანი სამსახსრიანი გამტანის წამწესათვის . კითხვები და ამოცანები განმეორებისათვის . | 87 90 |

თავი მეოთხე

უჭრი კოქები

| | | |
|-----|--|-----------|
| 32. | საერთო ცნებანი | 91 |
| 33. | საყრდნობთა მომენტები | 93 |
| 34. | სამ მომენტთა თეორემა | 94 |
| 35. | კლაპეირონის განტოლების გამოყენების მაგალითები . კითხვები და ამოცანები თვით შემოწმებისათვის . | 97 105 |
| 36. | მლუნავი მომენტის ეპიურუს აგება უჭრი კოქის ნების მიერ მილი- სათვის | 105 |
| 37. | მომენტის ანალიზური გამოსახულება ნების მიერ კვეთში | 107 |
| 38. | ნების მიერ კვეთის მიმართ აღებული განივი ძალის საანგარიშო ფორმულა საყრდნობთა რეაქციების განსაზღვრა . | 108 |
| 39. | მაგალითები უჭრი კოქის ეპიურების აგებაზე | 110 |
| 40. | ერთის მალის დატვირთვის გავლენა სხვა მალების ძალოვნებზე | 113 |
| 41. | ხუთმალისანი კოქის ანგარიშის მაგალითი | 116 |
| 42. | საყრდნობების დადაბლების გავლენა საყრდნობთა მომენტის სიდი- ლეზე | 119 |
| 43. | ზოგიერთ კერძო შემთხვევისათვის სამი მომენტის განტოლების სახე | 122 |
| 44. | სამი მომენტის განტოლების გამოყენება ბოლოებით დამაგრებელი კოქებისათვის | 124 |
| 45. | უჭრი კოქის სანიმუშო მაგალითის ანგარიში უთანაბროდ განრიგე- ბულ ტვირთის შემთხვევაში | 128 |

თავი მესამე

საყრდენი კედლები

| | | |
|-------|---|-----|
| § 46. | საერთო მოსაზრებანი | 131 |
| § 47. | ცნება მიწის მასის წნევაზე. მიწის დაწნევა და განწნევა | 132 |
| § 48. | ჩამონგრევის სიბრტყეზე წოლისა და მიწის დაწნევის მიმართულება | 133 |
| § 49. | ჩამონგრევის სიბრტყის განსაზღვრა (თანამიმდევარი ცდის წესით) . | 134 |
| § 50. | ჩამონგრევის სიბრტყის ანალიზური განსაზღვრა . | 137 |
| § 51. | მიწის დაწნევის სიდიდის განსაზღვრა | 141 |
| § 52. | შემთხვევა, როცა დედამიწის ზედაპირი სიბრტყეს წარმოადგენს . | 142 |
| § 53. | ჩამონგრევის ფართობის გრაფიკული წესით განსაზღვრა. რებჰანის წესი | 142 |
| § 54. | რებჰანის სამკუთხედის აგების სხვადასხვა შემთხვევები | 145 |
| § 55. | მიწის წნევის განრიგება საყრდენობი კედლის უკანა სიბრტყეზე . | 147 |
| § 56. | მიწის წნევის ანალიზური გამოსახულება | 150 |
| § 57. | საყრდენობი კედლების ანგარიში | 153 |
| § 58. | მიწის გამოწევა საძირკვლის ქუსლიდან | 163 |
| § 59. | მოთხოვნილებანი საძირკვლის მოწყობისადმი . | 164 |
| § 60. | საძირკვლის ჩადგმის სიღრმის განსაზღვრა . | 164 |
| § 61. | ბელზეცკის ფორმულა | 167 |
| § 62. | საძირკვლის მოხაზულობის შერჩევა | 168 |
| § 63. | მაგალითი საძირკვლის ამოყვანის სიღრმის განსაზღვრაზე . | 169 |

თავი მეოთხე

სტატიური ურკვევადი ლეროვანი სისტემები

| | | |
|-------|--|-----|
| § 64. | ზოგიერთი ცნობა თეორიული მექანიკის კურსიდან . | 171 |
| § 65. | შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპი | 173 |
| § 66. | ლეროვან სისტემებისათვის შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის გამოყენება | 174 |
| § 67. | ძალღონეების განსაზღვრა წამწეს ლეროვებში და წამწეს დეფორმაციის განსაზღვრა შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპით . | 176 |
| § 68. | შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის მიხედვით „ზედმეტ“ ლეროში ძალღონეების განსაზღვრა | 178 |
| § 69. | უმართივესი სტატიურად ურკვევადი გამტანისი წამწეს ანგარიშისა და კვეთთა შერჩევის სანიშნუშო მაგალითი | 182 |
| § 70. | ორსახსრიანი გამტანისი თალის საყრდენობთა რეაქტივების განსაზღვრა | 187 |
| § 71. | ტემპერატურის ცვალებადობის გავლენა სტატიურად ურკვევადი სისტემის ლეროთა ძალღონეებზე | 189 |
| § 72. | მაგალითი ორჯერ სტატიურად ურკვევად სისტემაში ძალღონეს გან- საზღვრაზე | 190 |
| § 73. | თეორემა ურთიერთ გადაადგილებაზე | 191 |
| | დასაბამანი: საალმშენებლო გეგმარების ერთიანი ნორმები და სხვ. . | 193 |