

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
პროფესორ ალექსი გორგძის სახელობის მექანიკის
სამეცნიერო-სასწავლო ლაბორატორია



ლაბორატორიული სამუშაო №2

ჯგუფი №

სტუდენტი:

ხელმძღვანელი:

თარიღი:

თბილისი – 2018

სხეულის მოძრაობა ხახუნის გათვალისწინებით

1. სტატიკური და კინემატიკური ხახუნი
2. ხახუნის მნიშვნელობა ბუნებაში და ტექნიკაში

ძირითადი ცნებები

ყველა რეალურ მექანიკურ სისტემაშია პროცესში ადგილი აქვს ხახუნს და ხახუნის ძალას. უმეტეს შემთხვევაში მათი მოქმედება დაკავშირებულია მექანიკური ენერჯის სითბოში გარდაქმნასთან. ერთმანეთისაგან განასხვავებენ გარე ხახუნის ძალებს და შიგა ხახუნის ძალებს.

შიგა ხახუნის ძალა – წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც წარმოიშვება გარემოს ფენების ურთიერთმიმართ გადაადგილებისას.

გარე ხახუნის ძალაში იგულისხმება წინააღმდეგობის ძალა წარმოშობილი ორი მყარი სხეულის ურთიერთ შეხების დროს, მათი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებისას. თავის მხრივ, გარე ხახუნიც იყოფა სტატიკურ და კინემატიკურ ხახუნად. *სტატიკური ხახუნის ძალა* (უძრაობის ხახუნი) ძალაა, რომელიც ვლინდება ერთმანეთის მიმართ უძრავ სხეულების შემხებ ზედაპირებს შორის. *კინემატიკური ხახუნი* – ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულების შემხებ ზედაპირებს შორის წარმოიშვება. მოძრაობის რაობიდან გამომდინარე მიღებულია კინემატიკური ხახუნის ასეთი დაყოფა: სრიალის ხახუნად და გორვის ხახუნად.

სრიალის ხახუნისათვის სრულდება კულონ-ამონტონის კანონი: $F_{\text{ხახ.}}$ სრიალის ხახუნის ძალა პროპორციულია ნორმალური N წნევის ძლის

$$F_{\text{ხახ.}} = \mu N, \quad (1)$$

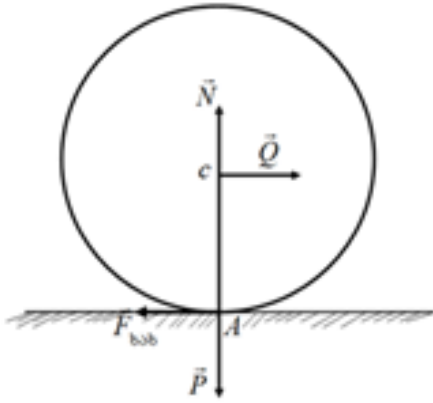
სადაც μ პროპორციულობის კოეფიციენტია. ამ სიდიდეს ფიზიკური მნიშვნელობაც აქვს. მას ხახუნის კოეფიციენტს უწოდებენ. ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია სხეულის ზედაპირის მდგომარეობაზე, ტემპერატურაზე და სხვ. ფაქტორებზე.

ვთქვათ, სხეული მდებარეობს ჰორიზონტულ ზედაპირზე. დავხაროთ ზედაპირი, მაშინ ჰორიზონტთან გარკვეული β კუთხით დახრისას სხეული დაიწყებს სრიალსე.ი. უძრაობის ხახუნი შეიცვალა სრიალის ხახუნით. β კუთხეს ხახუნის კუთხეს უწოდებენ და ხახუნის კოეფიციენტთან აკავშირებენ შემდეგი ტოლობის საშუალებით

$$\mu = \operatorname{tg} \beta. \quad (2)$$

აღწერილი სიტუაცია შეიძლება გამოვიყენოთ სტატიკური ხახუნის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული გზით განსაზღვრავად.

გამოვიკვლიოთ გორვის ხახუნის წარმოშობის მიზეზები.

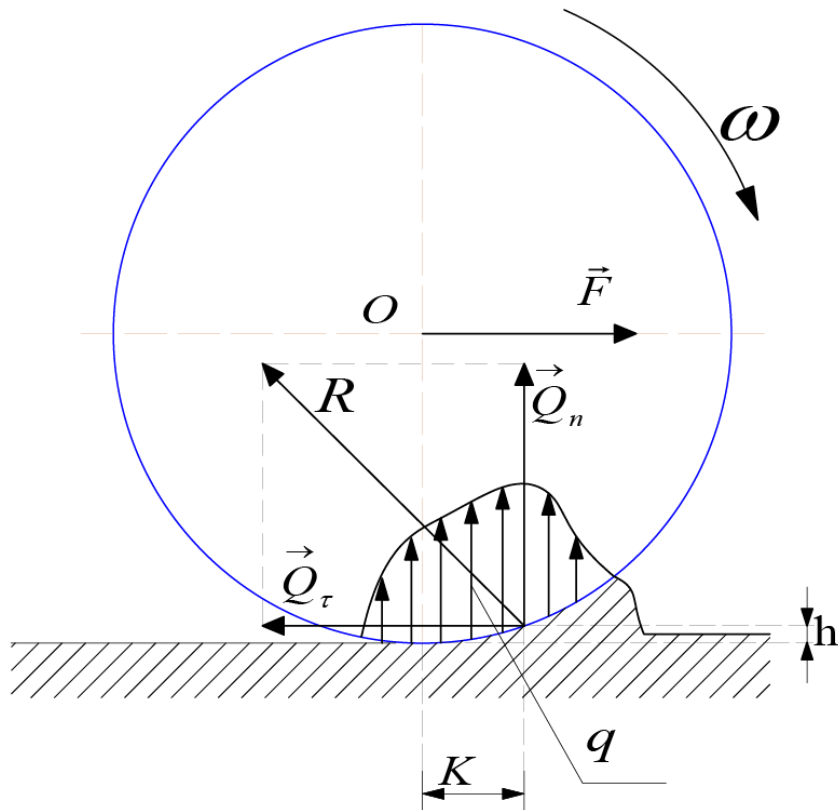


ნახ.1

განვიხილოთ P წონისა და R რადიუსის წრიულიცილინდრული სატკეპნი, რომელიც ძევს ხორკლიან ჰორიზონტულ ზედაპირზე. ამ ცილინდრის C ცენტრზე მოვდოთ სიბრტყის პარალელური \vec{Q} ძალა. როგორც ცდები გვიჩვენებს, თუ \vec{Q} ძალის სიდიდე საკმარისად მცირეა, მაშინ ცილინდრი დარჩება წონასწორობაში. \vec{Q} ძალის მოქმედების შედეგად სიბრტყის A წერტილში (ნახ.1) აღიმკრება \vec{Q} ძალის სიდიდის ტოლი ხახუნის ძალა \vec{F}_{bab} , რომელიც ხელს უშლის ცილინდრის სიბრტყის გასწვრივ გასრიალებას. თუ ჩავთვლით, რომ ნორმალური რეაქციის \vec{N} ძალაც

მოდებულია A წერტილში, მაშინ იგი გააწონასწორებს \vec{P} ძალას, ხოლო \vec{Q} და \vec{F}_{bab} ძალები შექმნიან წყვილძალას, რომელიც გამოიწვევს ცილინდრის გორვას ჰორიზონტულ ზედაპირზე. ასეთი სქემისას, როგორც ვხედავთ, ცილინდრის გორვა უნდა დაიწყოს \vec{Q} ძალის რაგინდ მცირე მნიშვნელობისათვის.

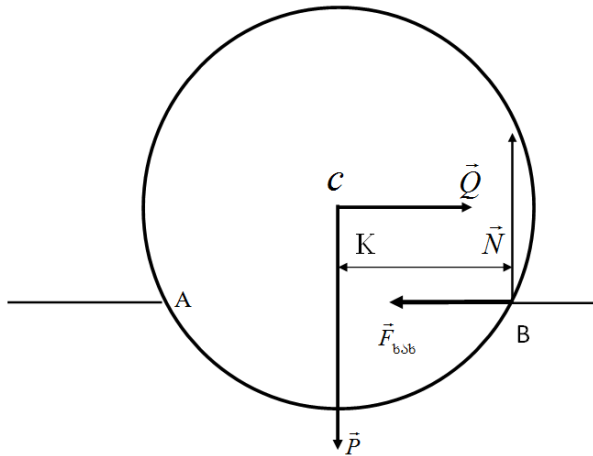
როგორც ცდები გვიჩვენებს, ნამდვილი სურათი გამოიყურება სულ სხვაგვარად. განვიხილოთ ცილინდრი, რომელიც მუდმივი \vec{v}_0 სიჩქარით მიგორავს



ნახ.2 – ჰორიზონტულ სიბრტყეზე მგორავი ცილინდრი

ჰორიზონტულ ზედაპირზე (ნახ.2). ზედაპირის დეფორმაციის გამო მგორავი ცილინდრის წინ წარმოიქმნება თავისებური „საფეხური“. გასათვალისწინებელია, რომ „საფეხური“-ს h სიმაღლე გაცილებით ნაკლებია ცილინდრის R რადიუსზე ($h \ll R$).

თუ \vec{Q} არის „საფეხური“ - ს რეაქციის ძალა, მაშინ \vec{Q} რეაქციის ძალის \vec{Q}_n ნორმალური მდგენელი ტოლია ცილინდრის ზედაპირზე წნევის \vec{N} ძალისა: $Q_n = N$, ხოლო \vec{Q}_τ მხები მდგენელი წარმოადგენს ხახუნის ძალას, რომელიც ეწინააღმდეგება ცილინდრის გორვას.



ნახ. 3

ამგვარად, ფაქტობრივად სხეულების დეფორმაციის გამო მათი შეხება ხდება რაიმე AB ფართეულის გასწვრივ (ნახ. 3). \vec{Q} ძალის მოქმედებით დაწნევის ინტენსივობა A კიდეში მცირდება, ხოლო კიდეში B იზრდება. ამის შედეგად,

ნორმალური რეაქციის ძალა - \vec{N} აღმოჩნდება წანაცვლებული \vec{Q} ძალის მოქმედების მხარეს. ამ ძალის სიდიდის ზრდასთან ერთად ეს წანაცვლებაც იზრდება გარკვეულ ზღვრულ მნიშვნელობამდე - K .

თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ დეფორმაცია AB უბანზე ძალიან მცირეა და შევადგენთ წონასწორობის განტოლებას C წერტილის მიმართ, მივიღებთ:

$$N \cdot K = F_{bab} \cdot R \quad (3)$$

საიდანაც

$$F_{bab} = K \frac{N}{R}. \quad (4)$$

ამ ფორმულაში შემავალ - K სიდიდეს გორვის ხახუნის კოეფიციენტი ჰქვია და მას გააჩნია სიგრძის განზომილება. K - კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ცდებით და დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მასალისაგან არის დამზადებული სხეულები.

სტატიკური ხახუნის μ კოეფიციენტისაგან განსხვავებით K კოეფიციენტი წარმოადგენს სიმძიმის ძალის მხარს და აქვს სიგრძის განზომილება.

იმისთვის რომ ცილინდრი სიბრტყეზე თანაბრად მიგორავდეს, აუცილებელია: ა) ხახუნის ძალის მოქმედების მაკონპენსირებელი გარე \vec{F} ძალა; ბ) ცილინდრზე მოქმედი ძალების ჯამური მომენტი იყოს ნულის ტოლი.

მაგალითად, გორვის ხახუნი წარმოიშვება, როცა ცილინდრს ან ბირთვს გადავაგორებთ მყარი სხეულის ზედაპირზე.

საკონტროლო კითხვები

1. ხახუნის ძალები. მათი თავისებურებები.
2. ხახუნის ძალის დამოკიდებულება მოძრაობის სიჩქარეზე.
3. უძრაობის ხახუნის ძალის და სრიალის ხახუნის ძალის დამოკიდებულება სიბრტყის დახრის კუთხეზე.

4. გამოიყვანეთ (2) და (4) ფორმულა.

დახრილი ქანქარის მეთოდით გარე ხახუნის ძალის შესწავლა

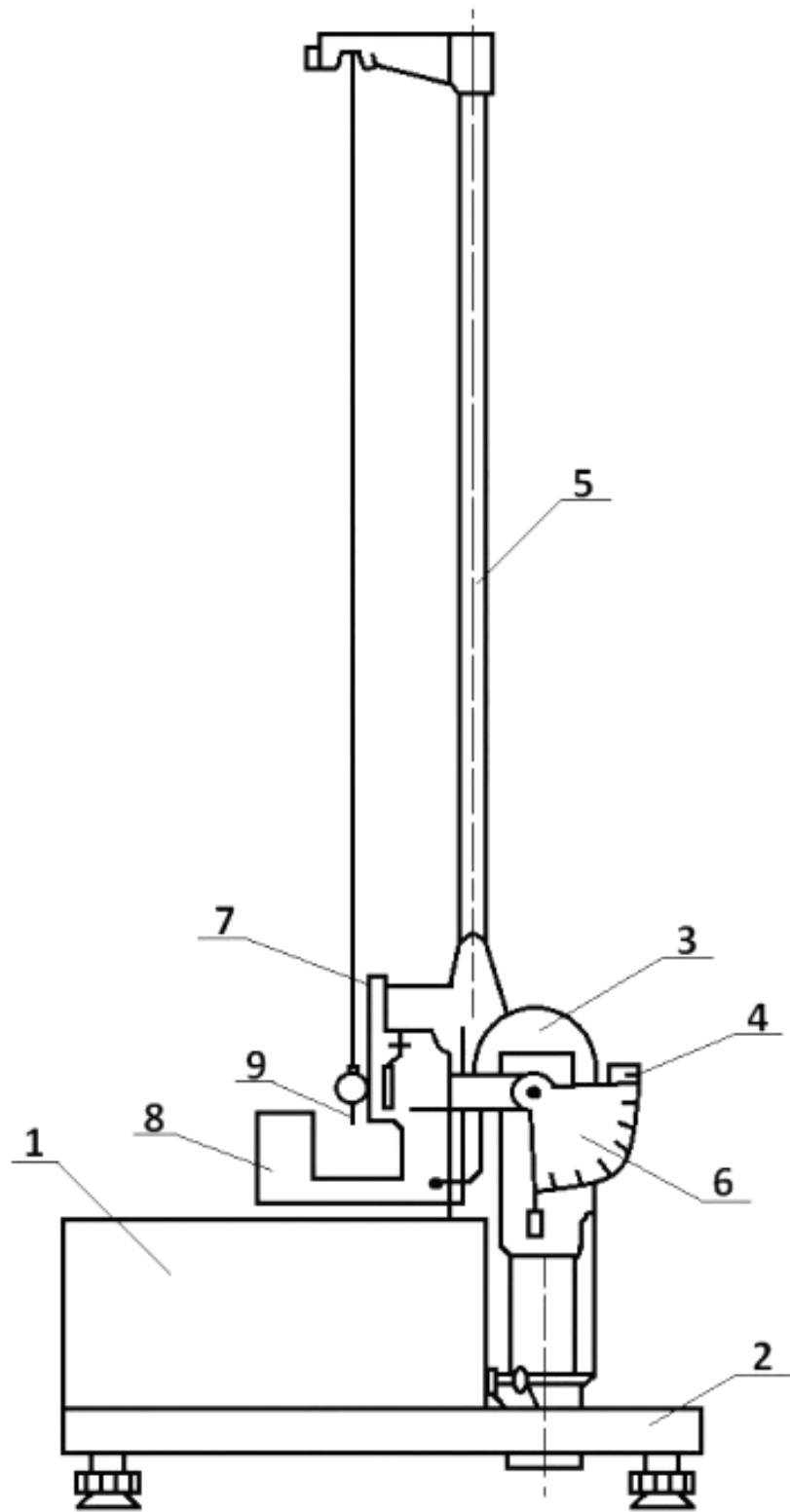
სამუშაოს მიზანი: დახრილი ქანქარის დახმარებით გარე ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ხელსაწყოები და საკუთრობები: დახრილი ქანქარა, დანადგარი FPM-07, ტვირთების ნაკრები

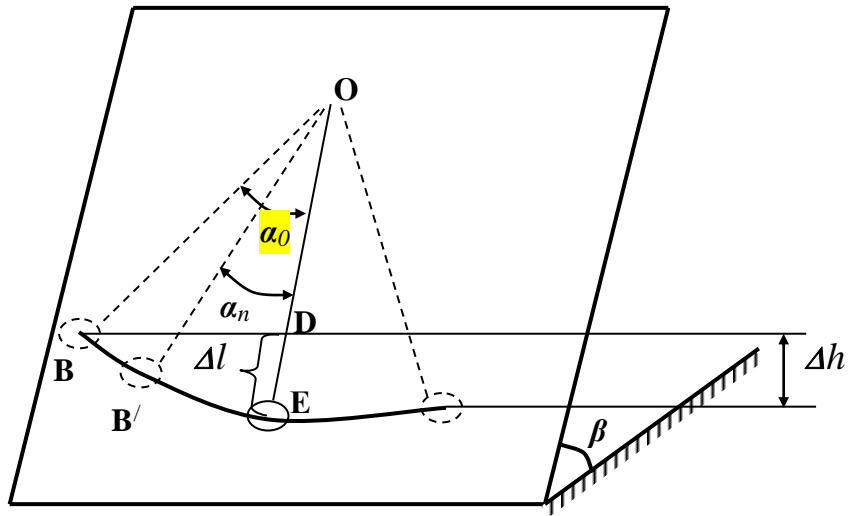
დანადგარის აღწერა

FPM-07 (დახრილი ქანქარა) დანადგარის საერთო ხედიწარმოდგენილია ნახ.4 ფუძეზე მიმაგრებულია 1 წამზომი და სვეტი 3 დახრის მექანიზმით. დახრის მექანიზმის 4 სახელების ბრუნვით შესაძლებელია 5 საყრდენის დახრის კუთხის ცვლილება. დახრის კუთხის ასათვლელად გამოიყენება 6 სკალა. მზიდ 5 საყრდენზე მიმაგრებულია ქანქარა (მაფზე დაკიდული ბირთვი). საყრდენის ფუძეზე დამაგრებულია: ქანქარის გადახრის კუთხის ასათვლელად 7 სკალა და 8 ფოტოგადამწოდი, რომელიც ქანქარის რხევის რიცხვს და დროს აფიქსირებს. 7 სკალას აქვს მოწყობილობა ნიმუშების შესაცვლელად. ქანქარას ბირთვების შეცვლა ხდება 9 მაჩვენებელი ღეროდან ამოხრახვნის გზით.

ამ სამუშაოში გორვის ხახუნის K კოეფიციენტი განისაზღვრება დახრილი ქანქარის მეთოდით, რომელიც წარმოადგენს დახრილ სიბრტყეზე მგორავ, მაფზე დაკიდებულ ბირთვს (ნახ.4). ასეთი ქანქარის რხევის მიღება განპირობებულია გორვის ხახუნით. K განსაზღვრავი ფორმულა შეგვიძლია მივიღოთ, თუ n სრული რხევების შესაბამის გაფანტულ ენერგიას და ხახუნის ძალას გავუტოლებთ ერთმანეთს



ნახ.4 - დანადგარი FPM-07



ნახ.5- დახრილი ქანქარა

ისრული რხევების შემდეგ B მდგომარეობიდან B' მდგომარეობაში გადასვლისას ქანქარა კარგავს $\Delta E = mg\Delta h$ ენერგიას, რომელიც ტოლია S გადაადგილებაზე წინააღმდეგობის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობისა (ნახ.5):

$$\Delta E = \Delta A + \Delta A_1, \quad (5)$$

სადაც $\Delta A = F_{\text{ხახ}} S$ - ხახუნის ძალის მუშაობაა,

ΔA_1 - ქანქარას საკიდში ხახუნის და გარემოს წინააღმდეგობის დასძლევად შესრულებული მუშაობა,

Δh - ბირთვის სიმძიმის ცენტრის მიერ დაკარგული სიმაღლე.

თუ ΔA_1 -ს მის სიმცირის გამო უგულვებელყოფთ, მაშინ

$$mg\Delta h = F_{\text{ხახ}} S. \quad (6)$$

(4)-ის გათვალისწინებით გეომეტრიული გარდაქმნების შემდეგ (იხ. ნახ. 3), მივიღებთ

$$mg\Delta l \sin \beta = Kmg \cos \beta \frac{S}{R}, \quad (7)$$

საიდანაც K -თვის მივიღებთ

$$K = \frac{\Delta l R}{S} \operatorname{tg} \beta, \quad (8)$$

სადაც R - ბირთვის რადიუსია,

β - სიბრტყის დახრის კუთხეა.

$$\Delta l = OE - OD.$$

თუ α_0 – ქანქარის გადახრის კუთხეა საწყის მომენტში, α_n – გადახრის კუთხეა n სრული რხევების შემდეგ, L – ქანქარის სიგრძეა, მაშინ მანძილს რომელსაც გაივლის ქანქარის სიმძიმის ცენტრი n რხევის შემდეგ ტოლია

$$S = 4Ln\alpha_{\text{საშ}},$$

სადაც

$$\alpha_{\text{საშ}} = \frac{(\alpha_0 + \alpha_n)}{2}.$$

მივიღოთ რომ α_0 ი α_n კუთხეები მცირეა $\left(\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}\right)$, მაშინ გორვის ხახუნის K კოეფიციენტისათვის მივიღებთ

$$K = \frac{Rtg\beta(\cos \alpha_n - \cos \alpha_0)}{2n(\alpha_0 + \alpha_n)} \approx Rtg\beta\left(\frac{\alpha_0 - \alpha_n}{4n}\right). \quad (9)$$

აქ α_0 და α_n – კუთხის მნიშვნელობებია რადიანებში.

სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

სავარჯიშო გორვის ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრა

1. დაამაგრეთ საცდელი ბრტყელი ნიმუში მოწყობილობის 7 სკალაზე (დანადგარი FPM-07).
2. მარეგულირებელი ფეხების დახმარებით ქანქარა დააყენეთ ვერტიკალურ მდგომარეობაში. ამასთან 9 მაჩვენებელი ღერო უნდა იყოს 7 სკალის ნულოვანი ნიშნულის პირდაპირ.
3. ხელსაწყო ჩართეთ ქსელში.
4. სვეტის დახრის მოცემული კუთხისათვის (25–60) ბირთვი წონასწორობის მდებარეობიდან გადახარეთ α_0 კუთხით, და კლავიშზე ჩამოყრა დაჭერის შემდეგ ბიძგის გარეშე გაუშვით ქანქარა. 7–10 სრული რხევის შემდეგ დააჭირეთ კლავიშა სდექს და ვიზუალურად დააფიქსირეთ ქანქარას გადახრის α_n კუთხე. n , α_0 , α_n მნიშვნელობები შეიტანეთ ცხრილში.
5. β , n , α_0 იმავე მნიშვნელობებისათვის გაიმეორეთ გაზომვები α_n – თვის არანაკლებ 10–15 ჯერ. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.
6. შტანგენფარგლით გაზომეთ ბირთვის რადიუსი R .
7. (9) ფორმულით გამოთვალეთ გორვის ხახუნის კოეფიციენტი.
8. გაიმეორეთ ცდა, შეცვალეთ ხახუნის წყვილი. ამისათვის საჭიროა ან შეცვალოთ 7 სკალაზე ბრტყელი ნიმუში, ან ქანქარას ბირთვი, ან ორივე ერთად.
9. გამოიტანეთ დასკვნა.

გრაფიკი	გრაფიკი	რაფიკი	გრაფიკი	რაფიკი	გრაფიკი	რაფიკი	გრაფიკი	რაფიკი	გრაფიკი
გრაფიკი β	გრაფიკი α_0	რაფიკი α_0	გრაფიკი α_n	რაფიკი α_n	გრაფიკი R	რაფიკი R	გრაფიკი n	რაფიკი K	
30									
45									
60									