

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



ლაბორატორიული სამუშაო №2

ვარიანტი №

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 სისტემაში და პროცესში ადგილი აქვს ხახუნს, რომლის შედეგად წარმოიშობა ხახუნის ძალა. უმეტეს შემთხვევაში ამ ძალის წარმოშობა დაკავშირებულია მექანიკური ენერჯის სითბურ ენერჯიად გარდაქმნასთან. ერთმანეთისაგან განასხვავებენ გარე ხახუნის ძალებს და შიგა ხახუნის ძალებს.

შიგა ხახუნის ძალა – ეს არის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც წარმოიშობა 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 ხახუნი (უძრაობის ხახუნი) ვლინდება ერთმანეთის მიმართ უძრავი სხეულების შემხებ ზედაპირებს შორის.

კინემატიკური ხახუნი წარმოიშობა ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულების შემხებ ზედაპირებს შორის. მოძრაობის რაობიდან გამომდინარე მიღებულია კინემატიკური ხახუნის ასეთი დაყოფა: სრიალის ხახუნად და გორვის ხახუნად.

სრიალის ხახუნისათვის სრულდება კულონ-ამონტონის კანონი: $\vec{F}_{\text{ხახ}} = \mu N$ სრიალის ხახუნის ძალა პროპორციულია ნორმალური N წნევის ძალის

$$F_{\text{ხახ}} = \mu N \quad (1)$$

სადაც μ პროპორციულობის კოეფიციენტი. 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 სრიალს, ე.ი. უძრაობის ხახუნი შეიცვალა სრიალის ხახუნით. β კუთხეს ხახუნის კუთხეს უწოდებენ და ხახუნის კოეფიციენტთან აკავშირებენ შემდეგი ტოლობის საშუალებით

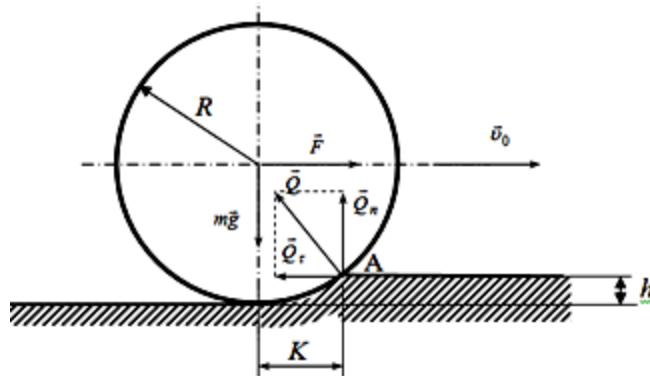
$$\mu = \operatorname{tg} \beta. \quad (2)$$

აღწერილი სიტუაცია შეიძლება გამოვიყენოთ სტატიკური ხახუნის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული გზით განსასაზღვრავად.

გამოვიკვლიოთ გორვის ხახუნის წარმოშობის მიზეზები.

განვიხილოთ ცილინდრი, რომელიც მუდმივი \vec{v}_0 სიჩქარით მიგორავს ჰორიზონტულ ზედაპირზე (ნახ.1). ზედაპირის დეფორმაციის გამო მგორავი ცილინდრის წინ წარმოიქმნება თავისებური „საფეხური“.

ვთქვათ \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 - $Q_\tau = F_{\text{ხახ}}$, რომელიც ეწინააღმდეგება ცილინდრის გორვას.



ნახ.1-ჰორიზონტულ სიბრტყეზე მგორავი ცილინდრი

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

შევადგინოთ მომენტების განტოლება A წერტილის მიმართ:

$$mg \cdot K - F_{\text{ხახ}} \cdot R = 0 \quad (3)$$

სადაც K წარმოადგენს სიმძიმის ძალის მხარს. (3) ტოლობის ჩაწერისას გათვალისწინებულია, რომ „საფეხური“-ს h სიმაღლე გაცილებით ნაკლებია ცილინდრის R რადიუსზე ($h \ll R$). (3) ტოლობიდან ვღებულობთ გორვის ხახუნის ძალის გამოსათვლელ ფორმულას

$$F_{\text{ხახ}} = K \frac{mg}{R}. \quad (4)$$

ამ ფორმულაში შემაჯალ K სიდიდეს გორვის ხახუნის კოეფიციენტი ჰქვია.

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

K კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ცდებით და დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მასალისაგან არის დამზადებული სხეულები.

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.

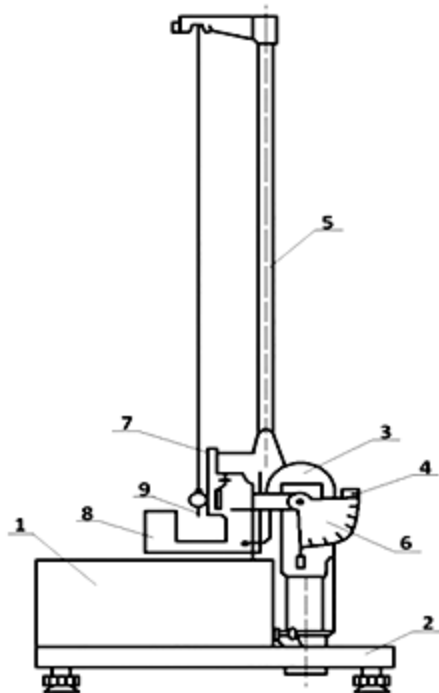
დახრილი ქანქარის მეთოდით გარე ხახუნის ძალის შესწავლა

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.2-ზე. 2 ფუძეზე მიმაგრებულია 1 წამშომი და სვეტი 3 დახრის მექანიზმით. დახრის მექანიზმის 4 სახელურის 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.



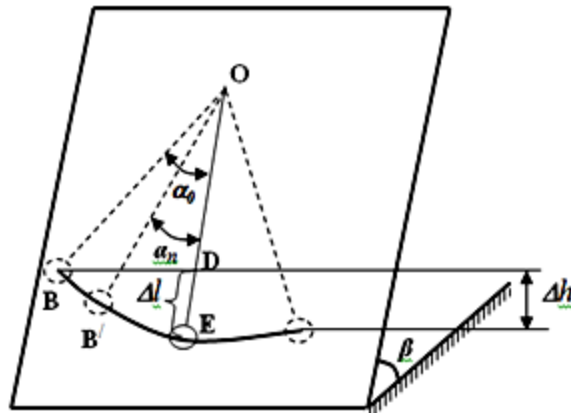
ნახ.2 - დანადგარი FPM-07

სმ
ხახუნის
განისაზღვრება

K

სამუშაოშიგორვის
კოეფიციენტი
დახრილი ქანქარის

მეთოდით, რომელიც წარმოადგენს დახრილ სიბრტყეზე მგორავ, ძაფზე დაკიდებულ ბირთვს (ნახ.3). ასეთი ქანქარის რხევის მილევა განპირობებულია გორვის ხახუნით. K სიდიდის განსასაზღვრავი ფორმულა შეგვიძლია მივიღოთ, თუ n სრული რხევების შესაბამის გაფანტულ ენერგიას და ხახუნის ძალას გავუტოლებთ ერთმანეთს n სრული რხევის შესრულების შემდეგ B მდგომარეობიდან B' მდგომარეობაში გადასვლისას ქანქარა კარგავს $\Delta E = mg\Delta h$ ენერგიას, რომელიც ტოლია წინააღმდეგობის



ნახ. 3- დახრილი ქანქარა

ძალების მიერ შესრულებული მუშაობისა S გადაადგილებაზე (ნახ. 5) :

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

სადაც $\Delta A = F_{\text{ხახუნ}} S$ - 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 მისი სიმცირის გამო უგულებელყოფთ, მაშინ

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

(4)-ის გათვალისწინებით გეომეტრიული გარდაქმნების შემდეგ 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

$$S = 4Ln\alpha_{\text{საშ}},$$

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

მივიღოთ რომ α_0 და α_n კუთხეები მცირეა ($\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$), მაშინ გორვის ხახუნის K კოეფიციენტისათვის საბოლოოდ 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 ($25^0 - 60^0$) ბირთვი წონასწორობის მდებარეობიდან გადახარეთ α_0 კუთხით და კლავიშაზე ჩამოყრა დაჭერის შემდეგ ბიძგის გარეშე გაუშვით ქანქარა. 7-10 სრული რხევის შემდეგ დააჭირეთ კლავიშს „სდექ“ 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) შტანგელფარგლით გაზომეთ ბირთვის რადიუსი R .

7) (9) ფორმულით გამოთვალეთ გორვის ხახუნის კოეფიციენტი.

8) გაიმეორეთ ცდა, შეცვალეთ მოხახუნე წყვილი. ამისათვის საჭიროა ან შეცვალოთ 7 სკალაზე ბრტყელი ნიმუში, ან ქანქარას ბირთვი, ან ორივე ერთად.

9) გამოიტანეთ დასკვნა.

