

TEXNİKA ELMLƏRİ TECHNICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2789-6919/50/114-122>

Tahir Məmmədov

Gəncə Dövlət Universiteti
riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru
<https://orcid.org/0009-0002-9546-3683>
tahir.mammadov@gdu.edu.az

Elçin Cavadov

Gəncə Dövlət Universiteti
texnika üzrə fəlsəfə doktoru
<https://orcid.org/0009-0002-8868-9617>
elcin.cavadov@gdu.edu.az

İradə Seyidova

Gəncə Dövlət Universiteti
<https://orcid.org/0009-0008-0633-4868>
irada.seyidova@gdu.edu.az

Çevik deformasiya olunan sapa eninə zərbə məsələsi

Xülasə

Sənayenin müxtəlif sahələrində elastiklikdən əlavə özlülük xüsusiyyətlərinə malik olan materiallardan da geniş istifadə olunur. Buna görə də bu materialların, liflər şəklində, verilən formalı cisim ilə zərbə vurulduğu zaman fiziki vəziyyətinin təyin olunması əhəmiyyətlidir. Eninə zərbə nəzəriyyəsində aktual və vacib problemdən biri də dönmə nöqtəsində sərhəd şərtlərinin təsnifatı və alınmış həllin fiziki reallığı əks etdirməsidir. İlk dəfə eninə zərbə nəzəriyyəsində Ş.M.Mütəllibov göstərmişdir ki, səs sürətindən böyük hallar üçün dönmə nöqtəsinin arxasında (kəskin kəsilmə dalğasının arxasında) çevik konstruksiyaların gərginliyi mənfi qiymət almır və sap (membran) bu hissədə “qırışır”. O, vuran cismin sürətindən, cismin həndəsi formasından, sürtünmə əmsalından və materialın mexaniki xüsusiyyətindən asılı olaraq kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində sərhəd şərtlərinin təsnifatını vermişdir.

Məqalədə çevik konstruksiyalara eninə zərbə nəzəriyyəsində istifadə olunan əsas anlayışlar haqda məlumatlar verilir. Zərbənin dəyişən sürətli halı üçün çevik sapın əyilmə oblastında hərəkət tənliyi verilir. Xətti özlüelastik (Maksvell modeli) sapa eninə zərbədə, kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində sərhəd şərtləri araşdırılır. Bu cür məsələlərin həlli dalğa mexanikasının inkişafından əlavə, müxtəlif mühəndis problemlərinin həllində, müxtəlif texnoloji məsələlərin həllində də istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: eninə zərbə, çevik sap, özlüelastik sap, səs sürətindən böyük rejim, səs sürətindən kiçik rejim, paz, əyilmə nöqtəsi, simmetrik paz

Tahir Mammadov

Ganja State University
PhD in Mathematics
<https://orcid.org/0009-0002-9546-3683>
tahir.mammadov@gdu.edu.az

Elchin Javadov

Ganja State University

PhD in Technique
<https://orcid.org/0009-0002-8868-9617>
elcin.cavadov@gdu.edu.az
Irada Seyidova
Ganja State University
<https://orcid.org/0009-0008-0633-4868>
irada.seyidova@gdu.edu.az

The Problem of Impact on a Flexibly Deformable Shaft

Abstract

In addition to elasticity, materials with viscous properties are also widely used in various fields of industry. Therefore, it is important to determine the physical state of these materials, in the form of fibers, when they are hit by an object of a given shape. One of the current and important problems in the theory of transverse impact is the classification of boundary conditions at the turning point and the reflection of the obtained solution to physical reality. For the first time in the theory of transverse impact, Sh.M.Mutallimov showed that for cases greater than the speed of sound, the stress of flexible structures behind the turning point (behind the sharp shear wave) does not take a negative value and the rod (membrane) "wrinkles" in this section. He gave a classification of boundary conditions at the sharp shear wave front depending on the speed of the striking object, the geometric shape of the object, the friction coefficient and the mechanical properties of the material.

The article provides information on the basic concepts used in the theory of transverse impact on flexible structures. The equation of motion in the bending region of a flexible rod is given for the variable-velocity case of impact. The boundary conditions in the transverse impact on a linear viscoelastic (Maxwell model) rod, at the sharp shear wave front, are investigated. The solution of such problems can be used in addition to the development of wave mechanics, in the solution of various engineering problems, and in the solution of various technological problems.

Keywords: *transverse impact, flexible thread, viscoelastic thread, supersonic mode, subsonic mode, wedge, inflection point, symmetrical wedge*

Giriş

Müasir texnikanın müxtəlif sahələrində işlədilən çevik konstruksiyaların qısa müddətli yüklənmə vaxtı gərginlik halını tədqiq etmək həmişə böyük əhəmiyyət daşıyır. Çünki, yükləmə vaxtı konstruksiyanın möhkəmliyi və yaxud dağılmasını proqnozlaşdırmaq texnikada xüsusi maraq kəsb edir. Aydın ki, əgər konstruksiyanın yüklənməsi bərk cismin zərbəsi ilə yaranırsa, bu prosesin aktuallığını daha da artırır. Bu sahədə yaranmış məsələlərin fiziki modelini qurmaq, sonra isə ona uyğun məsələlərin riyazi modellərini yazmaq və analitik həll etmək olduqca mürəkkəb məsələlərdəndir.

Çevik konstruksiyalara (sapa, membrana) bərk cisimlə zərbə vaxtı, zərbə müddətində konstruksiyanın həndəsi formasının real fiziki prosesə uyğun seçilməsi problemin həllində əsas məsələdir. Çevik konstruksiyaların dalğa dinamikası problemlərinin həlli, yüksək sürətlə hərəkət edən cisimlərin hərəkətinin tormozlanması sxemlərinin yaradılmasında, toxuculuq sənayesində, zərbə vaxtı çevik konstruksiyaların dağılmasının proqnozlaşdırılması məsələlərində tətbiq oluna bilər.

Tədqiqat

Məqalədə çevik sapa eninə zərbə nəzəriyyəsinin əsas anlayışları verilir. Sapın hərəkət tənliyi və sərhəd şərtləri təqdim olunur. Əgər vuran cismin sürət $\vec{V}$ vektoru vurulan konstruksiya ilə (sapın, membranın) və vuran cismin kontakt nöqtəsindən keçirilən toxunan müstəviyə perpendikulyardırsa, onda bu zərbəyə eninə, düzünə və ya normal zərbə deyəcəyik. Bütövlükdə çevik konstruksiyalara zərbə nəzəriyyəsində vuran cismin forması və sürəti, konstruksiyanın materialının növü, xarici mühitin xarakteristikaları zərbədən sonra konstruksiyanın həndəsi və fiziki modelinə təsir edən əsas parametrlərdir.

Zərbədən sonra sapın (konstruksiyanın) vəziyyəti aşağıdakı hallardan birində ola bilər: 1. Sükunət halı – bu, sapın (konstruksiyanın) elə bir hissəsidir ki, ora həyəcanlanma hələ çatmayıb; 2. Uzununa hərəkət halı – bu, zərbəyə qədər (konstruksiyanın) həyəcanlanmayan müstəvidə yerləşən düzxətli sap boyu hərəkət oblastıdır. Burada sürət yalnız sap boyu uzununa komponentə malikdir; 3. Zərbə nöqtəsi ilə sapın dönmə nöqtəsi arasındakı sapın əyilmiş oblastında hissəciyin sürətinin eninə komponenti də var.

Axırıncı oblast vuran cismin həndəsi formasından, sürətindən, konstruksiyanın materialından asılı olaraq müxtəlif üç cür həndəsi forma ala bilər. Bunlar aşağıdakılardır:

a) Zərbədən sonra əyilmə oblastında vuran cisimlə konstruksiya bir nöqtədə kontaktda olurlar. Buna nöqtəvi zərbə də deyilir (Mutallimov, 2001). Bu hərəkət sxemi açılma bucağı az və iti cisimlə (paz, konus) zərbə vaxtı baş verir (Şəkil 1.1).

b) Sapın əyilən oblastının bir hissəsi vuran cismin təpə nöqtəsindən başlayaraq səthi üzrə müəyyən hissə söykənir, qalan hissəsi isə cismə söykənmir (Şəkil 1.2).

c) Zərbədən sonra sapın əyilən hissəsi vuran cismin səthinə söykənir və cismə nəzərən hərəkət edir (Şəkil 1.3).

Məqalədə bütün nəzəri məsələlərin həllində yuxarıda deyilən hərəkət sxemi qəbul olunur.

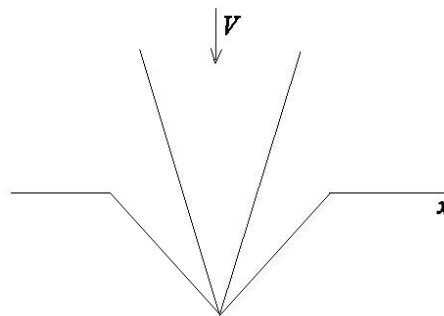
Zərbədən sonra sapın uzununa hərəkət oblastı ilə əyilmə oblastını ayıran sərhəddə kəskin kəsilmə dalğası (Agalarov, 1973) və ya dönmə nöqtəsi deyəcəyik.

Baxılan hərəkət sxemi üçün iki hərəkət rejimi mövcuddur.

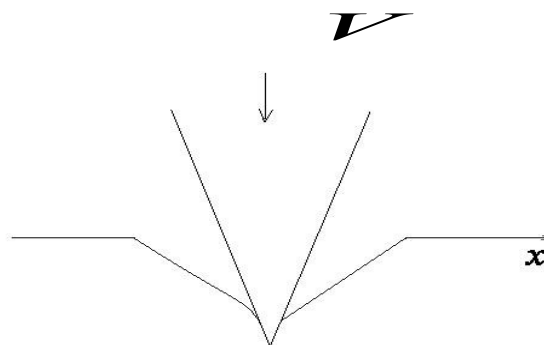
1. *Səs sürətindən böyük rejim.* Bu hal üçün dönmə nöqtəsinin sürəti, sapın materialının səs sürətindən böyük olur. Bu hala sapın düzxətli hissəsində (kəskin kəsilmə dalğasının cəbhəsinin önündəki oblastda), sap zərbəyə qədər olan hal vəziyyətində olur (Mamedov, 1998). Başqa sözlə, bu hissədə sap sükunət halında olacaq (Şəkil 1.4).

2. *Səs sürətindən kiçik olan rejim.* Bu halda dönmə nöqtəsinin sürəti sapın materialının səs sürətindən kiçikdir (Şəkil 1.5).

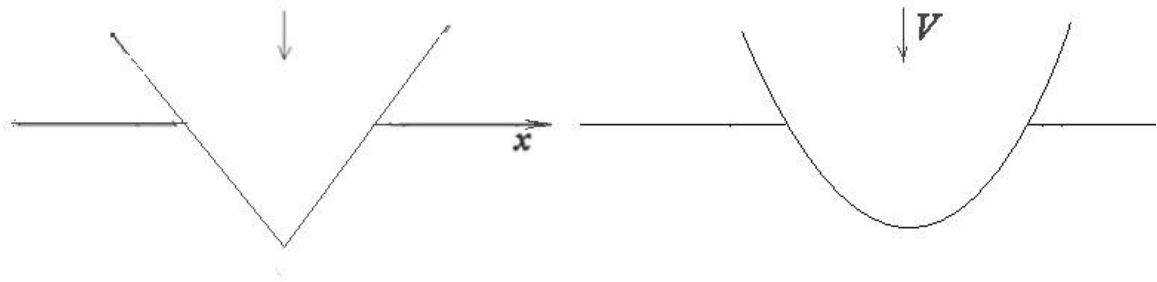
Bu halda dönmə nöqtəsinin önündəki və dönmə nöqtəsinin arxasındakı oblastlar gərginlik halında olacaqlar.



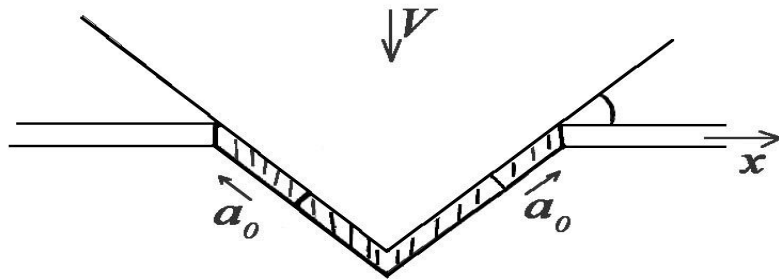
Şəkil 1.1. Nöqtəvi normal zərbədən sonra çevik sapın həndəsi sxemi halında olacaqlar.



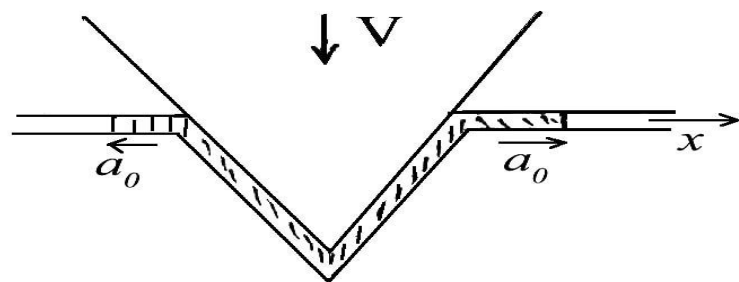
Şəkil 1.2. Pazla normal zərbədən sonra çevik sapın bir həndəsi sxemi



Şəkil 1.3. Zərbədən sonra çevik sapın vuran cismin formasının alması halı



Şəkil 1.4. Zərbədə sapda yaranan səs sürətindən böyük hərəkət sxemi



1.5. Pazla zərbədə çevik sapda səs sürətindən kiçik hərəkət sxemi

İndi isə vuran cismin səthinə söykənən hissəsində çevik sapın hərəkət tənliyini yazaq.

Tutaq ki, sonsuz uzunluqlu çevik düzxətli sapa OY oxuna nəzərən simmetrik qabarıq cisimlə dəyişən V sürətilə zərbə endirilir (Mamedov, 2007). Xarici mühitin heç bir təsiri nəzərə alınmır. U ilə vuran cismin təpə nöqtəsindən (O nöqtəsindən) sapın baxılan nöqtəsinə qədər olan uzunluğu işarə edək (Şəkil 1.6).

Sapın dU elementinə aşağıdakı qüvvələr təsir edir:

- 1) Sapa toxunan istiqamətdə təsir edən yekun gərilmə qüvvəsi

$$\frac{\partial}{\partial U}(F\bar{\sigma})dU \quad (1)$$

- 2) Gərilmə qüvvəsinin sapa normal komponenti

$$\bar{\sigma}Fd\gamma \quad (2)$$

- 3) Sapa toxunan istiqamətdə ətalət qüvvəsi

$$\rho FdU \frac{dV}{dt} \sin \gamma \quad (3)$$

- 4) Sapa normal istiqamətdə ətalət qüvvəsi

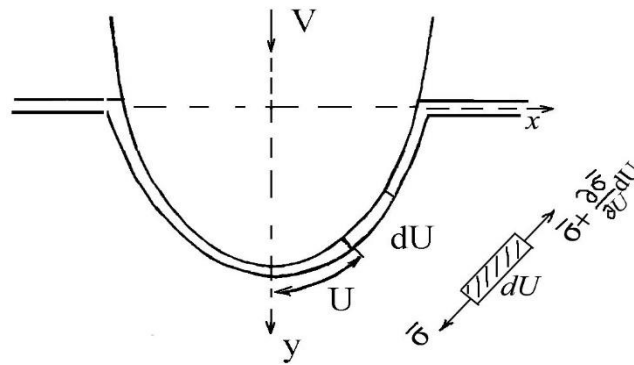
$$\rho FdU \frac{dV}{dt} \cos \gamma \quad (4)$$

Burada F - zərbədən sonra deformasiya olunan sapın en kəsiyinin sahəsidir;

γ - vuran cismə baxılan nöqtədə çəkilən toxunanın sapın başlanğıc düzxətli istiqaməti arasındakı bucaqdır; ρ - zərbədən sonra sapın sıxlığıdır (Mutallimov, 1997).

Yuxarıda deyilən qüvvələrin təsiri ilə sapın dinamik tarazlıq tənliyinə baxaq, Cismə toxunan istiqamətdə sapın hərəkət tənliyi belə olar:

$$\begin{aligned} \rho FdU \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial U}(F\bar{\sigma})dU + \rho FdU \frac{dV}{dt} \sin \gamma - \\ - \mu_1 \left(\bar{\sigma}Fd\gamma + \rho F \frac{dV}{dt} dU \cos \gamma \right) \cdot v_0 \end{aligned} \quad (5)$$



Şəkil 1.6. Küt cisimlə zərbədən sonra sapın həndəsi forması

Burada t - zaman, μ_1 - sürtünmə əmsalı, $\bar{\sigma}$ - sapın deformasiya halında gərginliyidir.

Kütlənin saxlanma qanunundan yazmaq olar

$$\rho_0 F_0 dx = \rho FdU \quad (6)$$

ρ_0, F_0 zərbəyə qədər sapın sıxlığı və en kəsiyinin sahəsidir, x - hissəciyinin Laqranj

koordinatıdır. Əgər en kəsik dairəsidirsə $F_0 = \pi \frac{d^2}{4}$ (d -dairənin diametridir) olur.

Deformasiyanın

$$\varepsilon = \frac{\partial U}{\partial x} - 1 \quad (7)$$

ifadəsini nəzərə alsaq (1.2.6)

$$\rho_0 F_0 = \rho F(1 + \varepsilon) \quad (8)$$

şəklində yazılır.

Əgər $\sigma = \bar{\sigma}\rho_0[\rho(1 + \varepsilon)]^{-1}$ şəklində şərti gərginlik daxil etsək və (8) düsturunu nəzərə alsaq, (5) tənliyi bu cür ifadə olunar (Mutallimov, 1999).

$$\rho_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} + \rho_0 \frac{dV}{dt} \sin \gamma - \mu_1 \left[\sigma \frac{\partial \gamma}{\partial x} + \rho \frac{dV}{dt} \cos \gamma \right] v_0$$

$$v_0 = \text{sign} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (9)$$

Əgər $V = \text{const}$ və zərbə pazla endirilsə, $\frac{d\gamma}{dx} = 0$ $\frac{dV}{dt} = 0$ olar və (9) tənliyi

$$\rho_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad (10)$$

şəklində yazılır.

Qeyd edək ki, sapın hərəkət tənliyi (10) həm də sapın dönmə nöqtəsinin qarşısındakı düzxətli hissəsində də doğrudur.

Kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində sərhəd şərtlərini təyin edək.

Kəsgin kəsilmə dalğası cəbhəsində şərtləri çıxararkən fərz olunur ki, bu cəbhənin həm önündəki və həm də arxasındakı oblastlarda sap gərginlik vəziyyətindədir.

Sapın dönmə nöqtəsində (kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində) kütlənin saxlanması və hərəkət miqdarının dəyişməsi tənlikləri ölçüsüz şəkildə aşağıdakı kimidir.

$$\frac{b - v_1}{1 + \varepsilon_1} = \frac{b \sec \gamma - v_2}{1 + \varepsilon_2}; \quad v_1 = \frac{\partial u_1}{\partial t}; v_2 = \frac{\partial u_2}{\partial t}$$

$$\frac{b - v_1}{1 + \varepsilon_1} (v_2 - v_1 \cos \gamma - M \sin \gamma) = \sigma_1 \cos \gamma - \sigma_2 - F_S \quad (11)$$

$$\frac{b - v_1}{1 + \varepsilon_1} (M \cos \gamma - v_1 \sin \gamma) = Q + \sigma_1 \sin \gamma$$

Burada v_2, v_1 - dönmə nöqtəsinin arxasında və önündə hissəciklərin sürətidir; $\varepsilon_2, \varepsilon_1$ - dönmə nöqtəsinin arxasında və önündə sapın deformasiyalarıdır; σ_2, σ_1 - uyğun olaraq dönmə nöqtəsinin arxası və önündəki sapın gərginlikləridir. γ - cismə toxunanla sapın əvvəlki vəziyyətləri arasındakı bucaqdır; V –vuran cismin sürətidir; F_S, Q - dönmə nöqtəsində toxunan və normal reaksiya qüvvələridir.

Səs sürətindən böyük hal üçün yəni, $b = Vctg\gamma > a_0$ (a_0 - sapda elastik dalğanın sürətidir, b - dönmə nöqtəsinin sürətidir) olanda dönmə nöqtəsinin arxasındakı həyəcanlanma, dönmə nöqtəsinin qarşısındakı oblasta təsir etmir və $\varepsilon_1 = 0$, $v_1 = 0$; $\sigma_1 = 0$ olur. Bu halda (11) şərtləri

$$v_2 = (\sec \gamma - 1 - \varepsilon_2) Mctg\gamma;$$

$$F_S = -\sigma_2 + \rho Vctg\gamma (V \sin \gamma - v_2) \quad (12)$$

$$Q = M^2 ctg\gamma \cdot \cos \gamma; \left(\mu = \frac{V}{a} \right)$$

şəklində olar.

σ və ε arasında asılılıq (Maksvell tipli)

$$\dot{\sigma} + \frac{E}{\mu} \sigma = E \dot{\varepsilon}$$

və ya

$$\sigma = E(\varepsilon - k_1 e^{-k_1 t} \int_0^t e^{k_1 \tau} \varepsilon(\tau, x) d\tau) \quad (13)$$

şəklindədir. $k_1 = \frac{E}{\mu}$; E - Yunq moduludur. Burada μ - özlülük əmsalındır.

$\nu_2, \varepsilon_2, F_s, Q$ kəmiyyətlərini tapmaq üçün (12), (13) tənliklər sistemini qapamaq üçün əlavə bir tənlikdə lazımdır. Bu cür tənliyi

$$(|F_s| < \mu_* Q) \quad (14)$$

kimi götürmək olar. (4) bərabərsizliyi

$$\nu_2 = 0 \quad (15)$$

şərtini tələb edir. Burada μ_* dönmə nöqtəsində sürtünmə əmsalındır. (14) və (15) şərtləri məsələnin çoxsaylı parametrlərinin müəyyən qiymətlərində ödəniləcək, ödənilmə sərhəddi isə

$$|F_s| = \mu_* Q \quad (16)$$

şərti ilə təyin olunur. Bu halda artıq $\nu_2 \neq 0$ olmaqla (12), (14) sistemini qapayan şərt

$$F_s = \mu_* Q \operatorname{sign} \nu_2 \quad (17)$$

şəklində olacaq.

Amma bu halda σ_2, ε_2 - kəmiyyətləri üçün alınan qiymətlər mənfi olur, bu isə fiziki baxımdan qəbul olunan deyil, çünki çevik sap sıxılmaya müqavimət göstərmir. Odur ki, fiziki mənası olan həlli qurmaq üçün, sapın sıxılmaya sıfır müqavimətini nəzərə alan sxem qurmaq zəruriyyəti yaranır (Mamedov, 2009). Məsələnin çoxsaylı parametrlərini məhdudlaşdıran və (17) şərti üçün yararlı olan şərt

$$\sigma_2 = 0 \quad (18)$$

olacaq. Bu halda $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ asılılığı tətbiq olunmur və (18) şərtindən əlavə (17) şərti ödənilməlidir.

Beləliklə, (12), (13) sistemini qapamaq üçün (15), (17) və (18) şərtləri nəzərə alınmalıdır.

Beləliklə, kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində (dönmə nöqtəsində) üç növ sərhəd şərti mövcuddur (Mamedov, 2007).

Birinci halda, əgər (15) şərtini (12) sisteminin birinci tənliyində nəzərə alsaq:

$$\varepsilon_2 = \sec \gamma - 1; \quad (19)$$

$$\nu_2 = 0 \quad (20)$$

olar.

(19), (20) həllərinin tətbiq olunma oblası

$$F_s < \mu_* Q \quad (21)$$

bərabərsizliyi ilə təyin olunur.

(γ, M) müstəvisində $F_s < \mu Q$ əyrisindən sağda $M = \operatorname{tg} \gamma$ əyrisindən yuxarı və $\gamma = 2\gamma_*$ xəttindən solda yerləşən oblastda kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində şərtlər

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_2^{(0)} + k \varepsilon_2^{(1)} t, \quad (22)$$

$$\nu_2 = \nu_2^{(0)} + k \nu_2^{(1)} t, \quad (23)$$

kimidir.

Burada

$$\varepsilon_2^{(1)} = -\frac{\varepsilon_2^{(0)}}{b^2 - 1}, \quad \nu_2^{(1)} = \frac{b}{b^2 - 1} \varepsilon_2^{(0)}, \quad k = \frac{E R}{\mu a_0} \quad (24)$$

$\varepsilon_2^{(0)}, \nu_2^{(0)}$ - xətti elastik məsələdən məlum ifadələrdir və k, t, b - ölçüsüz kəmiyyətlərə gətirilib.

Qeyd edək ki, sərhəd şərtlərində məsələlərin həllində k - kiçik parametrlərin qəbul olunur və həll prosesində bütün axtarılan kəmiyyətlərin kiçik parametrlərinə görə ayrılışı yazılır. Bundan əlavə, ayrılışlarda birinci iki hədd götürülür.

Üçüncü mümkün olan hal $\sigma_2^{(0)} = 0 (\varepsilon_2^{(0)} = 0)$ şərtindən tapılan xətt üzərində baş verir və bu xətt

$$\gamma = 2\gamma_* \quad (25)$$

şəklindədir.

Beləliklə, $M = tg\gamma$ əyrisindən yuxarı və (25) düz xəttindən sağda (17) şərtini nəzərə alsaq, deformasiya ε_2 və hissəciyin v_2 sürəti üçün

$$\varepsilon_2 = \sin \gamma \left(tg\gamma_* - tg \frac{\gamma}{2} \right) < 0, \quad \gamma > 2\gamma_* \quad (26)$$

$$v_2 = M \cos \gamma (tg\gamma - tg\gamma_*) > 0; \quad (\sigma_2 = 0)$$

(26) həllərindən alınır ki, dönmə nöqtəsinin arxasında gərginlik sıfır olmaqla $v_2 > 0, \varepsilon_2 < 0$ olur, yəni üçüncü hal üçün sap qırışır (Mütəllibov, 1996).

Beləliklə, səs sürətindən böyük olan hal üçün kəskin kəsilmə dalğası cəbhəsində üç növ sərhəd şərtləri alındı. I növ – (19), (20), ikinci növ – (22), (23), üçüncü növ (26) düsturları ilə ifadə olunurlar.

Beləliklə, alırıq ki, I növ sərhəd şərti

$$\varepsilon_2 = \sec \gamma - 1;$$

$$v_2 = 0$$

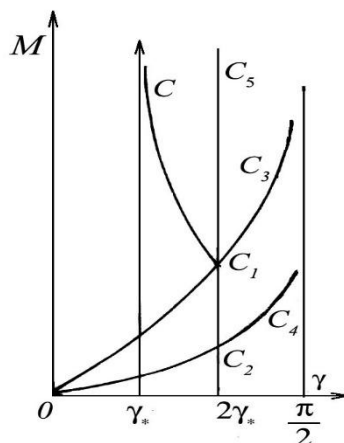
(M, γ) müstəvisində (şəkil 1.7) (OC_3) əyrisindən yuxarıda və CC_1 əyrisindən solda olan oblastda doğrudur.

II növ sərhəd şərti

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_2^{(0)} + k\varepsilon_2^{(1)}t,$$

$$v_2 = v_2^{(0)} + kv_2^{(1)}t,$$

(M, γ) müstəvisində CC_1C_5 oblastında (şəkil 1.7) doğrudur.



Şəkil 1.7. (M, γ) müstəvisində dönmə nöqtəsində yaranan hərəkət sxemi

III növ sərhəd şərti

$$v_2 = M \cos \gamma (tg\gamma - tg\gamma_*) > 0; \quad (\gamma > 2\gamma_*)$$

$$\varepsilon_2 = \sin \gamma \left(tg\gamma_* - tg \frac{\gamma}{2} \right) < 0; \quad \sigma_2 = 0$$

(M, γ) müstəvisində (şəkil 1.7) $C_5C_1C_3$ oblastında doğrudur.

Nəticə

1.Çevik sapın özlülük xüsusiyyəti onun zərbə müddətində gərginlik və deformasiya halına əsaslı təsir edir. Özlüelastik sapın qırılma gərginliyi xətti elastik sapın möhkəmlik həddi ilə eynidirsə, onda məsələyə daxil olan parametrlərin müəyyən qiymətində sapın qırılması zərbə nöqtəsində başlanğıc anda baş verəcək.

2.Özlüelastik sapın qırılma gərginliyi xətti elastik sapın qırılma gərginliyindən kiçikdirsə, sapın qırılması yenə zərbə nöqtəsində baş verəcəkdir.

3.Özlüelastik sapın qırılma gərginliyi, xətti elastik sapın qırılma gərginliyindən böyükdürsə, zərbə nöqtəsində özlü elastik sap qırılmayacaq.

4.Ön tərəfi müstəvi şəkilli pazla xətti elastik və xətti özlü elastik sapa zərbə vaxtı sapın qırılması pazın müstəvi hissəsinin ucunda (yəni pazın tinində) baş verir.

5.Çevik özlüelastik sap zərbədən sonra zərbə nöqtəsində (və ya pazın tinində) qırılsa, sap vuran cismin səthi boyu bürüşür, yəni qırılma nöqtəsindən dönmə nöqtəsinə qədər oblastda özlüelastik sap bürüşmə formasında olur. Bu hal çevik sapın fiziki xüsusiyyətindən asılı olmamasını göstərir.

Ədəbiyyat

1. Agalarov, D. G. (1973). Poperechnii udar po gibkim deformiruemyim svyazyam pri nalichii vyazkosti. Rasprostranenie uprugikh i uprugoplasticheskikh voln. *Materialy V Vsesoyuznogo simpoziuma*. "Nauka", 12–17.
2. Mamedov, Eh. A. (1998). Normal'noi udar po gibkoi uprugoi niti. *Tr. IMM AN Az. T.IX (XVII)*, 144–150.
3. Mamedov, Eh. A. (2002). Poperechnyi udar sostavnym klinom po gibkoi niti. *Mekhanika, Mashinostroenie*, (1).
4. Mamedov, T. Dzh. (2006). Smorshchivanie vyazkouprugoi niti pri normal'nom udare klikom no nei. *Mekhanika-mashinostroenie*, (2), 24–26.
5. Mamedov, T. Dzh. (2007). Normal'nyi udar prituplennym klinom po gibkoi vyazko uprugoi niti. *Mekhanika-mashinostroenie*, (1), 14–16.
6. Mamedov, T. Dzh. (2008). Normal'nyi udar prituplennym klinom po vyazko uprugoi niti. *NAN Azerb. Gyandzhinskii regional'nyi nauchnyi tsentr "Sbornik izvestii"*, (31), 128–135.
7. Mamedov, T. Dzh. (2009). Ob obryve vyazkouprugoi niti pri poperechnom udare prituplennym klinom. *Inzhenernaya fizika*, (11), 3–7.
8. Mutallimov, Sh. M. (2001). *Volnovaya dinamika gibkikh svyazei*. izd. "Elm".
9. Mutallimov, K. Sh. (1996). Poperechnyi udar klinom po uprugo-plasticheskoi niti pri nalichii treniya. *Tr. IMM AN Azerb. Baku, EhlM, t. V(XIII)*, 124–127.
10. Mutallimov, K.Sh. (1996). Normal'nyi udar klinom po gibkoi niti pri nalichii treniya s uchetom obryva. *Dep. AZNIINTI*, (2356-Az.), 6.
11. Mutallimov, K. Sh. (1997). Ob obryve uprugoi niti pri poperechnom udare klinom. *"Prikladnaya mekhanika"*, 33(7), 79–83.
12. Mutallimov, K. Sh. (1999). Udar klinom po uprugo-plasticheskoi gibkoi niti s uchetom davleniya vneshnei sredy. *Tr. IMMAN Azerb., EHLM, t(IX)*, 144–149.

Daxil oldu: 08.07.2025

Qəbul edildi: 13.10.2025