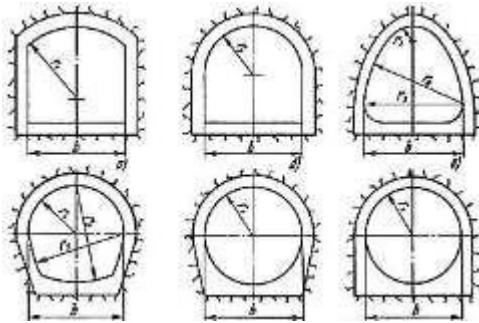


## MAİLİ BORU KƏMƏRLƏRİNİN DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİNİN VƏ GƏRGİNLİKLİ-DEFORMSİYA VƏZİYYƏTİNİN TƏDQIQI

Boru kəmərlərinin müxtəlif forma və konstruksiyaları hidrotexniki tikintidə geniş tətbiq olunur. Boru kəmərləri həm yer səthində, həm də yeraltı şəraitdə istismar olunur.

Hidrotexniki tikintidə boru kəmərləri müxtəlif en kəsikli formada olmaqla onların qrunt mühiti ilə qarşılıqlı əlaqəsində dayanıqlı istismarına böyük tələblər qoyulur. Boru kəmərləri bircinsli qrunt mühitində əsasən düzbucaq-tağ və həlqəvari en kəsik [1, 2] formalı olmaqla daha çox tətbiq olunur (şəkil 1). Belə boru kəmərləri tunel tikintisində geniş tətbiq edilir.



Şəkil 1. Müxtəlif en kəsikli boru kəmərləri.

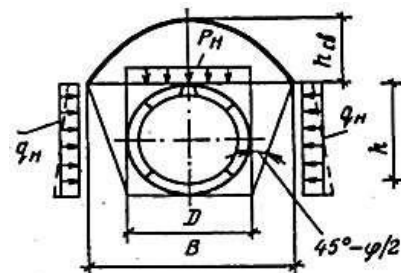
Boru kəmərlərinin gərginlimli-deformasiya vəziyyətinin tədqiqi üçün qrunt mühiti ilə qarşılıqlı əlaqədə olan tunel tipli konstruksiyaları nəzərdən keçirək. Bunun üçün qəbul edilmiş en kəsik formalarına görə hesablama sxemləri tərtib olunur.

Məsələlərin həllinin asanlaşdırılması üçün hesablama sxemlərində boru konstruksiyasının müxtəlif hissələrinə qoyulan dayaq-lar, qurğuya təsir göstərən yüklər və qüvvələr faktiki olaraq olduğu kimi əks etdirməlidir. Müxtəlif en kəsikli boruların tağındakı dayaq-lar ən çox birinci növ, bəzən isə konstruksiyanın müəyyən hissələrində ikinci növ dayaq şəklində qəbul edilə bilər.

Müxtəlif en kəsikli boru kəmərlərinin statiki hesablama sxemlərində birinci və ikinci növ dayaq-lar geniş tətbiq edilir. En kəsiyi düzbucaq-tağ malik olan tunelin hesablama sxemində birinci növ dayaq-lar şəklində, tunelin tağvari və düzbucaqlı elementləri eyni qalınlığa malik olduqda hesablama sxemində bərkidilmə birinci növ dayaq-lar şəklində qəbul edilə bilər. Həlqəvari en kəsikli tunelin konstruksiyası həlqəsinin eyni qalınlığa malik tam elementi üçün hesablama sxemində ikinci növ dayaq-lardan istifadə olunur.

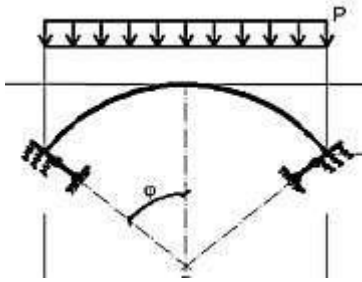
Hidrotexniki tunellərin sabit əyilmə sərtlilikli tağ elementinə bir neçə yüklər təsir edir ki, bunlardan da qruntun çəkisindən və qrunt suyunun hidrostatiki təzyiqindən yaranan yükləri göstərmək olar. Tunelin tağ elementinin səthinə qrunt mühitinin təsirindən aktiv təzyiq dərinlik boyunca artmaqla üfüqi yük şəklində yönəlmiş olur. Bu tip konstruksiyaya malik tunellərdə birləşdirici tikişlər tağ formalı yarım dairelərin saquli divarının orta q nöqtələrində verilməsi məqsədə uyğun sayılır. Tağ elementi tam yarım həlqəyə çatmaya bilər və bu tip birləşdirici nöqtələrə oynaq və sərt şəkilli dayaq-larda rast gəlinir.

Tağ elementlərinin yükləmə sxemləri şəkil 2-də verilmişdir ki, burada da tunelin həm tağ elementinə, həm də yan divar elementinə təsir edən yüklər  $P_H$ ,  $q_H$  ilə ifadə edilmişdir.



Şəkil 2. Tunelə təsir edən yüklərin sxemi.

Tağ elementinə təsir edən yükləmə sxemi şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Tağ elementinin yükləmə sxemi.

Xarici və aktiv təzyiq yükü intensivliklərinin hesablanması üçün mərkəzi xətti boyunca tağın səthindəki yuxarı nöqtədən yerin təbii səth xəttinədək yerləşən məsafənin  $H_0$ , qrunut suyunun səviyyəsinədək olan məsafənin  $h_0$ , quru və yaş halda olan qrunut hissələrinin həcmi çəkirlərinin  $\gamma_1 > \gamma_2$  olduğunu nəzərə alsaq, tağın xarakterik nöqtələrin təsir göstərən xarici və aktiv təzyiq yükü intensivlikləri müvafiq olaraq aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur:

$$q = \gamma_w \cdot h + \gamma_1 (H_0 - h) + \gamma_2 h; \quad (1)$$

$$q_L = \gamma_w [h_0 + R_x (1 - \cos \alpha)] + [\gamma_1 (H_0 - h_0) + \gamma_2 (h_0 + R_x (1 - \cos \alpha))] \cos \alpha + \gamma_2 [h_{ek} + h_0 + R_x (1 - \cos \alpha)] \times \frac{1}{2} \left( 45^\circ - \varphi_2 \right) \sin \alpha \quad (2)$$

$$\sigma = \gamma_2 \left( h_{ek} + h_0 + R_x (1 - \cos \alpha) \right) \frac{1}{2} \left( 45^\circ - \varphi_2 \right) \sin \alpha, \quad (3)$$

$$\sigma_L = \gamma_2 [h_{ek} + h_0 + R_x (1 - \cos \alpha)] \frac{1}{2} \left( 45^\circ - \varphi_2 \right) \sin \alpha. \quad (4)$$

burada:  $h_{ek}$  – quru haldakı qrunut layını yaş qrunut layı ilə əvəzliyə bilən ekvivalent hündürlükdür:

$$h_{ek} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} (H_0 - h_0); \quad (5)$$

$R_x$  – tunnel elementindəki divarın xarici səthinin

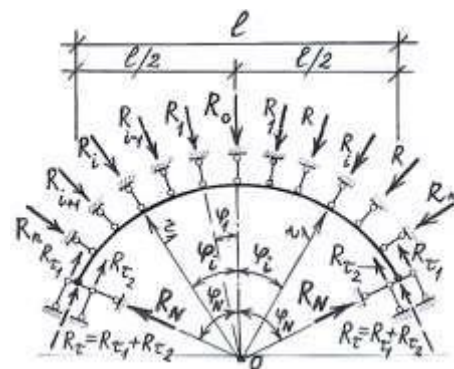
radiusu;  $\alpha$  – tağ elementinin mərkəzi xətti ilə kənar kəsiyinin radius xətti arasındakı bucaq;  $\varphi_2$  – tağın yuxarı tərəfindəki yaş qrunut mühitinə daxili sürtünmə bucağı;  $\gamma_w$  – su mühitinə həcmi çəkisi:  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3 = 1,0 \text{ t.q./m}^3$

Tunellərin tağ elementi yan divarlarına şarnirlə bərkildiyi zaman, bu şarnirlərdə reaksiya qüvvələri tətbiq olunmaqla divar elementini nəzərə almaq olar [3, 4, 5]. Belə olduqda, reaksiya qüvvələrinin təklif edilən hesablamə sxemlərinə görə iki üsulla təyini mümkündür:

- reaksiya qüvvələri tağ elementinin divara birləşən kəsiklərində, şarnirli birləşən yerində tağın əyri səthinə normal və toxunan istiqamətlər üzrə (şəkil 5);
- tunnel qurğusunun oxuna perpendikulyar və paralel vəziyyətlərdə, üfüqi və şaquli qüvvələr kimi təsir göstərmiş olar (şəkil 5).

Hesablanma sxeminə görə (şəkil 5) elementinin şarnirli birləşən yerində tağın əyri səthinə toxunan iki ədəd şarnir 1-ci növ dayaq birləşməsi kimi qəbul olunur və həmin dayaqların reaksiya qüvvələri ( $R_{\tau_1}$  və  $R_{\tau_2}$ ) istiqamətinə görə bir-birinə paralel olmaqla eyni istiqamətdə yönəldirlər.

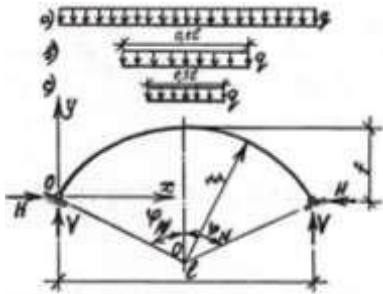
Həmin kəsikdə tağ elementinin səth xəttinə toxunan istiqamətinin yekun reaksiya qüvvəsi  $R_t = R_{\tau_1} + R_{\tau_2}$ , perpendikulyar istiqamətdəki reaksiya qüvvəsi isə  $R_N$ -dir (şəkil 4).



Şəkil 4. Tunnelin tağ elementində qrunut mühitinə təsirini birinci növ dayaq şəklində nəzərə almaqla bərkidilməsinin hesablanma sxemi.

Tunnel qurğusunun mərkəzi xətti üzrə reaksiya qüvvələri tağ elementinin tam əyri

xətti boyunca yerləşən 1-ci növ dayaqların həmin xəttədən sol və yaxud sağ tərəflər istiqamətində  $R_0, R_1, R_2, \dots, R_{i-1}, R_i, R_{i+1}, \dots, R_{n-1}, R_n$ , yekun qüvvələr kimi təsir edilir. Tunnel qurğusunun əhatə dairəsindəki qrunun tağın yuxarısındakı təsir hündürlüyü  $h$  olduqda,  $i$ -ci dayağın üstündəki təsir hündürlüyü isə  $h_i$  olarsa,  $i$  sayılı dayağın tərəfindəki təsir hündürlüyü  $h_i = h + r_1(1 - \cos\phi_i)$  ifadəsi ilə təyin edilir.



Şəkil 5. Tunnelin tağ elementinin ayrı-ayrı yüklərin təsirə hesablaması sxemi.

$R_i$  mərkəzi qüvvəsi tunnelin şaquli orta xətti boyunca təsir etdiyi üçün onun təsiri sağ və sol tərəflərdə olan dayaqlar reaksiyaları arasında tam yarıya bölünür. İstənilən  $i$ -ci dayağın göstərdiyi reaksiya qüvvəsi aşağıdakı şəkildə təyin olunur:

$$R_i = R_{si} + R_{ai} \quad (6)$$

burada:  $R_{si}$  – qrunun mühitinin çəkisindən  $i$ -ci dayağa təsir göstərən qüvvənin dayaqdan keçən xəttə proyeksiyası

$$\begin{aligned} R_{si} &= \gamma_q h_i \omega_i \cos\phi_i = \\ &= \gamma_q ab \left[ h + r_1 (1 - \cos\phi_i) \right] \cos\phi_i \end{aligned} \quad (7)$$

$\omega_i$  –  $i$  sayılı dayaqlar reaksiya qüvvəsinin təsir zonasının sahəsi:  $\omega_i = a \cdot b$ ;  $a$  – həmin təsir sahəsinin enidir və qonşu dayaqların arasında olan məsafəyə bərabər götürülür:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\pi r_1}{180} \cdot \phi_1^0 = \frac{\pi \phi_1^0}{180} \times \\ &= \frac{\ell}{2 \sin\phi_N} = \frac{\pi \ell}{360} \cdot \frac{\phi_1^0}{\sin\phi_N}; \quad (8) \\ \frac{\ell}{2} &= r_1 \sin\phi_N; \quad r_1 = \frac{\ell}{2 \sin\phi_N}. \end{aligned}$$

$b$  – tunnel qurğusunun uzunluq istiqaməti üzrə götürülən hesabi məsafədir və müstəvi məsələ üçün  $b=1,0$  m qəbul olunur;  $\phi_i$  – baxılan  $i$  sayılı dayağa tunnelin şaquli mərkəzi xətti ilə tağın mərkəzindən çəkilən radius xətti arasındakı bucaq;  $r_1$  – tağın daxili üzünün radiusudur;  $R_{ai}$  – qrunun mühitinin aktiv təzyiqinin baxılan  $i$ -ci dayağa göstərdiyi təsir qüvvəsinin həmin dayaqla tağın mərkəzindən keçən xəttə olan proyeksiyasıdır:

$$\begin{aligned} R_{ai} &= \gamma \omega_i h_i \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \sin\phi_i = \\ &= \gamma_q ab \left[ h + r_1 (1 - \cos\phi_i) \right] \times \\ &\quad \times \sin\phi_i \cdot \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$\phi$  – tunnel əhatəsindəki qrunun mühitinin daxili sürtünmə bucağıdır. (7) və (9) ifadələrini (6)-da nəzərə alsaq:

$$\begin{aligned} R_i &= \gamma_q ab \left[ h + r_1 (1 - \cos\phi_i) \right] \times \\ &\quad \times \left[ \cos\phi_i + \sin\phi_i \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Tunnelin mərkəzi xətti boyunca dayağın reaksiya qüvvəsi aşağıdakı şəkildə tapılır:

$$R_o = \gamma_q h \omega_i = \gamma_q ab h \quad (11)$$

(10) və (11) ifadələrindən istifadə olunmaqla tağvari elementin yan divarlarla şarnirli birləşən hissələrində qəbul edilən dayaqların reaksiya qüvvələri aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur [3]:

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2} R_o \sin\phi + \sum_{i=1}^N R_i \sin(\phi - \phi_i) = \gamma_q ab \left\{ \frac{1}{2} h \sin\phi + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^n \left[ h + r_1 (1 - \cos\phi_i) \right] \left[ \cos\phi_i + \sin\phi_i \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \right] \sin(\phi - \phi_i) \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$R = \frac{1}{2} R \cos \phi + \sum_{i=1}^N R \cos(\phi - \phi_i) =$$

$$= \gamma_{ab} \left\{ \frac{1}{2} h \cos \phi + \sum_{i=1}^N \left[ h + r (1 - \cos \phi) \right] \right\} \quad (13)$$

$$\left\{ \cos \phi + \sin \phi \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \cos(\phi - \phi_i) \right\}$$

Həmin dayaqların yekun reaksiya qüvvəsi aşağıdakı düsturla hesablanı bilər:

$$R^2 = R_\tau^2 + R_N^2 = \frac{1}{4} R^2 \sin^2 \phi +$$

$$+ R_o \sin \phi_N \sum_{i=1}^N R_i \sin(\phi_N - \phi_i) +$$

$$+ \left[ \sum_{i=1}^N R \sin(\phi - \phi_i) \right]^2 + \frac{1}{4} R^2 \cos^2 \phi \times$$

$$\times \phi + R \cos \phi \sum_{i=1}^N R \cos(\phi - \phi_i) +$$

$$+ \left[ \sum_{i=1}^N R \cos(\phi - \phi_i) \right]^2 = \frac{1}{4} R^2 (\sin^2 \phi -$$

$$- \phi) + \cos^2 \phi + R \left[ \sin \phi \sum_{i=1}^N R \sin(\phi - \phi_i) + \cos \phi \sum_{i=1}^N R \cos(\phi - \phi_i) \right] +$$

$$+ \left[ \sum_{i=1}^N R_i \sin(\phi_N - \phi_i) \right]^2 +$$

$$+ \left[ \sum_{i=1}^N R \cos(\phi - \phi_i) \right]^2; \quad (14)$$

$$H = \frac{1}{2} q r_1 \frac{2 \phi_N c^2 + \phi_N - 3 s c + \alpha \left( \phi_N c^2 - \frac{\phi}{2} - \frac{1}{2} s c \right)}{3} \approx 2 \beta_1 q \ell \quad (16)$$

burada:

$$\ell = 2 r_1 \sin \phi_N; s = \sin \phi_N;$$

$$c = \cos \phi_N; \alpha = \frac{J}{F r_1^2} \quad (17)$$

$\phi_N$  –tunel tağının kənar kəsiklərini mərkəzi

$$R^2 = R \left[ \frac{1}{4} R + \sin \phi \sum_{i=1}^N R_i \sin \right]$$

$$\times (\phi_N - \phi_i) + \cos \phi_N \sum_{i=1}^N R_i \cos(\phi_N - \phi_i) \Big]$$

Hidrotexniki tunelin tağ elementinə yuxarıdan aşağı istiqamətində müntəzəm səpələnmiş  $q$  yükü tağın tam aşırımı boyunca  $\square$  uzunluğunda təsir etdikdə, simmetrik formada yükləməsi  $0,5 \square$  uzunluğu olan məsafədə,  $0,3 \square$  uzunluqlu məsafədə təsir edərsə, həmin hallarda tağ elementinin sol və sağ kənar kəsiklərindəki reaksiya qüvvələrini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

a) Tağ elementinin aşırımının üzərinə təsir göstərən müntəzəm paylanmış  $q$  yükünün təsirindən yaranmış topa qüvvə  $N = q \square$  olacaqdır. Bütün təsir qüvvələrinin  $OY$  oxuna olan proyeksiyalarının cəbri cəmi

tənlikdən şaquli reaksiya qüvvəsini ( $V$ ) tapmaq olar:

$$\sum y = 2V - N = 0;$$

$$2V = N; V = \frac{1}{2} N = \frac{1}{2} q \ell \quad (15)$$

Bütün təsir qüvvələrinin  $OX$  oxuna olan proyeksiyalarının cəminin sıfıra bərabər edilmə şərtindən dayağın üfüqi reaksiya qüvvəsini aşağıdakı düsturla təyin edə bilərik:

nöqtəsi ilə birləşdirən xətlə tunelin şaquli orta xətti arasındakı bucaq;  $\beta_1$  –əmsaldır,  $f/\square$  nisbətindən, yaxud  $\phi_N$  bucağından asılı olaraq cədvəl 1-dən seçmə yolu ilə tapılır;

Cədvəl 1.

| Əmsallar     | $f/\square=1/2$ | $\phi_N=80^\circ$ | $\phi_N=70^\circ$ | $f/\square=1/3$ | $\phi_N=60^\circ$ | $f/\square=1/4$ | $f/\square=1/5$ | $f/\square=1/6$ |
|--------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\beta_1$    | 0,1061          | 0,1322            | 0,1636            | 0,1718          | 0,2032            | 0,2346          | 0,3006          | 0,3611          |
| $\beta_2$    | 0,0731          | 0,091             | 0,1126            | 0,1182          | 0,1398            | 0,1614          | 0,2078          | 0,2484          |
| $\beta_{13}$ | 0,0465          | 0,0588            | 0,0717            | 0,0761          | 0,0888            | 0,1025          | 0,1314          | 0,1578          |

$J$  və  $F$  - qurğu üzrə hesabi uzunluğu  $b=1,0$  m olan tunelin tağ elementinin en kəsiyinin ətalət momenti və həmin kəsiyin sahəsidir.

b) müntəzəm paylanan  $q$  yükünün təsir məsafəsi tağ aşırımının uzunluğunun yarısındanək ( $0,5 \ell$ ) olarsa (şəkil 6, b), dayaq reaksiyalarının qüvvələri aşağıdakı düsturlarla tapıla bilər:

$$\begin{aligned} \sum y &= 2V - 0,5q\ell = 0; \\ V &= \frac{1}{4}q\ell; \quad H = 2\beta_2q\ell \end{aligned} \quad (18)$$

$\beta_2$  – əmsaldır və cədvəl 1-dən tapılır.

c) müntəzəm yayılan  $q$  yükünün təsir məsafəsi tağ aşırımı uzunluğunu  $0,3\ell$  olarsa (şəkil 6, c), dayaqların reaksiya qüvvələrini aşağıdakı ifadələrlə təyin etmək olar:

$$\begin{aligned} \sum y &= 2V - 0,3q\ell = 0; \\ V &= 0,15q\ell; \quad H = 2\beta_3q\ell \end{aligned} \quad (19)$$

$\beta_3$  – əmsaldır və qiyməti cədvəl 1-dən seçmə yolu ilə təyin edilir.

Təzyiqsiz hidrotexniki tunellərin tağ elementinin üstündə birlaylı qrunտ mühiti olarsa (qrunт suyu ilə rastlaşılmazsa) dayaqların reaksiya qüvvələri (12)÷(14), tağ ayrı-ayrı formalı simmetrik və müntəzəm yüklənərsə (16)÷(19) ifadələrindən istifadə olunmaqla tapıla bilər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Məmmədov K.M., Musayev Z.S. Hidrotexniki qurğular. Bakı: "Təhsil" NPM, 2006, 406 s.
2. Засеев А.А., Гудиева И.Н., Виды тоннелей и способы их сооружения. Северо Кавказский Горноинженерный Институт, Владикавказ. 2016
3. Musayev Z.S., Məmmədov K.M., Mahmudov T.M., İsmayilov F.M., Zərbəliyev M.S. Hidrotexniki qurğular. Bakı: "Təhsil" NPM, 2009, 648s.
4. Карпюк В.М., Карпюк И.А. Расчет отделок тоннелей и горизонтальных выработок. Одесса: ОГАСА, 2016. - 147 с. с ил. - ISBN 978-617-7195-21-3.
5. İsayev Ə.M., Məmmədsadıqov H.H. İnşaat

механикасы. Bakı: "Çaşıoğlu" nəşriyyatı, 2018, 498 s.

6. Нгуен Тай Тиен, Карасев М.А., Расчет оптимальных геометрических параметров тоннеля квазипрямоугольного поперечного очертания по силовому фактору. Санкт-Петербург, 2021.

**Quliyev Ə.M.**

**Maili boru kəmərlərinin dayanıqlıq məsələlərinin və gərginlikli-deformasiya vəziyyətinin tədqiqi**

## XÜLASƏ

Boru kəmərlərinin gərginlikli-deformasiya vəziyyətinin tədqiqi üçün qrunт mühiti ilə qarşılıqlı əlaqədə olduqda statiki təsirlərə hesablanması tələb olunur. Müxtəlif en kəsikli basqılı və basqısız boru kəmərlərinin statiki təsirlərə hesablanması onlara birinci və ikinci növ dayaqların reaksiya qüvvələri ilə əvəzlənməsi üsulundan istifadə edilmişdir. Həmin boruların tağ-düzbucaqlı və həlqəvari en kəsikli tipləri nəzərdən keçirilmişdir. Tağ və düzbucaqlı en kəsikli boru elementlərinin birləşmə yerlərində müxtəlif yükləmədə dayaq reaksiyaları təyin edilmişdir.

**Açar sözlər:** boru kəməri, statiki təsir, reaksiya qüvvələri, tağ, düzbucaqlı nov, qrunт mühiti.

**Гулиев А.М.**

**Разработка устойчивости и напряженно-деформационного состояния наклонного трубопровода**

## РЕЗЮМЕ

Напряженно-деформированное состояние трубопроводов контактируемые с грунтовой средой сводится к статическому расчету. Рассмотрены метод замены статической нагрузки силы реакции воздействия грунтовой среды в напорных и безнапорных трубопроводах на опоры первого и второго типов. Рассмотренные трубопроводы представлены в форме прямоугольной арки и круглого сечения. Назначены опорные

реакции в местах соединений элементов арки и прямоугольного латка.

**Ключевые слова:** трубопровод, статической воздействие, сила реакции, арка, прямоугольной лоток, грунтовая среда.

**Guliyev A.M.**

**Calculation of stability and stress-strain state of an inclined pipeline**

**SUMMARY**

The effect of static load on pressure and non-pressure hydraulic tunnels is changed

from the first and second types of reaction force to the supports. These tunnels are drawn in the shape of an arch-rectangular and annular in section. Assigned support reactions at the points of attachment of the elements of the arch and a rectangular patch.

**Key words:** pipeline, static impact, reaction force, arch, rectangular tray, soil environment.

*Məqaləyə AzMİU-nun "Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi" kafedrasının dosenti, t.ü.f.d. Ə.C. Məmmədov rəy vermişdir.*