

<http://doi.org/10.58225/sw.2025.1-125-131>

VANT KÖRPÜSÜNÜN TROSLARININ MÖHKƏMLİK VƏ DÖZÜMLÜLÜYÜNÜN TƏYİN EDİLMƏSİ

Məstanzadə Nicat Salam oğlu- t.ü.f.d., dosent, Bakı Mühəndislik Universiteti,
nijat.mastan@gmail.com

Rüstəmli Tural Mübariz oğlu– doktorant, baş konstruktor, Hydrotrans Engineering MMC,
rustamli.tural.90@gmail.com

Mehtiyev Yaqub Ələvsət oğlu– doktorant, Hydrotrans Engineering MMC,
yaqub.mextiyev@gmail.com

Xülasə. Məqalədə vant körpüsünün vantlarının dartılma deformasiyası araşdırılmışdır. Misal üçün Ağ Şəhər piyada keçidi götürülmüşdür. Vant troslarının möhkəmlik və dözümlülük hesablaması aparılmışdır. Buradaki yaranan maksimal gərginlik hesablanmışdır. Yüksək külək təzyiqinə məruz qalan piyada keçidinin vantlarının sayının azaldılması tövsiyyə edilmişdir. Körpünün möhkəmlik, sərtlik, dözümlülük və dinamik dayanıqlıq hesablamalarla şərtləri yoxlanılmışdır. Körpünün deformasiya sxemi çıxarılmışdır. Körpü tirinin sərtliyi keçərli deyil. Buna görə vantların dartılma qüvvəsini artırmaq və keçid tirin üzərinə düşən beton qatını azaltmaq gərəkdir.

Açar sözlər: vant, dartılma, gərginlik, möhkəmlik, dözümlülük

DETERMINATION OF STRENGTH AND ENDURANCE OF CABLE OF CABLE-STAYED BRIDGE

Mastanzadeh Nijat Salam- PhD in tech.sc., ass.prof., Baku Engineering University,
nijat.mastan@gmail.com

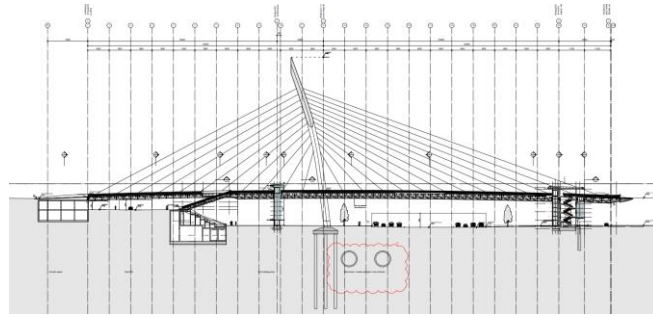
Rustamli Tural Mubariz- PhD Candidate, Chief Designer, Hydrotrans Engineering Ltd.,
rustamli.tural.90@gmail.com

Mehtiyev Yagub Alovzat- PhD Candidate, Hydrotrans Engineering Ltd.,
yaqub.mextiyev@gmail.com

Abstract. The paper investigated the tension strain of the cable-stayed bridge. For example, the White City pedestrian crossing was taken. Calculations of the strength and endurance of cable cables were carried out. The maximum stress occurring here is calculated. It was recommended to reduce the number of baths of a pedestrian crossing exposed to high wind pressure. The bridge conditions were tested with strength, stiffness, endurance and dynamic stability calculations. The bridge deformation scheme has been removed. The stiffness of the bridge beam is impermeable. Therefore, it is necessary to increase the tension of the cranes and reduce the concrete layer falling on the transition beam.

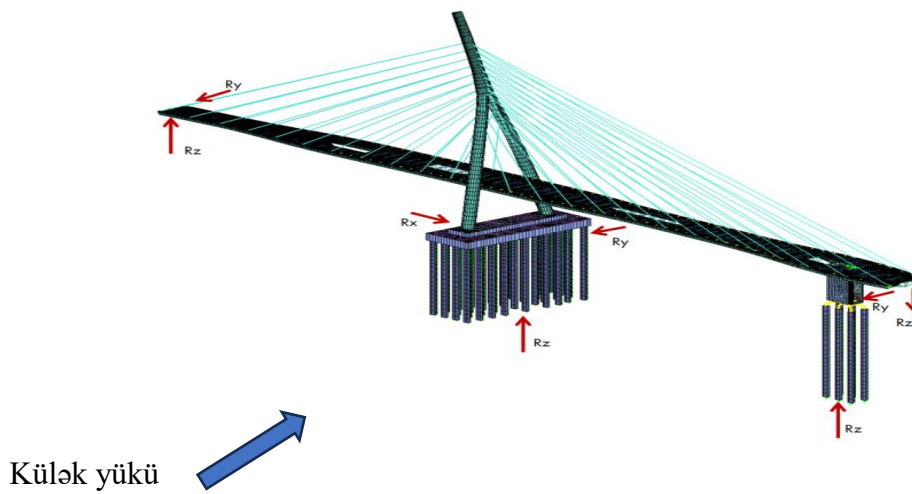
Keywords: Cable, tension, stress, strength, endurance

Giriş. Şəhər infrastrukturunun genişlənməsi və rifahı üçün görülən inşaat işləri şəhərin yol ötürücüləri və piyada keçidlərinin tikintisi ilə də aparılır. Bakının Ağ Şəhər bölgəsində inşa olunan vantlı piyada keçidi bunun bir nümunəsidir. Körpü bir pylonlu, metal tir yol ötürücüsü və iki istiqamətdə vant sistem bağlantılarıyla layihələndirilmişdir. Körpüyə iki yerdən pilləkən qurğusu nəzərdə tutulub. Layihəsi “Hydrotrans Engineering” MMC şirkəti, inşaatı isə “Evrason” ASC tərəfindən aparılır. Körpünün yerləşdiyi yerin şəhərin Xəzər limanına yaxın, küləkli bölgədə olduğunu və körpü pylonunun hündürlüyünü (75 m) nəzərə alaraq körpüyə təsir edən dinamik qüvvələrin və bu səbəbdən vantların gərginliyinin öyrənilməsi vacib məsələyə çevrilir. Körpünün boyuna kəsiyi və planda görünüşü aşağıdakı şəkildə göstərilmişdir (bax şəkl.1).

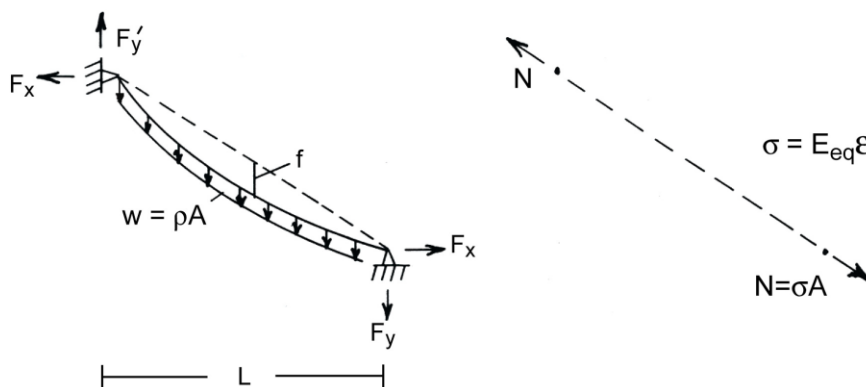


Şəkil 1. Ağ Şəhər piyada körpüsünün boyuna kəsik görünüşü

Körpü troslarına təsir edən qüvvələr. Vant körpünün troslarına öz ağırlığından başqa, keçid tirinin ağırlığı, trosun üzərinə düşən qar və buzlama ağırlığı, külək yükü, trosun öncədən gərginləşmə qüvvəsi təsir edir (şəkil 2).



Şəkil 2. Ağ Şəhərdəki vantlı piyada keçidinin ümumi görünüşü və külək təzyiqinin təsiri

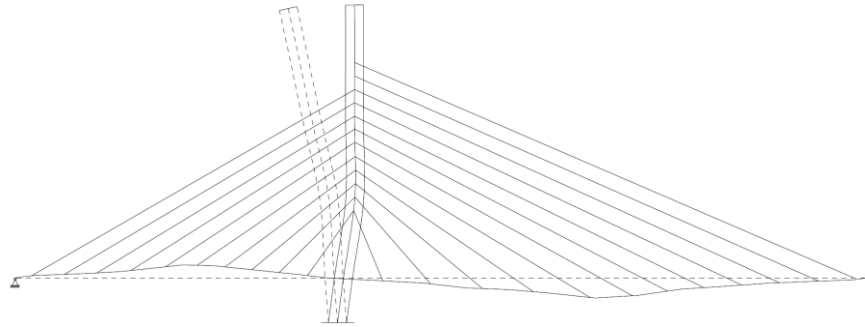


Şəkil 3. Bir vant trosuna düşən xarici və daxili qüvvələrin görünüşü: F_x və F_y -vantın dartılma qüvvəsinin üfüqi və şaquli proyeksiyaları; f - vantın əyimi; w – vantın ağırlıq yükü; E_{eq} - ekvivalent elastiklik modulu; N –vantın dartılma qüvvəsi

Körpüyə təsir edən daimi yük, körpü tirinin üzərində beton qat ağırlığı $p=1200$ tondur. Müvəqqəti yük piyadaların ağırlığı $q=400 \text{ kg/m}^2$ edər. Körpünün, yəni körpü tirinin şaquli əyimi 1.1 və 12.1 oxlar arasındadır, bu da $f_{\max}=398 \text{ mm}$ edər. Maksimal yolverilən əyim $L/400$ keçməməlidir. O zaman sərtlilik şərtini yoxlayaq:

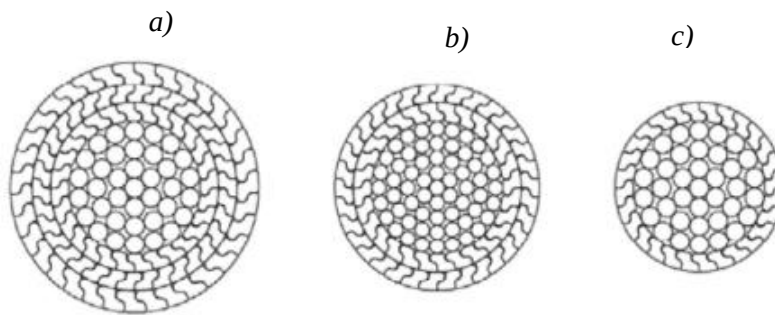
$$\frac{f_{max}}{L} = \frac{398}{105600} = 0,0037 \text{ mm} \leq [f] = \frac{1}{400} = \frac{1}{400} = 0,0025 \quad (1)$$

Sərtlilik şərti ödənmir.



Şəkil 4. Körpünün deformasiya şəkl

Körpüdə üç en kəsik ölçülü vant istifadə olunmuşdur: Ø64mm, Ø52mm və Ø40mm. Bunların en kəsiklərinin sahəsi ardıcılıqla $A_1=2789 \text{ mm}^2$; $A_2=1841 \text{ mm}^2$ və $A_3=1077 \text{ mm}^2$ (şəkil 5) təşkil edir.



Şəkil 5. Vant troslarının en kəsikləri: a) Ø64 mm ; b) Ø52 mm; c) Ø40 mm

Vantların sərtliyi elastiki sərtlilik K_E və həndəsi sərtlilik K_g ilə hesablanır. Çünki vantların hər bir səbəbdən gərginliyinin düşməsi vantların əyiminə gətirib çıxarır. Bu da vantın sallanmasına səbəb olur.

$$K_i = K_E + K_g = \frac{EA_i}{l_0} \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} + \frac{N}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada E – vant materialının elastiklik modulu; A_i – i -vant elementinin en kəsik sahəsi; l_0 – deformasiya olmayan vantın uzunluğu; $\cos \theta$, $\sin \theta$ – vantın sərtlilik tirinə olan bucaq funksiyası; N – boyuna dartılma qüvvəsi;

Trosun möhkəmlilik hesablaması. Trosda yaranan dartılma qüvvəsini hesablamaq üçün körpüyə düşən daimi və müvəqqəti qüvvələri təyin edək. Trosun en kəsik sahəsini $A_1=2789 \text{ mm}^2$, $A_2=1841 \text{ mm}^2$, və $A_3=1077 \text{ mm}^2$ nəzərə alaraq trosun dartılma qüvvəsi ardıcıl olaraq $\Sigma N_1= 14\,142 \text{ kN}$, $\Sigma N_2= 17900 \text{ kN}$, $\Sigma N_3= 1988 \text{ kN}$ təşkil edir. Trosun hesabi müqaviməti olar:

$$R_{dh} = k \frac{\Sigma P}{A \gamma_m} \quad (3)$$

Burada $k=0,87$ – trosun aqreqat müqavimət əmsalı; $\gamma_m=1,6$ etibarlılıq əmsalı. Trosun möhkəmlilik şərti yoxlanılır:

$$\frac{N}{A_k} \leq R_{dh} m_1 m_2 \quad (4)$$

Burada $m_1=0,8$ körpünün iş şəraiti əmsalı; $m_2=1,0$ trosun iş şəraiti əmsalı; N -trosda yaranan maksimal dartılma qüvvəsi. Hesablama zamanı dartılma qüvvələri məqalədə təqdim olunan Cədvəl 1-dən götürülmüşdür. Hesablamanı yerinə yetirəndən sonra alarıq:

$$\frac{N}{A_k} = \frac{2(678+950+952+940+960+1020+1049+672)}{16 \times 2789} = \frac{14142000}{44624} = 316 \text{ mPa} \leq R_{dh} m_1 m_2 = 2757 \times 0,8 \times 1,0 = 2205 \text{ mPa}$$

$$\text{Ø52mm tros üçün } R_{dh} = 5287 \text{ mPa}$$

$$\frac{N}{A_k} = \frac{2(598 + 644 + 604 + 679 + 741 + 529 + 760 + 828 + 968 + 853 + 479 + 506)}{26 \times 1841} = \frac{17900000}{47866} = 374 \text{ mPa} \leq R_{dh} m_1 m_2 = 5287 \times 0,8 \times 1,0 = 4229 \text{ mPa}$$

$$\text{və Ø40mm tros üçün } R_{dh} = 1004 \text{ mPa}$$

$$\frac{N}{A_k} = \frac{2(399 + 294 + 301)}{6 \times 1077} = \frac{1988000}{6462} = 308 \text{ mPa} \leq R_{dh} m_1 m_2 = 1004 \times 0,8 \times 1,0 = 803,4 \text{ mPa}$$

Möhkəmlilik şərti troslar üçün ödənilir.

Vant körpülərin yüklətmə qabiliyyəti vantların zədə alması səbəbindən düşə bilər. Dünya praktikasında üç növ vant istifadə edilir: 1 - parallel kabelli (*PSC-parallel strand cable*); 2 - ayrıca toxunan kabellərlə qurulmuş (*PWC-parallel wire cable*); və 3 - bağlı (spiral) kabellərlə metal örtüklü vantlar. Vant sistemlərindəki polad tellər aşağıdakı şərt əsasında seçilir:

$$[N] \geq P[n] \quad (5)$$

Burada F - telin sertifikat üzrə qırılma həddi; P - layihə üzrə telin maksimal dartılma qüvvəsi; $[n]$ - normativ möhkəmlilik əmsalı, tipik vantlar üçün $[n]=5,0 - 6,5$ sm təyin edilə bilər. Telin dartılma qüvvəsi N vant içində tellərin toplam dartılma qüvvəsinin $k=0,8-0,9$ əmsalına vurmaqla təyin edilir:

$$[N] = kA\sigma_{th} \quad (6)$$

Burada A - vantdakı bütün tellərin en kəsiyi; σ_{th} - tel materialının dartılma möhkəmliyidir. Vant trosun içində bir telin qırılmasını görmək olmur. Bunu ancaq telin dartılma müqavimətinin düşməsi ilə müşahidə etmək olar. İstismar zamanı vant troslarının yüklətmə qabiliyyəti fərqli zədələrin təsirindən azalır. Faktiki vant trosunun möhkəmlilik dərəcəsi

$$n = \frac{\bar{F}}{P} \quad (7)$$

kimi göstərilə bilər. Burada $\bar{N}$ - zədəli trosun dartılma qüvvəsi, $\bar{N} = k\bar{A}\sigma_{th}$; $\bar{A}$ - zədəli trosun en kəsik sahəsidir. Zədəli trosun en kəsik sahəsinin zədəsiz trosun en kəsik sahəsindən (A) az olduğundan bu fərq aşağıdakı düsturla tənzimlənir:

$$\Delta A = \left(\frac{\Delta A_1}{100}\right) A + \Delta A_2 \quad (8)$$

Burada ΔA_1 - faiz şəklində təyin edilən diaqnostik göstərici; ΔA_2 - bütün qırılan, zədə alan vantların toplam en kəsiyi. Beləliklə, qalıq möhkəmlilik əmsalı

$$n = \frac{k(A-\Delta A)\sigma_{th}}{P} \quad (9)$$

kimi göstərilə bilər.

Vantların əyimi dartılma səbəbindən çox cüzi olduğundan nəzərə alınmır. Amma bağlantı yerlərində əyici momentlər yarana bilər. Zaman içində n əmsalı layihədəki normativ əmsaldan $[n]$ az olur. Və hər bir vant trosu aşağıdakı şərtlə yoxlanılır:

$$\min n \geq n^* \quad (10)$$

Bu şərtin ödənməməsi trosun işləməməsi anlamına gəlir.

Uzun zaman istismarda olan polad trosar və vantlarda sürünmə deformasiyası, relaksasiya yarana bilər. Tros uzanır və bu səbəbdən dartılma qüvvəsi düşür. Polad vantların boyuna sürünməsi aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\epsilon_{pl,x} = \frac{0,001\sigma}{\sigma_{th}} \times e^{2\left(\frac{\sigma}{\sigma_{th}}\right)^{2,4}} \quad (11)$$

Burada σ - normativ daimi yükdən + 1/3 normativ müvəqqəti yükdən yaranan gərginlikdir. Polad trosarın möhkəmlilik təhlili aşağıdakı imkanları yaradır:

- Trosun zaman içində təmiri üçün qalan resursunun təyini;

- Trosun istismar müddətinin uzanmasının təyini;
- Trosun yenidən yoxlanması və yerində cihazla diaqnostika tarixinin müəyyən edilməsi və normativ qalıq əmsalının təyin edilməsi.

Trosun dözümlülük hesablaması. Trosun dözümlülük hesabı aşağıdakı düsturla aparılır:

$$\sigma_{max} \leq m_1 \gamma_{ws} R_{dh} m \quad (12)$$

Burada σ_{max} - trosdaki maksimal normal gərginlik

$$\sigma_{max} = \frac{N^{max}}{A_k} \quad (13)$$

$m_1=0,83$ trosun dözümlülük hesabında iş şəraiti əmsalı; γ_{ws} - gərginliyin dəyişməsinə nəzərə alan əmsal. Dözümlülük hesabında trosdaki maksimal dartılma qüvvəsi $N^{Bmax}=1294$ kN qəbul edilmişdir. Müvəqqəti yüklərdən yaranan dartılma qüvvəsi isə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$N^{BP,max} = v^B \omega_{max} \quad (14)$$

Burada v^B - dözümlülük hesablamasında ekvivalent qüvvə; ω_{max} - nüfus xətlərin sahəsi. O zaman trosdaki maksimal gərginlik olar:

$$\sigma_{max} = \frac{1294000}{2789} = 464 \text{ mPa}$$

Dəyişən gərginlik asimmetrik əmsalı

$$\rho = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \quad (15)$$

kimi hesablanır.

Eyni proseduru minimal gərginlik üçün aparaq. Onda $\sigma_{min}=207,5$ Mpa olar. Və asimmetrik əmsal $\rho=0,45$ olar.

Beləliklə trosun dözümlülük şərtini yoxlayaq.

$$\sigma_{max} = 464 \text{ mPa} \leq m_1 \gamma_{ws} R_{dh} m = 0,83 \times 0,674 \times 1795,2 \times 1 = 1004,27 \text{ mPa}$$

Dözümlülük şərti ödənilir.

Vantların işarələnməsi, en kəsiklərinin diametri və maksimal dartılma qüvvələri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Vantlarda daxili qüvvələrin hesablanması

Van tlar	İndeksasiya	Vantın Tipi	Nominal Diametr	Maks. Qüvvəl ər N_{d1}	Daimi Yükdən Yaranan Qüvvələr	Böhran Qüvvələri N_{d2}	Hesabi Qüvvələr N_{d} N_{d1} +1.5(N_{d2} -	Utilizasiya Nisbəti
		-	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
1	1-01	VSS-3	64	678	296	849	934	0.50
	1-02	VSS-3	64	678	296	849	934	0.50
2	2-01	VSS-2	52	598	589	463	598	0.48
	2-02	VSS-2	52	598	598	463	598	0.48
3	3-01	VSS-2	52	644	642	382	644	0.52
	3-02	VSS-2	52	644	644	382	644	0.52
4	4-01	VSS-2	52	604	604	597	604	0.49
	4-02	VSS-2	52	604	602	597	604	0.49
5	5-01	VSS-2	52	679	591	781	832	0.67
	5-02	VSS-2	52	679	584	781	832	0.67
6	6-01	VSS-3	64	950	719	1238	1382	0.73
	6-02	VSS-3	64	950	754	1238	1382	0.73
7	7-01	VSS-3	64	952	686	1283	1449	0.77
	7-02	VSS-3	64	952	703	1283	1449	0.77
8	8-01	VSS-3	64	940	657	1294	1471	0.78
	8-02	VSS-3	64	940	659	1294	1471	0.78
9	9-01	VSS-2	52	741	532	905	987	0.79
	9-02	VSS-2	52	741	524	905	987	0.79
	10-01	VSS-1	40	399	399	455	483	0.66

10	10-02	VSS-1	40	399	397	455	483	0.66
11	11-01	VSS-1	40	294	293	243	294	0.40
	11-02	VSS-1	40	294	294	243	294	0.40
13	13-01	VSS-1	40	301	301	281	301	0.41
	13-02	VSS-1	40	301	296	281	301	0.41
14	14-01	VSS-2	52	529	477	701	787	0.63
	14-02	VSS-2	52	529	489	701	787	0.63
15	15-01	VSS-2	52	760	621	823	854	0.69
	15-02	VSS-2	52	760	603	823	854	0.69
16	16-01	VSS-3	64	960	641	1235	1373	0.73
	16-02	VSS-3	64	960	684	1235	1373	0.73
17	17-01	VSS-3	64	1020	630	1269	1394	0.74
	17-02	VSS-3	64	1020	661	1269	1394	0.74
18	18-01	VSS-3	64	1049	636	1259	1364	0.72
	18-02	VSS-3	64	1049	641	1259	1364	0.72
19	19-01	VSS-2	52	761	718	833	869	0.70
	19-02	VSS-2	52	761	713	833	869	0.70
20	20-01	VSS-2	52	828	828	725	828	0.67
	20-02	VSS-2	52	828	824	725	828	0.67
21	21-01	VSS-2	52	968	968	569	968	0.78
	21-02	VSS-2	52	968	965	569	968	0.78
22	22-01	VSS-2	52	853	853	409	853	0.69
	22-02	VSS-2	52	853	851	409	853	0.69
23	23-01	VSS-2	52	479	479	417	479	0.38
	23-02	VSS-2	52	479	478	417	479	0.38
24	24-01	VSS-3	64	672	606	781	835	0.44
	24-02	VSS-3	64	672	608	781	835	0.44
25	25-01	VSS-2	52	506	192	593	637	0.51
	25-02	VSS-2	52	506	187	593	637	0.51

Nəticələr.

1. Vantın içindəki tellərin qırılması vantların gərginliyini aşağı salır. Bu səbəbdən vantların dartılma qüvvəsi düşür, tros sallanır və sərtlik tirinin əyimi artır;
2. İstismar zamanı körpü diaqnostikası məqsədilə vant tellərinin yerində cihazla gərginliyinin yoxlanılması mütləqdir;
3. Vantların qırılması və ümumi sistemdən çıxması körpü qurğusunun gərginlik-deformasiya halını dəyişdirir;
4. Külək təzyiqinə gəldikdə, vantlar yaxın yerləşdiyinə görə yelkən kimi işləyir və ona küləyin təsiri artır. Az sayda daha qalın vantlar çox sayda kiçik en kəsikli vantlardan daha sərfəlidir. Çünki küləyin təzyiqinə perpendikulyar olan səth sahəsi kəskin azalır.
5. Körpü vantlarının möhkəmlik və dözümlülük şərtləri ödənsədə, körpü tirinin sərtliyi keçərli deyil. Buna görə vantların dartılma qüvvəsini artırmaq və keçid tirin üzərinə düşən beton qatını azaltmaq gərəkdir.

İstinadlar

1. Yang, F., Zhao, H., A.L., & Fang, Z. (2023). Experimental-numerical analysis on the cable vibration behavior of a long-span rail-cum-road cable-stayed bridge under the action of high-speed trains. Applied Science, 13(11082). <https://doi.org/10.3390/app13111082>
2. Кадисов, Г.М., & Чернышев, В.В. (2011). Динамика вантового моста после обрыва ванты. Вестник Сиб. АДИ, 4(22)
3. Горелов, С.Н., Жаданов, В.И., & Аркаев, М.А. (2012). Результаты численных исследований вантового пешеходного моста через реку Урал. Вестник ОГУ, 9(145), Сентябрь
4. Козьмин, Н.А. (2012). О некоторых способах определения усилий регулирования в вантово-балочных мостах. Вестник СГУПС, 28

5. Jakiel, P., & Marico, Z. (2017). Estimation of cables tension of cable-stayed footbridge using measured natural frequencies. MATEC Web of Conferences, 107, 00006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710700006>
6. Dehghani, H., Dehghani, E., Sharifi, M., & Vaer, S.R. (2024). Effect of initial cable tension on cable-stayed bridge performance and a new construction method. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 12(4), 136-154
7. AzDTN 2.1-1. (2015). Yüklər və təsirlər. Bakı
8. Baku White City pedestrian bridge. (2022). Azerbaijan Structure Design Report. CD-00 Superstructure design report. UN studio, Stuttgart
9. AzDTN 2.05.03.84. (2011). Körpülər və borular. Bakı.
10. Papadopolus, P.G., Arethas, J., & Lazaridis, P. (2005). Numerical study on the behavior of cables of cable-stayed bridges. Earthquake Resistant Engineering. WIT Transaction on the Built Environment, 81

References

1. Yang, F., Zhao, H., A.L., & Fang, Z. (2023). Experimental-numerical analysis on the cable vibration behavior of a long-span rail-cum-road cable-stayed bridge under the action of high-speed trains. Applied Science, 13(11082). <https://doi.org/10.3390/app13111082>
2. Kadisov, G.M., & Chernychev, V.V. (2011). Dynamics of a cable-stayed bridge after the cable break. Vestnik Sib. ADI, 4(22)
3. Gorelov, S.N., Zhadanov, V.I., & Arkaev, M.A. (2012). Results of numerical studies of a pedestrian cable-stayed bridge across the Ural River. Vestnik OGU, 9(145), September
4. Kozmin, N.A. (2012). On some methods of determining the regulation forces in cable-beam bridges. Vestnik SGUPS, 28
5. Jakiel, P., & Marico, Z. (2017). Estimation of cable tension of a cable-stayed footbridge using measured natural frequencies. MATEC Web of Conferences, 107, 00006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710700006>
6. Dehghani, H., Dehghani, E., Sharifi, M., & Vaer, S.R. (2024). Effect of initial cable tension on cable-stayed bridge performance and a new construction method. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 12(4), 136-154
7. AzDTN 2.1-1. (2015). Loads and effects. Baku.
8. Baku White City pedestrian bridge. (2022). Azerbaijan Structure Design Report. CD-00 Superstructure design report. UN studio, Stuttgart
9. AzDTN 2.05.03.84. (2011). Bridges and pipes. Baku.
10. Papadopolus, P.G., Arethas, J., & Lazaridis, P. (2005). Numerical study on the behavior of cables of cable-stayed bridges. Earthquake Resistant Engineering. WIT Transaction on the Built Environment, 81

Məqaləyə istinad: Məstənzadə, N.S., Rüstəmli, T.M., Mehtiyev, Y.Ə. (2025). Vant körpüsünün troslarının möhkəmlilik və dözümlülüyünün təyin edilməsi. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzMİU, 1, 125-131

For citation: Mastanzade, N.S., Rustamli, T.M., Mehtiyev, Y.A. (2025). Determination of strength and endurance of cables of a cable-stayed bridge. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzUAC, 1, 125-131

Redaksiyaya daxil olma/Received 11.10.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 11.01.2025