

UDK.624.012.45

KOMPOZIT MATERIAL BILAN KUCHAYTIRILGAN TEMIRBETON TO‘SIN KONSTRUKSIYASINI MUSTAHKAMLIGINI TADQIQ QILISH

dotsent S.A.Yusufxo‘jaev, assistent D.A.Samadova
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, O‘zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada kompozit material bilan kuchaytirilgan va kuchaytirilmagan to‘sinlar chegaraviy holatlar usulining birinchi guruhi bo‘yicha hisoblandi va olingan qiymatlar eksperimental ma’lumotlar bilan solishtirildi.

Kalit so‘zlar: chegaraviy holatlar, deformatsiya, bikrlilik, egilish, kompozit material, to‘sin, konstruksiya

Annotation: In this article, beams were calculated using the method of limit states of the first group, reinforced and not reinforced by composite materials, and the obtained values were compared with experimental data.

Key words: limit states, deformation, stiffness, bending, composite material, beam, structure

Bino va inshootlarni ekspluatatsiya qilish jarayonida ko‘plab omillar qurilish konstruksiyalarini konstruktiv jixatdan xossalarining yomonlashishiga olib keladi. Ayniqsa, bu holat temirbeton konstruksiyalarda ko‘p kuzatiladi. Amaliyot temirbeton konstruksiyalarining konstruktiv xossalarining yomonlashishiga korroziya sabab bo‘lishini ko‘rsatadi. Mazkur shikastlanishlar, mos tarzda, temirbeton konstruksiyalarini tayyorlash (betonning himoya qatlamini kichrayishi), shikastlanishi jarayoni kechishi oqibatida betonning armaturaga nisbatan himoya xossalarini yo‘qotilishi bilan belgilanadi. Zanglash natijasida yuzaga keladigan shikastlanishlar temirbeton konstruksiyalarini umrboqiyiligini kamaytiradi, bu holat esa o‘z navbatida qurilish obektlarining xavfsiz ekspluatatsiya qilish vaqtini kamaytiradi. Kuchaytirishning kompozit tizimlari oddiy sharoitlarda ham seysmik faol xududlarda ham a’lo natijalar ko‘rsatmoqda. Usulning boshqa usullarga nisbatan afzalligi – sodda, oddiyligi va kam mehnat sarflanishini talab etishidir.

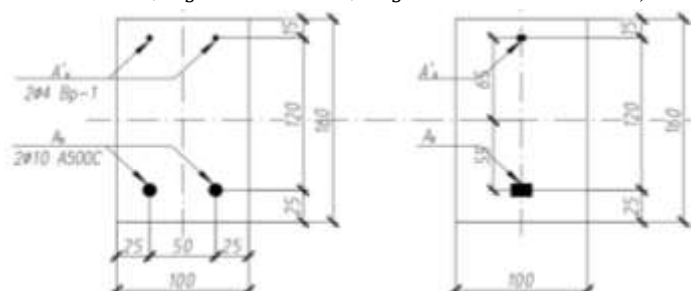
Kompozit materiallari bilan tashqi tomondan kuchaytirish tizimining afzalliklari:

- kompozitli tolalarning uzilishga yuqori chegaraviy mustahkamligi;
- konstruksiya holatining mavjud emasligi;
- bardoshlilikning yuqori chegarasi;
- tekislanayotgan qurilish konstruksiyalariga minimal yuk ta’sir etishi;
- kuchaytirilayotgan elementlar montajining tezligi va osonligi (tez va oson montaj qilinishi);
- konstruksiyaning kuchaytirilayotgan elementlarining estetik tashqi ko‘rinishining saqlab qolinishidir.

Tadqiqot uchun temirbeton to‘sin 100x160x1800 mm o‘lchamda, V20 sinfli betondan tayyorlandi. Na’munalar qiya yoriqlar paydo bo‘lishining oldini olish va normal kesimlarning minimal mustahkamlanishini ta’minlash uchun armaturalangan. To‘sin quyidagicha armaturalangan (1-rasm):

- bo‘ylama ishchi sterjen armatura 2Ø10 A – III;
- bo‘ylama konstruktiv sim 2Ø4 Vr-1 ($R_{sc} = 365 MPa, A_s' = 25 mm^2, E_s' = 1.7 \cdot 10^5 MPa$);
- ko‘ndalang armatura Ø6 A – I.

1-rasm. Temirbeton to‘sin kesimi

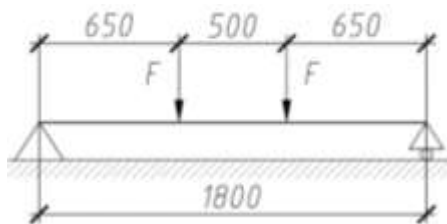


Tajriba natijasiga ko‘ra o‘rnatilgan ishchi armaturalarning xususiyatlari:

- oquvchanlik chegarasi $f_{yd} = 517,2 \text{ MPa}$
- chegaraviy mustahkamligi $f_{yd} = 517,2 \text{ MPa}$
- elastiklik moduli $E_s = 20,5 \cdot 10^4 \text{ MPa}$
- oquvchanlik chegerasiga muvofiq olinadigan maksimal deformatsiya $f_{yd} - \varepsilon_{yd} = 242,7 \cdot 10^{-5}$.

Kuchaytirilmagan beton sinovdan o'tqazishdan (55-216 kun) oldin quyidagi hususiyatlarga ega edi: $f_{cd} = 21,69 \text{ MPa}$; $f_{ck,cube} = 26,29 \text{ MPa}$; $E_d = 27,3 \times 10^3 \text{ MPa}$. Kuchaytirgandan keyin (336-498 kun) betonning hususiyatlari biroz o'zgardi: $f_{cd} = 24,31 \text{ MPa}$; $f_{ck,cube} = 29,53 \text{ MPa}$; $E_d = 23,95 \times 10^3 \text{ MPa}$ [2].

Bir biridan 500 mm masofada ikkita simmetrik to'plangan kuch bilan yuklangan, 1800 mm uzunlikdagi bir oraliqli erkin ikki tayanchga tayangan to'sinning statik sxemasi qabul qilingan. Statik sxema 2-rasmda ko'rsatilgan.



2-rasm. Temirbeton to'sinning statik sxemasi

Tadqiqot bosqichlari:

1. Tadqiqotning birinchi bosqichi to'sinni kuchaytirmasdan sinovdan o'tkazish va uni yukning foydalanish chegarasigacha etkazish (BO-2). Bunday holat betonning cho'zilgan zonasida ishchi armatura bilan bir joyda kengligi 0,4 mmdan katta bo'lgan normal yoriq ochilishiga yoki nisbiy egilishning qiymati 1/150 dan oshishiga olib keladi.

2. Avval sinovdan o'tkazilgan to'sin Sika CarboDur S-512 (1-jadval) lentasi bilan kuchaytirilgandan so'ng, u bir marta statik yuk ta'sirida emirilgunga qadar tekshirilgan (BO-2 (P1)) [2].

3. To'sinlardan biri (P1) Sika CarboDur S-512 kompozit lentasi bilan sinovdan o'tkazilmasdan mustahkamlandi, natijada emirilishga olib keldi.

Sika CarboDur S-512 tasmasining geometrik xarakteristikalari

1-jadval

Turi	Kengligi, mm	Qalinligi, mm	Ko'ndalang kesimi, mm ²
Sika CarboDur S-512	50	1,2	60

Sika CarboDur S-512 ning mustahkamlik va deformatsiya hususiyatlari: Elastiklik moduli $E_f = 1,65 \times 10^5 \text{ MPa}$, Cho'zilishga bo'lgan mustahkamligi $R_f = 2800 \text{ MPa}$.

2-jadvalda kompozit materiallar yordamida kuchaytirilgan to'sinni bir marta yuklab sinash natijasida uning yuk ko'tarish xossalari kuchaytirilmagan to'sinni sinash natijalari bilan solishtirilganida oshganligi keltirilgan. Bundan tashqari, mazkur jadvalda namuna qabul qila olgan maksimal eguvchi moment qiymati keltirilgan.

Kuchaytirilgandan keyig bir martalik yuk bilan sinovdan o'tkazilgan to'sinning yuk ko'tarish qobiliyatining ortishi

2-jadval

To'sinlarning nomlanishi	Kuchaytirilgan element ko'ndalang kesimining yuzasi	Tashqi kompozit armaturaning armaturalash foizi	Eksperimental eguvchi moment		Kuchaytirish samarasi
	$A_f, \text{ mm}^2$	$\mu_f, \%$	$M_{ULS}^{exp}, \text{ kNm}$	$M_{SLS}^{exp}, \text{ kNm}$	$\delta_{SLS}^{exp}, \%$
BO-2	-	-	-	10,24	-
BO-2 (P1)	60	0,414	18,53	12,09	18,1
P1	0,6	0,414	19,87	16,12	57,4

Tasmaning to'sin tanasidan uzilishidan oldingi yuzaga kelgan maksimal deformatsiyasi qiymati $500 \cdot 10^{-5}$ atrofida bo'lgan.

Kuchaytirilmagan barcha sinov namunalari, eguvchi moment ta'siridan to'sindagi buzilish normal kesimlarda paydo bo'ladigan, qilib loyihalangan. Kuchaytirish tizimi ko'ndalang

kesimning siqiluvchi va cho‘ziluvchi qismlari teng mustahkamlikka ega bo‘lishi shartidan kelib chiqib loyihalangan. Tasmalar yordamida loyihalangan namunalar quyidagicha buzilgan: chegaraviy yuk ta’sirida tasma kuch qo‘yilgan joy va tayanch orasidagi joyda uzilgan.

Birinchi guruh chegaraviy holati bo‘yicha hisoblash. To‘sinning mustahkamlik va geometrik xarakteristikalarini eksperimental ma’lumotlar (3-jadval) asosida haqiqiy modelga yaqinlashtirib qabul qilindi:

Temirbeton to‘sin va ugleplastik lentaning hisobiy ko‘rsatkichlari

3-jadval

b, mm	h, mm	a, mm	a', mm	R_b, MPa	$E_b \cdot 10^4, MPa$	R_s, MPa	$E_s \cdot 10^5, MPa$
100	160	25	15	21,69/24,31	2,73/2,395	517,2	2,05
A_s, mm^2	R_{sc}, MPa	$E_s' \cdot 10^5, MPa$	A_s', mm^2	R_{fn}, MPa	$E_f \cdot 10^5, MPa$	A_f, mm^2	
157,1	365	1,7	25,1	2800	1,65	60	

Izoh: R_b va E_b ning qiymatlari betonning yoshiga ko‘ra qo‘llaniladi, “/” orqali yozilgan ya’ni “55-216 kun/336-498 kun”.

Quyida kompozit material bilan kuchaytirilgan oldindan sinalgan to‘sin BO-2 (P1)ni hisoblash keltirilgan.

Ugleplastikning cho‘zilishga bo‘lgan hisobiy qarshiligi R_f ning qiymati:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1}\gamma_{f2}R_{f,n}}{\gamma_f} = \frac{0,95 \cdot 1 \cdot 2800}{1,2} = 2216,7 MPa$$

Kompozit materialning chegaraviy nisbiy deformatsiyasi $\epsilon_{f,ult}$ ning hisobiy qiymati:

$$\epsilon_{f,ult} = \frac{R_f}{E_f} = \frac{2216,7}{1,65 \cdot 10^5} = 0,0134$$

Kompozit materialning betonga tishlashishini hisobga oladigan kompozit materialning ish sharoiti koeffitsienti:

$$\gamma_{f2} = \frac{1}{2,5\epsilon_{f,ult} \sqrt{nE_{ftf}}} \sqrt{\frac{R_b}{R_f}} = \frac{1}{2,5 \cdot 0,0134 \sqrt{1 \cdot 1,65 \cdot 10^5 \cdot 1,2}} \sqrt{\frac{24,31}{2216,7}} = 0,3299; R_f = \frac{0,95 \cdot 0,3299 \cdot 2800}{1,2} = 731,3 MPa$$

Po‘lat armatura nisbiy deformatsiyasining chegaraviy qiymati [4]: $\epsilon_{s2} = 0,025$

Konstruksiya kuchaytirilgunga qadar ta’sir qiladigan aniq yuk ta’siridagi eguvchi moment $M_0 = 10,24 kNm$

$$\text{Siqilgan betonning deformatsiya moduli: } E_{b1} = E_{b,red} = \frac{R_b}{\epsilon_{b1,red}} = \frac{21,69}{0,015} = 14460 MPa$$

Bu erda $\epsilon_{b1,red} = 0,0015$ – og‘ir betonning takrorlanmas yuk ta’siridagi nisbiy deformatsiyasi. Berilgan ko‘ndalang kesimning og‘irlik markaziga nisbatan inersiya momenti I_{red} ni hisoblash natijalari 4-jadvalda keltirilgan.

Ko‘ndalang kesim inersiya momenti I_{red} ni aniqlash

4-jadval

	A_i, mm^2	y_i, mm	α_i	y_t, mm	I_i, mm^4	$I_{red} \cdot 10^5, mm^4$
Beton	16000	80	1	76,84	3413333	381,976
Vr – 1	25,1	145	6,227		156,5	
A – III	157,1	25	7,509		7372,1	

To‘sin kuchaytirilgunga qadar betonning siqilish zonasi balandligi:

$$x_0 = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s'}{R_b \cdot b} = \frac{517,2 \cdot 157,1 - 365 \cdot 25,1}{21,69 \cdot 100} = 33,23 mm$$

Kesimning ishchi balandligi: $h_0 = h - a = 160 - 25 = 135 mm$

Konstruksiyada mavjud po‘lat armaturaning nisbiy deformatsiyasining boshlang‘ich qiymati:

$$\epsilon_s^0 = \frac{M_0}{E_{b1} I_{red}} (h_0 - x_0) = \frac{10,24 \cdot 10^6}{14460 \cdot 38,198 \cdot 10^6} (135 - 33,23) = 0,0019$$

Konstruksiya kuchaytirilgunga qadar betonning siqilish zonasi nisbiy deformatsiyasi qiymati:

$$\varepsilon_b^0 = \frac{M_0}{E_{b1}I_{red}} x_0 = \frac{10,24 \cdot 10^6}{14460 \cdot 38,198 \cdot 10^6} \cdot 33,23 = 0,00062$$

SHartni tekshiramiz:

$$R_f = 731,3 \text{ MPa} < (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_s^0) \cdot E_f = (0,025 - 0,0019) \cdot 1,65 \cdot 10^5 = 3813,67 \text{ MPa}$$

SHart bajarildi.

$$\varepsilon_{f,ult} = \frac{R_f}{E_f} = \frac{731,3}{1,65 \cdot 10^5} = 0,0044$$

Betonning siqilish zonasi xarakteristikasi:

$$\omega = 0,85 - 0,008R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 24,31 = 0,656$$

Davomiy yuk ta'siridagi og'ir betonning nisbiy deformatsiyasi qiymati $\varepsilon_{b2} = 0,0035$ ga teng.

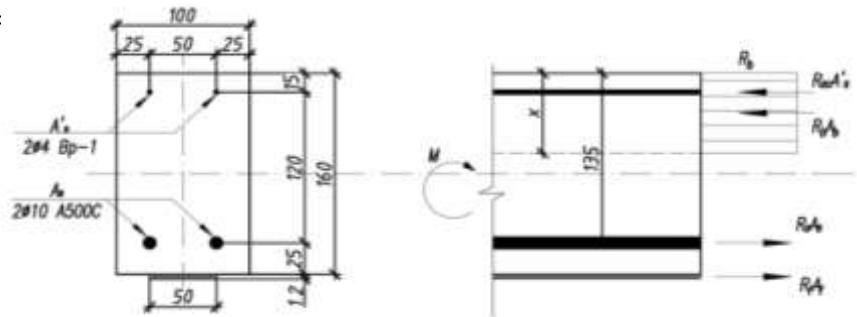
Siqilish zonasining chegaraviy nisbiy balandligi qiymati:

$$\xi_{R,f} = \frac{x_{R,f}}{h} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{f,ult} + \varepsilon_b^0}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0,656}{1 + \frac{0,0044 + 0,00062}{0,0035}} = 0,268$$

To'sin kuchaytirilgandan keyin betonning siqilish zonasi balandligi (3-rasm): $x =$

$$\frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_f A_f}{R_b b} = \frac{517,2 \cdot 157,2 + 731,3 \cdot 60 - 365 \cdot 25,1}{24,31 \cdot 100} = 47,7 \text{ mm}$$

3-rasm. Tashqi tomonidan ugleplastik bilan armaturalangan egiluvchi temirbeton elementning bo'ylama o'qiga nisbatan normal joylashgan



kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishlar sxemasi

Beton siqilish zonasining nisbiy balandligi: $\xi = \frac{x}{h} = \frac{47,7}{160} = 0,298$

$$\xi = 0,298 > \xi_{R,f} = 0,268$$

SHuning uchun, chegaraviy eguvchi moment quyidagi formula bilan aniqlanadi: $M_{ult} =$

$$R_b b \bar{x} (h_0 - 0,5 \bar{x}) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + \sigma_f A_f a_f$$

Mavjud cho'zilgan po'lat armaturaning nisbiy deformatsiyasi:

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{517,2}{2,05 \cdot 10^5} = 0,0025 ; \quad \xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0,656}{1 + \frac{0,0025}{0,0035}} = 0,381$$

$$\xi_R h_0 = 51,43 \text{ mm} > x = 47,7 \text{ mm} > \xi_{R,f} h = 42,94 \text{ mm} ; \quad \bar{x} = 42,94 \text{ mm}; k = 0$$

Kesimning cho'zilgan qismi boshlang'ich deformatsiyasi:

$$\varepsilon_{bt}^0 = \frac{\varepsilon_s^0 h + \varepsilon_b^0 a}{h_0} = \frac{0,0019 \cdot 160 + 0,00062 \cdot 25}{135} = 0,00235$$

$$\sigma_f = \left[\varepsilon_{b2} \left(\frac{\omega h}{\bar{x}} - 1 \right) - k \varepsilon_{bt}^0 \right] E_f = \left[0,0035 \cdot \left(\frac{0,656 \cdot 160}{42,94} - 1 \right) - 0 \cdot 0,00235 \right] \cdot 1,65 \cdot 10^5 = 832,95 \text{ MPa}$$

$$M_{ult} = 24,31 \cdot 100 \cdot 42,94 (135 - 0,5 \cdot 42,94) + 365 \cdot 25,1 (135 - 15) + 832,95 \cdot 60 \cdot 25,6 = 14,23 \text{ kNm}$$

Amaldagi chegaraviy momentdan og'ish qiymati quyidagicha:

$$\delta = \frac{|M_{ult} - M_{ULS}^{exp}|}{M_{ult}} \cdot 100\% = \frac{|14,23 - 18,53|}{14,23} \cdot 100\% = 30\%$$

YUK ko'tarish qobiliyatining amaldagi va hisobiy kattaliklaridagi 30% tafovut chegaraviy holat usulida hisoblash natijasida konstruksiyaning ishonchli ekspluatatsiyasini ta'minlash maqsadida yuk ko'tarish qobiliyatining pasaytirilgan qiymatini aniqlash bilan belgilanadi. BO-2 (P1) va P1 to'sinlarning hisoblash natijalari quyidagi jadvalda jamlandi.

5-jadval

To'sinning nomlanishi	R_f, MPa	γ_{f2}	h_0, mm	x_0, mm	$M_n \cdot 10^6, MPa \cdot mm^3$	E_{b1}, MPa	$I_{red} 10^6, mm^4$	ε_s^0	shart
BO-2 (P1)	731,3	0,3	135	33,23	10,24	14460	38,20	0,0019	+
P1	731,3	0,3	135	33,23	10,24	16207	38,20	0,0019	+
To'sinning nomlanishi	ω	$\varepsilon_{f,ult}$	ε_b^0	ε_{b2}	$\xi_{R,f}$	x, mm	ξ	$\varepsilon_{s,el}$	ξ_R
BO-2 (P1)	0,656	0,004	0,0006	0,0035	0,268	47,695	0,298	0,0025	0,381
P1	0,656	0,004	0	0,0035	0,268	47,695	0,298	0,0025	0,381
To'sinning nomlanishi	ε_{bt}^0	\bar{x}, mm	k	σ_f, MPa	M_{ult}, kNm	ε_{bt}^0	M_{ULS}^{exp}, kNm	$\delta, \%$	
BO-2 (P1)	0,0024	42,94	0	833	14,23	0,0024	18,56	30	
P1	0	46,28	0	731	14,81	0	19,87	34	

Kuchaytirish samarasini tahlil qilish maqsadida BO-2(P1) va P1 to'sinlari uchun olingan momentlarning chegaraviy qiymatlari, kuchaytirilmagan BO-2 to'sin uchun \bar{M} nazariy moment aniqlandi.

BO-2 to'sinining siqilish zonasi balandligi:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{517,2 \cdot 157,1 - 365 \cdot 25,1}{21,69 \cdot 100} = 33,23 \text{ mm}$$

$$\bar{M} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') = 21,69 \cdot 100 \cdot 33,23 \cdot (135 - 0,5 \cdot 33,23) + 365 \cdot 25,1 \cdot (135 - 15) = 9,63 \text{ kNm}$$

Yuk ko'tarish qobiliyatini oshganligini tasdiqlovchi olingan hisobiy natijalar sinov natijalari bilan solishtirildi (6-jadval).

To'sinlarni kuchaytirish samarasi

6-jadval

To'sinning nomlanishi	\bar{M}, kNm	$\delta, \%$	$\delta^{exp}, \%$
BO-2	9,63	-	-
BO-2 (P1)	14,23	47,8	18,1
P1	14,81	53,8	57,4

P1 to'sin uchun yuk ko'tarish qobiliyatining ortishini aks ettiruvchi hisobiy va sinov qiymatlarini solishtirsa bo'ladi. Lekin BO-2(P1) to'sin uchun yuk ko'tarish qobiliyatini ortishini aks ettiruvchi sinov natijasi hisobiy qiymatdan ancha kichik, chunki oldindan sinalgan kuchaytirilgan to'sinlarni hisoblash masalasi batafsil o'rganilmagan.

Mazkur tadqiqot ishida temirbeton egiluvchi to'sin elementlarining me'yoriy hujjatlarga asoslanib amalga oshirilgan hisobi keltirildi. Olingan natijalar eksperimental ma'lumotlar bilan solishtirildi. Natijada hisoblash usulini asoslash va to'ldirish, qo'yilgan masalani hal etish va xulosalarni shakllantirish imkoniyati yaratildi.

Adabiyotlar

- SHilin A.A. Usilenie jelezobetonnykh konstruksiy kompozitnymi materialami / A.A SHilin, V.A.Pshenichnyy, D.V. Kartuzov // Beton i jelezobeton. – 2006. - №3.
- Kononchuk A.P. “Rabota normalnykh secheniy izgibaemykh jelezobetonnykh elementov, usilennykh kompozitnymi materialami na deystviya malotsiklovogo nagrujeniya”, dis. kand. texn. nauk: 05.23.01 /Kononchuk Aleksandr Petrovich. – Lvov, 2013.
- Smerdov M.N. Eksperimentalnye issledovaniya prochnosti i deformativnosti izgibaemykh jelezobetonnykh elementov, armirovannykh v shtatoy i rastyanutoy zone nemetallicheskoj kompozitsionnoy armaturoy / M.N. Smerdov, D.N Smerdov, A.O Kliment'ev / / Transport Urala. – 2014.
- SHNK 2.03.14-18 Kompozit polimer armaturali beton konstruksiyalar, O'RQV T-2018.