DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

KOMBINATSIYALASHGAN PO‘LAT–KOMPOZIT ARMATURALI TEMIRBETON TO‘SINLARNING MUSTAHKAMLIK VA DEFORMATIV HUSUSIYATLARINI NAZARIY TADQIQ ETISH

Mavlonov R.A., *PhD, katta o‘qituvchi,*
E-mail: ravshanbek.mavlonov@gmail.com
No‘manova S.E., *PhD, katta o‘qituvchi,*
E-mail: sohibanumanova@gmail.com
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Mazkur maqolada gibrid armaturali to‘sinlarning nazariy tahlili yoritilgan va olingan natijalar keltirilgan. Nazariy natijalar normal kesim bo‘yicha qabul qilingan 27 ta to‘sin namunasining eksperimental ma’lumotlari bilan tekshirilgan. Nazariy va eksperimental natijalarni taqqoslash taklif etilgan analitik modelning aniqligini tasdiqladi hamda gibrid po‘lat–shisha kompozit armaturali temirbeton to‘sinlarning mustahkamligi va deformatsiyalanishi yaxshiligini ko‘rsatdi.*

Abstract. *This study presents a theoretical analysis of hybrid-reinforced concrete beams and discusses the results obtained. The theoretical predictions were validated against experimental data from 27 beam specimens tested for failure in normal sections. Comparison of the theoretical and experimental results confirmed the accuracy of the proposed analytical model and demonstrated improved strength and deformation capacity of reinforced concrete beams with hybrid steel–Gkompozit armatura reinforcement.*

Аннотация. *В данной статье представлен теоретический анализ железобетонных балок с гибридным армированием и приведены полученные результаты. Теоретические результаты были верифицированы на основе экспериментальных данных испытаний 27 образцов балок на разрушение по нормальному сечению. Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов подтвердило точность предложенной аналитической модели и показало повышение прочности и деформационной способности железобетонных балок с гибридным армированием стальной и стеклокомпозитной арматурой.*

Kalit so‘zlar: *temirbeton to‘sin, gibrid armaturalash, po‘lat armatura, shisha kompozit armatura, buzilish hollari, moment, salqilik.*

Keywords: *reinforced concrete beam, hybrid reinforcement, steel reinforcement, Gkompozit armatura reinforcement, failure modes, bending moment, deflection.*

Ключевые слова: *железобетонная балка, гибридное армирование, стальная арматура, стеклокомпозитная арматура, формы разрушения, изгибающий момент, прогиб.*

Kirish. Ko‘p yillar davomida po‘lat armatura temirbeton konstruksiyalarda ham mustahkamlik, ham plastiklikni ta’minlashning eng sodda va samarali yechimi sifatida qo‘llanilib, an’anaviy armaturalash materiali sifatida shakllandi. Tashqi ta’sirlardan, ayniqsa korroziyadan yetarli darajada himoyalangan po‘lat armatura uzoq vaqt davomida jismoniy yemirilmasdan xizmat qilishi mumkin [1-3]. Biroq qishda muzlashga qarshi tuzlar qo‘llaniladigan ko‘priklar yoki suv havzalari ustida joylashgan inshootlar kabi ochiq muhit ta’siridagi konstruksiyalarda korroziyaning oldini olish deyarli imkonsizdir. Namlik, harorat va ishqorlarning birgalikdagi ta’siri po‘lat armatura korroziyasini tezlashtirib, konstruksiyaning yemirilishiga olib keladi va uning uzoq muddatli chidamliligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [4, 5].

Temirbeton konstruksiyalarning uzoq yashovchanligi ko‘plab omillarga bog‘liq bo‘lib, ularning aksariyati po‘lat armaturaning korroziyasi bilan bog‘liq [6]. Bu holat konstruksiya, bino va inshootlarning uzoq muddat xizmat qilishiga to‘sqinlik qiluvchi eng keng tarqalgan

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

muammolardan biri hisoblanadi. Shu sababli temirbeton konstruksiyalardagi po‘lat armaturaning chidamliligi keng ko‘lamda tadqiq etilgan [7, 8].

Konstruksiyaning mustahkamligi va deformatsiyalanuvchanligi bo‘yicha so‘nggi eksperimental tadqiqotlar korroziyabardoshlilik elementlarning uzoq muddat xizmat qilishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi [9, 10]. Xususan, XXI asrda beton konstruksiyalarda po‘lat armaturaga muqobil sifatida shisha kompozit armaturalar (ShKA) dan foydalanishga qiziqish ortib bormoqda. ShKA sterjenlarning tabiiy korroziyabardoshligi tufayli ular agressiv muhitda ishlaydigan konstruksiyalarda po‘lat armaturaning samarali o‘rnini bosuvchi material sifatida tobora keng qo‘llanilmoqda [11, 12].

Kompozit armaturalar, jumladan ShKAlar bilan armaturalangan beton konstruksiyalarni loyihalash bir qator mamlakatlarning me’yoriy hujjatlarida ko‘zda tutilgan bo‘lsa-da, kompozit armaturaning mo‘rt xususiyati uni po‘lat armaturaning to‘liq o‘rnini bosuvchi material sifatida tavsiya etishga imkon bermaydi [13]. Shu sababli beton elementlarda gibrid po‘lat–kompozit armatura bilan armaturalash g’oyasi taklif etilgan. Bunday usullarda po‘lat armatura plastiklikni ta’minlaydi, cho‘zilish mustahkamligi katta bo’lgan kompozit armaturalar esa konstruksiyaning umumiy yuk ko‘tarish qobiliyatini ta’minlaydi. Ushbu yondashuv faqat kompozit armatura bilan armaturalangan beton elementlarda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan mo‘rt buzilish xavfini kamaytiradi [14-16].

Gibrid armaturali elementlarda kompozit armatura asosiy armatura sifatida chegaraviy holatni belgilashda muhim rol o‘ynaydi, po‘lat armatura esa buzilish holini belgilaydi. Bundan tashqari, po‘lat armatura beton kesimida chuqurroq joylashtiriladi va qalinroq himoya qatlamiga ega bo‘ladi, bu esa to‘sinning plastik buzilish xususiyatini ta’minlaydi [17].

Gibrid po‘lat–kompozit armaturalar bilan armaturalangan beton to‘sinlar qator afzalliklarga ega bo‘lsa-da, mustahkamlik va plastiklikni bir vaqtda oshirish uchun armaturalash sxemasini optimallashtirish talab etiladi. Materiallarning birgalikdagi ishlashi konstruksiyaning xavfsiz ekspluatatsiyasini ta’minlashi lozim [18]. So‘nggi yillarda dunyo miqyosida gibrid po‘lat–kompozit armaturalar bilan armaturalangan to‘sinlarga bag‘ishlangan keng ko‘lamli tadqiqotlar olib borildi. Ushbu tadqiqotlarda takomillashtirilgan nazariy modellar taklif etilib, optimal armaturalash parametrlari aniqlangan [19, 20].

Usullar. Tajriba uchun jami 9 seriyadagi 27 ta to‘sin tayyorlandi. Har bir to‘sinning uzunligi $l=150$ *sm*, hisobiy uzunligi esa $l_0=140$ *sm* ni tashkil etdi. Ko‘ndalang kesim o‘lchamlari $b\times h=15\times 20$ *sm* qilib qabul qilindi. Yuklar to‘sinning hisobiy uzunligi bo‘yicha $l_0/3$ masofada qo‘yildi. To‘sin chetidan tayanchgacha bo‘lgan masofa 5 sm etib belgilandi. Barcha to‘sinlar to‘rt nuqtali egilish sxemasi bo‘yicha sinovdan o‘tkazildi [2, 5, 7, 10, 12].

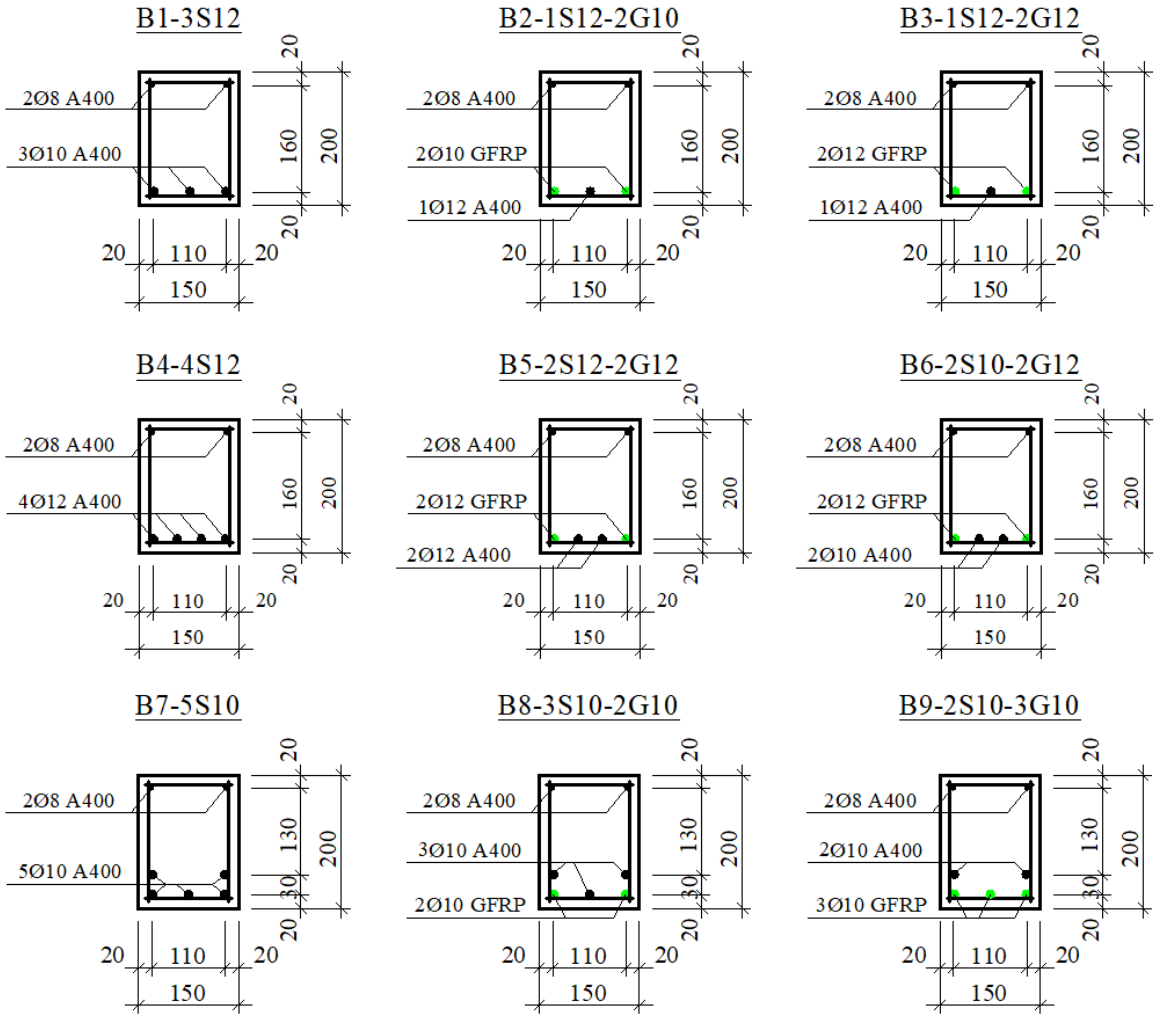
To‘sinlar normal kesim bo‘yicha sinalishi hisobga olinib, oraliqning o‘rta qismida ko‘ndalang armatura o‘rnatilmadi. Tayanchlarga yaqin zonalarda ko‘ndalang sterjenlar qadami 5 cm qilib qabul qilindi. Armatura karkasining uzunligi 145 sm, balandligi esa 18 sm ni tashkil etdi. Barcha to‘sinlarning siqilish zonasiga 2Ø8 A400 sterjen o‘rnatildi. Xomutlar Ø6 A240 armaturadan tayyorlandi [15, 18, 20]. To‘sinlarning ko‘ndalang kesim o‘lchamlari, armatura karkasining kesimda joylashishi hamda cho‘zilish zonasidagi po‘lat va ShKAlarning joylashuvi 1-rasmda keltirilgan.

Gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlarda uch xil materialning birgalikda ishlashi buzilishning turli kombinatsiyalarda yuz berishiga olib keladi. Bunday holatlarda buzilish siqilish zonasidagi betonning ezilishi, po‘lat armaturaning oquvchanlik holatiga yetishi va ShKAlarning uzilishi ko‘rinishida namoyon bo‘ladi [7, 10. 15].

Yuqorida qayd etilganidek, gibrid po‘lat–ShKA armaturali temirbeton to‘sinlarning buzilishini nazariy o‘rganish va ularni hisoblash usullarini ishlab chiqish faqat po‘lat yoki kompozit armatura armatura bilan armaturalangan to‘sinlarni hisoblashdan farq qiladi. Nguyen Phan Duy [1] va boshqa tadqiqotchilar natijalariga ko‘ra, gibrid po‘lat–kompozit armatura

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

armaturali temirbeton to‘sinlarda oltita buzilish shakli kuzatilishi mumkin.

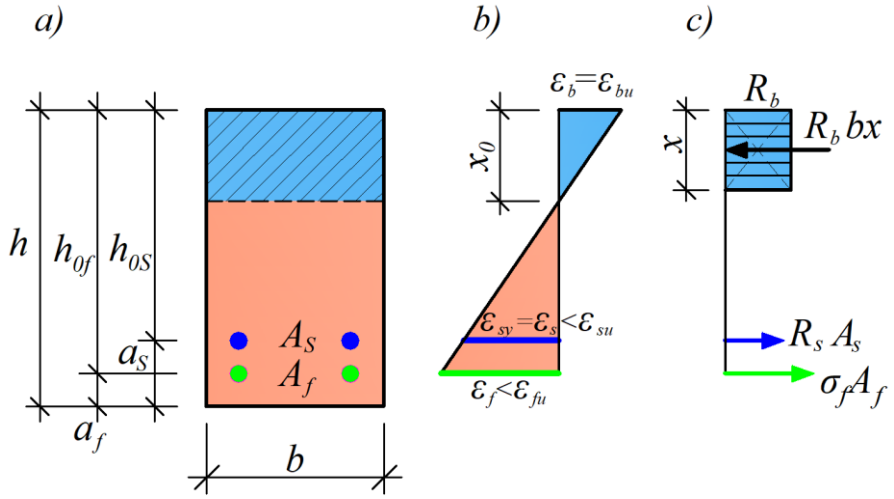


1-rasm. Tajriba to‘sinlarining ko‘ndalang kesimlari va armatura karkaslarining joylashishi

Mazkur tadqiqotda 4-buzilish holi ko‘rib chiqildi, chunki u gibrid po‘lat–kompozit armaturali temirbeton to‘sinlar uchun amaliy buzilish holiga mos keladi. 4-buzilish holida po‘lat armatura oquvchanlik chegarasiga yetadi, katta salqiliklar rivojlanadi, ShKA esa uzilmaydi va yakunda siqilish zonasidagi beton eziladi. Ushbu buzilish holi oddiy yuklanishlar uchun maqbul bo‘lib, plastik buzilish xususiyatini ta’minlaydi. 1-, 2- va 3-hollar yetarli armaturalanmagan, cho‘zilish bo‘yicha boshqariladigan holatlarga, 5- va 6-shakllar esa ortiqcha armaturalangan yoki siqilish bo‘yicha boshqariladigan, mo‘rt buzilish bilan tavsiflanadigan holatlarga mos keladi. Shu sababli 4-buzilish holi konstruktiv nuqtayi nazaridan real hayotga mos keladi.

Ushbu buzilish holi o‘rta darajada armaturalangan oddiy po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarda kuzatiladigan holatga o‘xshashdir. Dastlab po‘lat armaturadagi kuchlanish uning oquvchanlik chegarasiga yetadi, shundan so‘ng kuchlanishlarning bir qismi ShKAlarga uzatiladi va ulardagi deformatsiyalar ortadi, biroq ShKA uzilmaydi. Shu bilan bir vaqtda siqilish zonasidagi beton eziladi. Natijada ShKAning mustahkamlik imkoniyatidan to‘liq foydalanilmaydi va ma’lum mustahkamlik zaxirasi saqlanib qoladi (2-rasm).

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02



2-rasm. Gibrid po‘lat–ShKA armaturali temirbeton to‘sinlarning 4-buzilish shakli uchun hisobiy model: (a) to‘sinning ko‘ndalang kesimi; (b) deformatsiyalar taqsimoti; (c) ekvivalent kuchlanishlar epyurasi

2-rasmdan to‘sinning chegaraviy eguvchi momentini cho‘zilish zonasidagi ShKA og‘irlik markazidan o‘tgan o‘qqa nisbatan momentlar tenglamasini tuzish orqali aniqlash mumkin.

$$M_u = R_b bx\left(h_{0f} - \frac{x}{2}\right) - \sigma_{sy}A_s(h_{0f} - h_{0s}) \quad (1)$$

bu yerda: R_b – betonning siqilishdagi prizmatik mustahkamligi; b – to‘sin eni; x – siqilish zonasi balandligi; h_{0f} – ShKAning ishchi balandligi; h_{0s} – po‘lat armaturaning ishchi balandligi; σ_{sy} – po‘lat armaturaning oquvchanlik chegarasidagi mustahkamlik; A_s – cho‘zilish zonasidagi po‘lat armaturaning ko‘ndalang kesim yuzasi;

Ko‘ndalang kesimda ta’sir etuvchi barcha kuchlarni X o‘qiga proyeksiyalash orqali (2) ifoda hosil qilinadi.

$$R_b bx = \sigma_{sy}A_s + \sigma_f A_f \quad (2)$$

bu yerda: σ_f – (3) tenglamada qo‘llanilgan ShKAning cho‘zilishdagi mustahkamligi; A_f – cho‘zilish zonasidagi ShKAning ko‘ndalang kesim yuzasi;

$$\sigma_f = \varepsilon_f E_f \quad (3)$$

ShKAdagi nisbiy deformatsiya 2, b-rasmda keltirilgan deformatsiyalar diagrammasi asosida aniqlanadi

$$\varepsilon_f = \frac{\varepsilon_{bu}(h_{0f} - x_0)}{x_0} \quad (4)$$

(3) va (4) tenglamalarni (2) tenglamaga qo‘yish orqali (5) tenglama hosil qilinadi

$$R_b bx = \sigma_{sy}A_s + \frac{\varepsilon_{bu}(h_{0f} - x/\omega)}{x/\omega}E_f A_f \quad (5)$$

bu yerda: ω=0,85 – betonning siqilish zonasidagi parabolik kuchlanishlar ekvivalent to‘g‘ri to‘rtburchak kuchlanishlarga almashtirish uchun qo‘llaniladigan koeffitsiyent.

Siqilish zonasi balandligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$x = \frac{\sqrt{(\sigma_{sy}A_s - A_f E_f \varepsilon_{bu})^2 + 4R_b \omega b h_{0f} A_f E_f \varepsilon_{bu}} + \sigma_{sy}A_s - A_f E_f \varepsilon_{bu}}{2R_b b} \quad (6)$$

Natijalar va muhokama. 3-rasmda 1-seriyadagi B1-3S12, B2-1S12-2G10 va B3-1S12-2G12 to‘sinlarning yuklanish jarayonidagi moment–salqilik diagrammasi keltirilgan. Diagrammaning vertikal o‘qida chegaraviy eguvchi moment M_u (kN·m), gorizontal o‘qida esa

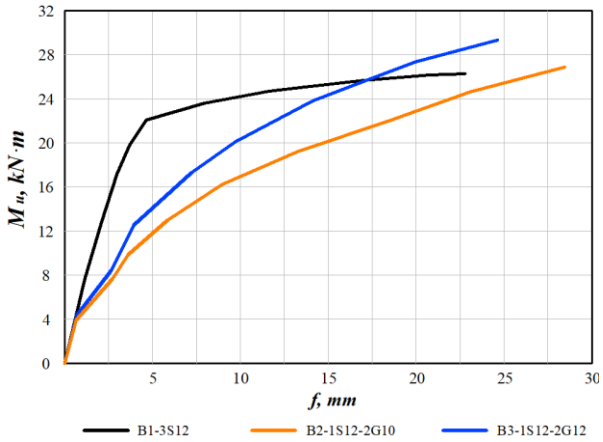
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

to‘sin o‘rtasidagi maksimal salqilik f (mm) ifodalangan. Mazkur diagramma to‘sinning bikrligi va deformativ xususiyatlarini ham tavsiflaydi.

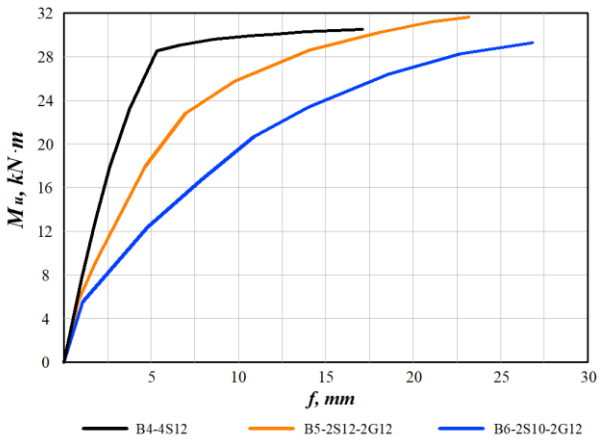
Normal armaturalangan po‘lat armaturali temirbeton to‘sin M=23,21 kN·m momentga qadar deyarli chiziqli ishladi va ushbu bosqichda maksimal bikrlikka ega bo‘ldi. Bu holat po‘lat armaturadagi normal kuchlanishning oquvchanlik chegarasiga yetishi bilan izohlanadi. B2-1S12-2G10 to‘sini boshqa ikki to‘singa nisbatan armatura miqdori kam bo‘lgani sababli eng kichik bikrlikka ega bo‘ldi. Ushbu to‘sinda armaturalar kombinatsiyalangan holda qo‘llanilgani sababli po‘lat armaturaning oquvchanlik maydonchasi yaqqol namoyon bo‘lmadi.

Eng katta moment B3-1S12-2G12 namunasida M_u=28,74 kN·m, eng kichik qiymat esa po‘lat armaturali B1-3S12 to‘sinida M_u=26,19 kN·m bo‘ldi. B2-1S12-2G10 to‘sinida M_u=26,92 kN·m ni tashkil etdi. Maksimal salqilik B2-1S12-2G10 namunasida f=28,43 mm, eng kichik salqilik esa B1-3S12 temirbeton to‘sinida f=22,87 mm bo‘ldi. B3-1S12-2G12 namunasida salqilik f=24,75 mm ni tashkil etdi.

Armaturalash koeffitsiyenti bir xil bo‘lganda gibrid to‘sinlarning mustahkamligi an’anaviy po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarga nisbatan 9,7 % yuqori, buzilish bosqichidagi salqilik esa 8,2 % katta bo‘ldi.



3-rasm. 1-seriya to‘sinlari uchun moment–salqilik diagrammasi

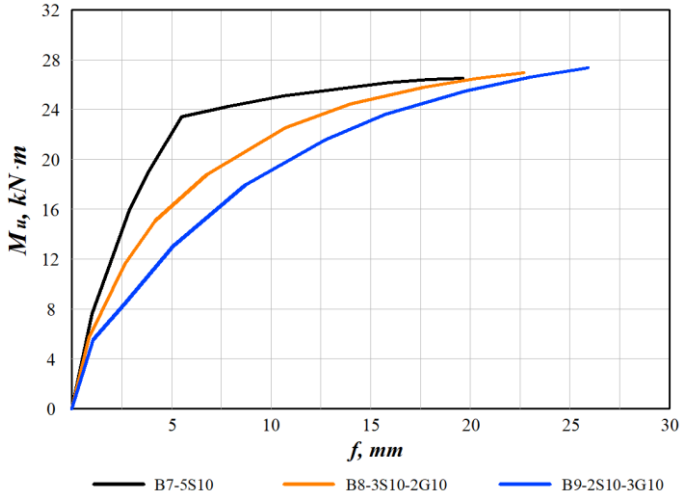


4-rasm. 2-seriya to‘sinlari uchun moment–salqilik diagrammasi

4-rasmda 2-seriya to‘sinlarining yuklanish jarayonida salqilik rivojlanishi keltirilgan. Po‘lat armaturali B4-4S12 to‘sinining bikrligi po‘lat armatura oquvchanlik maydonchasiga yetguniga qadar yuqori bo‘lib qoldi. Moment M=28,74 kN·m dan M_u=30,68 kN·m gacha ortganda to‘sin bikrligi keskin kamaydi, salqilik esa mos ravishda 5,16 mm dan 17,28 mm gacha ortib, to‘sinning chegaraviy yuk ko‘tarish qobiliyatiga erishilganini ko‘rsatdi.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

Po‘lat armaturali temirbeton to‘singa o‘xshash ravishda, armaturalash koeffitsiyenti μ=1,68 % bo‘lgan B5-2S12-2G12 to‘sinida yuklanish davomida salqiliklar dastlab chiziqli ravishda rivojlandi. Po‘lat armaturaning oquvchanlik maydonchasi ham deyarli sezilmadi. Biroq buzilishdagi yuk ko‘tarish qobiliyati an’anaviy beton to‘singa nisbatan yuqori bo‘lib, M_u=31,73 kN·m ni tashkil etdi. Shu bilan birga, diagrammadan salqilikning ham f=23,03 mm gacha ortgani ko‘rinadi. Gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlarda bikrlikning keskin kamayishi kuzatilmadi.



5-rasm. 3-seriya to‘sinlari uchun moment–salqilik diagrammasi

Boshqa ikki to‘singa nisbatan armaturalash koeffitsiyenti kichikroq (μ=1,42 %) bo‘lgan B5-2S12-2G10 namunasida chegaraviy moment M_u=28,68 kN·m bo‘lib, eng katta salqilik f=27,06 mm qayd etildi. 2-seriya to‘sinlarida armaturalash koeffitsiyenti teng bo‘lganda gibrid to‘sinlarning mustahkamligi po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarga nisbatan 3,4 % yuqori, salqiligi esa 33,3 % katta bo‘ldi.

3-seriyadagi barcha to‘sinlarda armaturalash koeffitsiyenti bir xil, ya’ni μ=1,59 % ni tashkil etdi. Po‘lat armaturaning elastiklik moduli ShKAnikidan yuqori bo‘lgani sababli, 5-rasmda ko‘rsatilganidek, elastik bosqichda po‘latning oquvchanlik chegarasigacha B7-5S10 po‘lat armaturali temirbeton to‘sinning deformatsiyalanish xususiyati gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlardan farq qildi. Oquvchanlik chegarasiga erishilgandan so‘ng an’anaviy po‘lat armaturali to‘sinning bikrligi keskin kamaydi. Oquvchanlik nuqtasidagi salqilik f=5,24 mm bo‘lib, chegaraviy bosqichda f=19,71 mm gacha ortdi. Mos moment qiymatlari M=22,78 kN·m va Mu=26,58 kN·m ni tashkil etdi (5-rasm).

Gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlarda ShKA ulushining ortishi chegaraviy momentga erishish bilan bir vaqtda salqilikning ham ortishiga olib keldi. B8-3S10-2G10 uchun chegaraviy moment M_u=27,15 kN·m, B9-2S10-3G10 uchun esa M_u=27,37 kN·m bo‘lib, ularga mos salqiliklar tegishlicha f=22,63 mm va f=26,08 mm ni tashkil etdi. An’anaviy po‘lat armaturali to‘sinlar bilan taqqoslaganda, 3-seriyadagi gibrid po‘lat–ShKA to‘sinlarning yuk ko‘tarish qobiliyati 2,1–2,9 % ga, salqiligi esa 14,8–32,3 % ga ortdi.

Natijalarga ko‘ra, po‘lat va ShKAlarning birgalikda qo‘llanilishi to‘sinlarning egilishdagi ishlashi va deformativ hususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. 1-seriyada gibrid po‘lat–ShKA to‘sinlar an’anaviy po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarga nisbatan ikkala armaturaning birgalikdagi ishlashi hisobiga katta yuk ko‘tarish qobiliyati va kattaroq salqilikni namoyon etdi. Yuklanishning dastlabki bosqichida gibrid to‘sinlardagi po‘lat armatura oquvchanlik chegarasiga yetadi, shundan keyin ShKAlar cho‘zuvchi kuchlarni qabul qilishda davom etadi. Natijada buzilish kechikadi va to‘sinlarning yuk ko‘tarish qobiliyati ma’lum darajada ortadi. Gibrid to‘sinlarda po‘lat va ShKAlarining birgalikda qo‘llanilishi moment–salqilik diagrammasining ravonroq kechishi va energiya yutish qobiliyatining ortishini ko’rsatadi.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

2-seriya to‘sinlarida bikrlikning bosqichma-bosqich kamayishi ShKA sterjenlarining to‘sin deformatsiyasi va salqiligini boshqarishdagi rolini ko‘rsatadi. Gibrid po‘lat–ShKA to‘sinlar po‘lat armaturalar oquvchanlik chegarasiga yetgandan keyin ham yukni qabul qilish va yuk ko‘tarish qobiliyatini saqlab qolishga qodir. Bu ShKA sterjenlarining mavjudligi to‘sin bikrligining keskin pasayishiga to‘sqinlik qilishini, cho‘zuvchi kuchlanishlarning po‘lat va ShKA sterjenlari o‘rtasida qayta taqsimlanishini hamda qoldiq mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarning yaxshilanishini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, kattaroq salqilik deformatsiyalanish qobiliyatining natijasi bo‘lib, seysmik yuklar ta’siridagi konstruktiv elementlar uchun muhim xususiyat hisoblanadi.

3-seriyada olingan natijalar cho‘zilish zonasidagi ShKA ulushi to‘sinning bikrligi va salqiligini belgilashda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatdi. ShKA ulushi ortishi bilan salqilik kattalashdi, elastik bosqichdagi bikrlik esa ShKA elastiklik moduli po‘latnikiga nisbatan kichik bo‘lgani sababli biroz kamaydi. Biroq bu konstruktiv xavfsizlik nuqtayi nazaridan foydali bo‘lib, yetarli mustahkamlik zaxirasini saqlagan holda buzilishdan oldin ogohlantiradi. Gibrid po‘lat–ShKA to‘sinlarda yuk-ko’tarish qobiliyati 2–3 % ga ortdi; ShKAning hissasi po‘lat oquvchanlik chegarasiga yetgandan keyingi bosqichda samaraliroq namoyon bo‘ldi va bikrlikning kamayishi ShKAning ishlashi bilan qisman ta’minlanadi.

Umuman olganda, uch seriyadagi to‘sinlarning qiyosiy tahlili gibrid armaturalangan to‘sinlarning mustahkamligi va deformatsiyalanish qobiliyatini oshirishini ko‘rsatdi. Kuzatilgan buzilishlar 4-buzilish holi uchun qabul qilingan nazariy farazlarga mos keladi: bunda siqilish zonasidagi betonning ezilishi po‘lat armaturadagi kuchlanishlarning oquvchanlik chegarasiga yetishi va ShKAning cho‘zilishdagi mustahkamligidan qisman foydalanilishi bilan bog‘liq. Nazariy hisoblashlar va eksperimental natijalarning o‘zaro mosligi analitik modelning ishonchliligini tasdiqlaydi va undan loyihalash amaliyotida foydalanish mumkinligini ko‘rsatadi. Olingan natijalar gibrid armaturalashdan foydalanish egiluvchi elementlarning xizmat muddatini sezilarli uzaytirishi hamda texnik xizmat ko‘rsatish va ta’mirlash xarajatlarini kamaytirishi mumkinligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, ularning yuk ko‘tarish qobiliyati, deformatsiyalanishi va chidamliligi, ayniqsa korrozion muhitda, bunday konstruksiyalarning barqaror ishlashini ta’minlaydi.

Xulosalar. Mazkur tadqiqotda gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlarning yuk ko‘tarish qobiliyati va deformatsiyalanish xususiyatlari nazariy hamda eksperimental jihatdan baholandi. Natijalar po‘lat va ShKAlarni birgalikda qo‘llash ularning afzalliklarini samarali uyg‘unlashtirishini ko‘rsatdi: po‘lat armatura to‘sinlarning plastik ishlashini ta’minlasa, ShKA armatura yuqori mustahkamlik va korroziyaga bardoshlilikni oshiradi. Gibrid to‘sinlarning chegaraviy yuk ko‘tarish qobiliyati an’anaviy po‘lat armaturali to‘sinlarga nisbatan armaturalash koeffitsiyentiga qarab 2–10 % ga yuqori bo‘ldi. ShKA ulushining ortishi chegaraviy yukdagi salqilikning oshishiga va to‘sinlarning deformatsiyalanishining yaxshilanishiga olib keldi. Umuman olganda, olingan natijalar gibrid po‘lat–ShKA armaturalash temirbeton to‘sinlarning mustahkamligi, deformatsiyalanishi va korroziyaga bardoshliligini oshirishga imkon beruvchi istiqbolli yechim ekanligini ko‘rsatdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. V. H. Dang and P. D. Nguyen, “Analytical identification of failure modes and design-oriented formulations in hybrid kompozit armatura/steel reinforced concrete beams,” Int. J. Civ. Eng., 2022.

2. R. Mavlonov and S. Razzakov, “Numerical modeling of combined reinforcement concrete beam,” E3S Web Conf., vol. 401, p. 03007, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340103007.

3. M. A. Safan, “Flexural behavior and design of steel-ShKA reinforced concrete beams,” ACI Mater. J., vol. 110, no. 6, pp. 677, 2013.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.02

4. P. D. Nguyen and V. Q. Dang, “Limiting reinforcement ratios for hybrid ShKA/steel reinforced concrete beams,” Int. J. Eng. Technol. Innov., Jan. 2021.

5. R. Mavlonov, S. Razzakov, and S. Numanova, “Stress-strain state of combined steel-kompozit armatura reinforced concrete beams,” E3S Web Conf., vol. 452, p. 06022, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202345206022.

6. M. Aiello and L. Ombres, “Structural performances of concrete beams with hybrid (fiber-reinforced polymer–steel) reinforcements,”J. Compos. Constr., vol. 6, no. 2, pp. 133–140, 2002.

7. Mavlonov R., No‘manova S. Kombinatsiyalashgan po‘lat va bazalt kompozit armaturali temirbeton to‘sinlarni normal kesim bo ‘yicha mustahkamligi //Techscience. uz-Texnika fanlarining dolzarb masalalari. – 2025. – T. 3. – №. 11. – C. 51-57.

8. H. Y. Leung and R. V. Balendran, “Flexural behaviour of concrete beams internally reinforced with ShKA rods and steel rebars,” Struct. Surv., vol. 21, pp. 146–157, 2003.

9. W. Qu, X. Zhang, and H. Huang, “Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid (ShKA and steel) bars,” J. Compos. Constr., vol. 13, no. 5, pp. 350–359, 2009.

10. Мавлонов Р. А., Раззақов С. Ж., Мирзамахмудов А. Р. Комбинациялашган пўлат-композит арматурали бетон тўсинларнинг бузилиш шакллари //Строительство и образование. – 2023. – Т. 4. – №. 5-6. – С. 104-116.

11. D. Lau and H. Pam, “Experimental study of hybrid kompozit armatura reinforced concrete beams,” Eng. Struct., vol. 32, pp. 3857–3865, 2010.

12. Mavlonov R. A. Kombinatsiyalashgan po‘lat-kompozit armaturali temirbeton to‘sinlarni qo‘llashning ekologik va iqtisodiy asoslari //Строительство и образование. – 2025. – Т. 4. – №. 2. – С. 124-129.

13. R. Qin, A. Zhou, and D. Lau, “Effect of reinforcement ratio on the flexural performance of hybrid kompozit armatura reinforced concrete beams,” Compos. B Eng., vol. 108, pp. 200–209, 2017.

14. J. C. Sunny and P. Prabhakaran, “Experimental study on properties of concrete reinforced with basalt bars,” Proc. Conf., pp. 1524–1529, 2016.

15. Mavlonov R. A., Muminov K. K. Kompozit polimer armaturaning beton bilan bog ‘lanish mustahkamligi tahlili //Строительство и образование. – 2025. – Т. 4. – №. 2. – С. 115-123.

16. L. Pang, et al., “Design propositions for hybrid kompozit armatura–steel reinforced concrete beams,” J. Compos. Constr., vol. 20, p. 04015086, 2015.

17. S. Kim and S. Kim, “Flexural behavior of concrete beams with steel bar and kompozit armatura reinforcement,” J. Asian Archit. Build. Eng., 2019.

18. Muminov K. K., Mavlonov R. A. Gibrid po ‘lat-kompozit armaturali to ‘sinlar tahlili //Строительство и образование. – 2025. – Т. 4. – №. 4. – С. 66-71.

19. Z. Sun, et al., “Experimental study on the flexural behavior of concrete beams reinforced with bundled hybrid steel/kompozit armatura bars,” Eng. Struct., vol. 197, p. 109443, 2019.

20. Мавлонов Р. А., Раззақов С. Ж. Композит арматурали бетон тўсинларнинг мустаҳкамлиги ва деформацияланувчанлиги //ФарДТУ журнали. – с. 60.