METALL KONSTRUKSIYALAR YONG‘INBARDOSHLIGINI BAHOLASH VA OSHIRISH USULLARI

Shukurova Karomat
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
“Qurilish muhandisligi” kafedrasi dotsenti
https://doi.org/10.5281/zenodo.23300633

Annotatsiya. Maqolada po‘lat konstruksiyalarning yong‘inbardoshligini baholash va oshirish usullari tahlil qilinadi. Yevrokod EN 1993-1-2 ning soddalashtirilgan hisob usullari asosida standart yong‘in sharoitida po‘latning qizish dinamikasi, kritik harorat va himoya qatlamiga qo‘yiladigan talab hisoblangan. Himoyalanmagan kesimlar uchun kritik haroratga erishish vaqti va R 60, R 90 chegaralari uchun himoya qatlamining zarur issiqlik qarshiligi aniqlangan, himoya usullarini tanlash algoritmi taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: po‘lat konstruksiyalar, yong‘inbardoshlik chegarasi, kritik harorat, kesim omili, ko‘pchiydigan qoplama, passiv himoya, standart yong‘in, yuklanish darajasi.

KIRISH

Po‘lat yonmaydigan material hisoblanadi, ammo yong‘in sharoitida u tez isiydi va yuk ko‘tarish qobiliyatini yo‘qotadi: muammo uning yonishida emas, yumshab deformatsiyalanishidadir. EN 1993-1-2 bo‘yicha po‘latning effektiv oquvchanlik chegarasi 500 °C da me’yoriy qiymatning 0,78 qismiga, 600 °C da 0,47 qismiga, 700 °C da esa 0,23 qismiga tushadi [6]. Shu sababli yuk ko‘taruvchi po‘lat konstruksiyalar uchun yong‘inbardoshlik chegarasi – konstruksiya yuk ko‘tarish qobiliyatini yo‘qotmasdan yong‘in ta’siriga bardosh bera oladigan vaqt – asosiy xavfsizlik ko‘rsatkichidir.

O‘zbekistonda Vazirlar Mahkamasining 2020 yil 20 oktabrdagi 649-son qarori bilan tasdiqlangan Yong‘in xavfsizligi qoidalari po‘lat ustunlarning olovdan himoyalash qoplamalari (suvoq, maxsus bo‘yoq, lok va shu kabilar) buzilgan holatlarini darhol bartaraf etishni, olovdan himoya tarkibi bilan ishlov berilgan konstruksiyalar holatini yiliga kamida 2 marta tekshirib, natijalarni dalolatnoma yoki jurnalda qayd etishni talab qiladi [1]. Bino va inshootlar yong‘in xavfsizligining loyihalash talablari esa ShNQ 2.01.02-04 «Bino va inshootlarning yong‘in xavfsizligi» da belgilanadi [2]. Shunday qilib, me’yoriy hujjatlar himoyaning mavjudligi va saqlanishini talab qiladi, lekin muhandis uchun konkret kesimda himoya zarurligini va uning parametrlarini aniqlash usuli alohida hisoblashni talab qiladi.

Yong‘inbardoshlikni hisoblash usullari Yakovlev tomonidan tizimlashtirilgan [3], zamonaviy xalqaro yondashuvlar Buchanan va Abu kitobida umumlashtirilgan [5]. Ko‘pchiydigan qoplamalar bilan himoyalangan po‘lat elementlarning yong‘inbardoshligi Mesquita va boshq. tomonidan sinovlar orqali o‘rganilgan: qoplama qalinligi oshishi bilan yong‘inbardoshlik vaqti ortadi, ammo bir xil qalinlikda yuklanish darajasi oshgani sari kritik harorat va chidash vaqti kamayadi [7]. Dai va boshq. qisman himoyalangan po‘lat tugunlarning haroratini aniqlashning sodda usulini taklif etgan [8], Stolyarov esa po‘lat konstruksiyalar uchun ko‘pchiydigan qoplamaning maqbul qalinligini tanlash algoritmini

ishlab chiqqan [4]. Biroq ko‘rib chiqilgan manbalarda baholash va oshirish usullarini bitta tanlash tartibiga birlashtirgan, O‘zbekiston me’yoriy bazasiga mos ishlanma topilmadi.

Tadqiqotning maqsadi – metall konstruksiyalar yong‘inbardoshligini baholash hisob usulini ko‘rsatish va uni oshirish usullarini tanlash algoritmini taklif etishdir.

MATERIAL VA USULLAR

Tadqiqotda me’yoriy hujjatlar [1, 2, 6] va ilmiy manbalar [3–5, 7, 8] qiyosiy tahlil qilindi, hisob-kitob EN 1993-1-2 ning soddalashtirilgan usullari bo‘yicha amalga oshirildi. Yong‘in harorati standart yong‘in egri chizig‘i bo‘yicha qabul qilindi (ISO 834 [9]): $\theta g = 20 + 345 \cdot \lg(8t + 1)$, bunda t – vaqt, minut, θg – gaz harorati, °C.

Himoyalanmagan po‘latning qizishi qadamma-qadam hisoblandi: $\Delta\theta a = ksh \cdot (Am/V) / (ca \cdot \rho a) \cdot \dot{h}net \cdot \Delta t$, bunda Am/V – kesim omili (isitiladigan sirt yuzasining hajmga nisbati, m^{-1}), ca – po‘latning haroratga bog‘liq solishtirma issiqlik sig‘imi, $\rho a = 7850$ kg/m³, $\dot{h}net$ – konvektiv va nurlanish orqali sof issiqlik oqimi, ksh = 1,0 (soya ta’siri hisobga olinmadi, bu zaxira beradi). Parametrlar: konvektiv uzatish koeffitsiyenti 25 Vt/(m²·K), po‘lat sirtining nurlanish koeffitsiyenti 0,7, olov nurlanish koeffitsiyenti 1,0, vaqt qadami 2 s. Himoyalangan po‘lat uchun himoya qatlamining issiqlik sig‘imi hisobga olinmagan holda $\Delta\theta a = (\lambda p/dp) \cdot (Ap/V) / (ca \cdot \rho a) \cdot (\theta g - \theta a) \cdot \Delta t$ formulasi qo‘llandi (λp/dp – himoya qatlami issiqlik o‘tkazuvchanligining qalinlikka nisbati), vaqt qadami 5 s. Kritik harorat EN 1993-1-2 bo‘yicha yuklanish darajasi $\mu 0 = Efi,d / Rfi,d,0$ dan aniqlandi: $\theta cr = 39{,}19 \cdot \ln[1 / (0{,}9674 \cdot \mu 0^{3{,}833}) - 1] + 482$; bu ifoda 1–3-sinf kesimlar uchun qo‘llanadi, 4-sinf kesimlar uchun esa konservativ 350 °C qabul qilinadi [6]. Hisob-kitoblar shu maqola uchun alohida bajarildi va faqat usulni ko‘rsatish uchun xizmat qiladi, ularni haqiqiy loyihada qo‘llash uchun loyiha ma’lumotlari bilan qayta hisoblash zarur.

NATIJALAR

Birinchi natija – yong‘in harorati va po‘lat mustahkamligining pasayishi. 1-jadvalda standart yong‘inda gaz harorati hisoblangan, 2-jadvalda EN 1993-1-2 bo‘yicha oquvchanlik chegarasining pasayish koeffitsiyenti keltirilgan.

1-jadval

Standart yong‘inda gaz harorati (hisob-kitob natijasi)

Vaqt, min	15	30	60	90	120
Gaz harorati, °C	739	842	945	1006	1049

Manba: [9] dagi formula bo‘yicha hisoblangan.

2-jadval

Po‘lat oquvchanlik chegarasining pasayish koeffitsiyenti

Harorat, °C	400	500	600	700	800
Koeffitsiyent ky,θ	1,00	0,78	0,47	0,23	0,11

Manba: EN 1993-1-2 [6].

Jadvallardan ko‘rinadiki, yong‘inning 30-daqiqasidayoq gaz harorati 842 °C ga, 60-daqiqada 945 °C ga yetadi, po‘lat esa 600 °C dan yuqori qizisa mustahkamligining yarmidan ko‘pini yo‘qotadi. Shu sababli konstruksiya uchun belgilovchi ko‘rsatkich po‘latning kritik harorati, ya’ni yuklanish ostida yuk ko‘tarish qobiliyati tugaydigan haroratdir.

Ikkinchi natija – kritik haroratning yuklanish darajasiga bog‘liqligi. Yuqoridagi formula bo‘yicha μ0 = 0,3 bo‘lganda θcr = 664 °C, μ0 = 0,4 da 620 °C, μ0 = 0,5 da 585 °C, μ0 = 0,6 da 554 °C, μ0 = 0,7 da 526 °C, μ0 = 0,8 da 496 °C (hisob-kitob natijasi). Demak, yong‘in holatida elementning yuklanish darajasi qanchalik past bo‘lsa, kritik harorat shunchalik yuqori bo‘ladi va kamroq himoya talab etiladi: μ0 ni 0,8 dan 0,5 gacha kamaytirish kritik haroratni taxminan 90 °C ga oshiradi.

Uchinchi natija – kesim omilining ta’siri. 3-jadvalda kritik harorat 550 °C (taxminan μ0 = 0,6 ga mos) deb olingan holda himoyalanmagan po‘latning shu haroratga yetish vaqti hamda R 60 va R 90 chegaralarini ta’minlash uchun himoya qatlamining zarur issiqlik qarshiligi (dp/λp) keltirilgan.

3-jadval

Kesim omili, himoyalanmagan po‘latning qizish vaqti va himoya qatlamiga talab

Am/V, m^{-1}	**550 °C ga yetish vaqti (himoyasiz), min**	**R 60 uchun dp/λp, $m^2 \cdot K/Vt$**	**R 90 uchun dp/λp, $m^2 \cdot K/Vt$**
50	21,8	0,037	0,063
100	14,5	0,074	0,126
150	11,6	0,112	0,189
200	9,9	0,149	0,252
300	8,1	0,223	0,377

Manba: muallif hisob-kitobi (EN 1993-1-2 soddalashtirilgan usuli, 2-bo‘lim parametrlari bilan).

3-jadvaldan uchta xulosa kelib chiqadi. Birinchidan, shu parametrlarda hatto eng massiv (Am/V = 50 m^{-1}) kesim ham 30 daqiqaga yetmaydi, ya’ni R 60 va undan yuqori talab himoyasiz po‘lat bilan bajarilmaydi. Ikkinchidan, kesim yupqalashgani sari himoya talabi chiziqli oshadi: Am/V = 300 m^{-1} bo‘lgan yupqa elementga Am/V = 50 m^{-1} li massiv elementga nisbatan 6 baravar katta issiqlik qarshiligi kerak. Uchinchidan, R 60 dan R 90 ga o‘tishda talab qilinadigan qarshilik taxminan 1,7 marta oshadi. Bu, ko‘pchiydigan qoplama qalinligi oshishi bilan yong‘inbardoshlik vaqti ortishi va elementning kesim omilidan bog‘liqligi haqidagi tajriba natijalari bilan mos keladi [7].

To‘rtinchi natija – oshirish usullarining tasnifi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, yong‘inbardoshlikni oshirishning uch yo‘nalishi mavjud. Birinchisi – konstruktiv yo‘nalish: Am/V ni kamaytiruvchi massiv kesim tanlash va yong‘in holatidagi yuklanish darajasi μ0 ni kamaytirish; bu 3-jadval va kritik harorat formulasidan bevosita kelib chiqadi. Ikkinchisi – passiv himoya: olovdan himoyalash suvoqlari, maxsus bo‘yoqlar va loklar [1], ko‘pchiydigan qoplamalar [4, 7] hamda plitali qoplamalar (muallif tasnifi). Ko‘pchiydigan qoplamalar uchun maqbul qalinlikni tanlash algoritmi [4] va qalinlikning yong‘inbardoshlik vaqtiga ta’siri [7] ishlab chiqilgan; tugunlarda himoyalanmagan boltlar bo‘lganda esa harorat alohida hisoblanishi kerak [8]. Uchinchisi – faol va tashkiliy choralar: avtomatik yong‘in o‘chirish va signalizatsiya qurilmalari bilan jihozlash [1], himoya qoplamasini muntazam tekshirish (yiliga kamida 2 marta) va buzilishni darhol tiklash [1].

Beshinchi natija – yuklanish darajasining himoya talabiga ta’siri. Am/V = 150 m^{-1} bo‘lgan kesim uchun kritik harorat 500 °C bo‘lganda R 60 uchun dp/λp = 0,135 $m^2 \cdot K/Vt$,

550 °C da 0,112, 600 °C da 0,092, 650 °C da esa 0,075 m²·K/Vt kerak bo‘ladi (hisob-kitob natijasi). R 90 uchun mos qiymatlar 0,226; 0,189; 0,157 va 0,130 m²·K/Vt. Demak, kritik harorat 500 °C dan 650 °C gacha oshganda (bu taxminan μ0 = 0,8 dan taxminan μ0 = 0,35 gacha kamayishga mos keladi) himoya talabi R 60 uchun taxminan 44 foizga, R 90 uchun taxminan 42 foizga kamayadi. Bu konstruktiv zaxira va himoya qoplamasi o‘rtasida iqtisodiy kelishuv mavjudligini ko‘rsatadi: elementni kuchaytirish himoya qatlamini yupqalashtirish imkonini beradi.

Oltinchi natija – usullarni qiyosiy baholash. 4-jadvalda yong‘inbardoshlikni oshirish usullarining asosiy xususiyatlari umumlashtirilgan.

4-jadval

Yong‘inbardoshlikni oshirish usullarining qiyosiy tavsifi

Usul	Ta’sir mexanizmi	Afzalligi	Cheklovi
Konstruktiv (massiv kesim, μ0 ni kamaytirish)	Am/V va yuklanish darajasini kamaytirib, qizish tezligini va kritik haroratga bog‘liqlikni o‘zgartiradi	Qo‘shimcha himoya materiali kerak emas, davriy tekshirish talab etilmaydi	Metall sarfi ortadi
Olovdan himoyalash suvoqlari, maxsus bo‘yoq va loklar	Po‘latni issiqlikdan izolyatsiya qiladi [1]	Qurilish jarayonida bajariladi, me’yorda nazarda tutilgan	Buzilganda darhol tiklash va yiliga 2 marta tekshirish kerak [1]
Ko‘pchiydigan qoplama	Qizganda shishib issiqlik o‘tkazuvchanligi past qatlam hosil qiladi	Yupqa qatlam, kesimning tashqi ko‘rinishini saqlaydi (muallif tasnifi)	Qalinlik kesim omili va yuklanishga bog‘liq, sinov talab etadi [4, 7]
Plitali qoplama (yonmaydigan plitalar)	Kesimni issiqlik izolyatsiyalovchi plitalar bilan o‘raydi	Qalinlik oson nazorat qilinadi (muallif tasnifi)	Kesim hajmi va montaj mehnati oshadi (muallif tasnifi)
Faol himoya (avtomatik o‘chirish, signalizatsiya)	Yong‘inni erta aniqlab, harorat o‘sishini cheklaydi	Evakuatsiya va o‘chirishga vaqt beradi	Konstruksiya hisobini o‘zi almashtirmaydi [1]

Manba: [1, 4, 7] va muallif tahlili asosida.

MUHOKAMA

Natijalar po‘lat konstruksiyalar yong‘inbardoshligini oshirishda hal qiluvchi omillar – kesim omili, yuklanish darajasi va himoya qatlami qarshiligi ekanini ko‘rsatadi. Buchanan va Abu ham po‘lat konstruksiyalar yong‘inga chidamliligini haroratning ta’siri va kritik harorat tushunchalari asosida hisoblashni asosiy usul sifatida bayon etgan [5], ushbu maqolada ham xuddi shu mantiq qo‘llangan. Qiyosiy xulosa shuki, himoyani tanlash faqat qoplama turiga emas, birinchi navbatda konkret kesim va uning yuklanishiga bog‘liq: bir xil qalinlikdagi qoplama yupqa kesimga yetarli bo‘lmasligi, massiv kesimga esa ortiqcha bo‘lishi mumkin [7].

Usulning cheklovlari bor. Birinchidan, soddalashtirilgan hisob haroratni kesim bo‘yicha bir xil deb oladi va soya ta’sirini hisobga olmaydi; real yong‘in standart egri chiziqdan farq

qilishi mumkin. Ikkinchidan, kritik harorat formulasi 4-sinf kesimlarga qo‘llanmaydi (ular uchun 350 °C qabul qilinadi) [6]. Uchinchidan, himoya qatlamining issiqlik sig‘imi hisobga olinmagani uchun natijalar taxminiy; real qoplamaning ekvivalent issiqlik o‘tkazuvchanligi qalinlik va kesim omiliga bog‘liq bo‘lib, sinov asosida aniqlanadi [7]. To‘rtinchidan, himoya vaqt o‘tishi bilan buzilishi mumkin, shu sababli [1] talab qilgan davriy tekshirish tizimning ajralmas qismidir. Murakkab konstruksiyalar uchun kengaytirilgan hisob usullari qo‘llanishi kerak [5].

Hisob natijalaridan foydalanishni shartli misolda ko‘rsatamiz. Faraz qilaylik, Am/V = 150 m^{-1} bo‘lgan 1–3-sinf kesimli ustun uchun $\mu 0 \approx 0{,}6$ ($\theta cr \approx 554$ °C) va R 60 talab qilinadi. 3-jadvalga ko‘ra, himoya qatlamining zarur qarshiligi $dp/\lambda p \approx 0{,}112$ $m^2 \cdot K/Vt$. Agar tanlangan material uchun ekvivalent issiqlik o‘tkazuvchanligi $\lambda p = 0{,}1$ $Vt/(m \cdot K)$ deb olinsa, talab qilinadigan qalinlik $dp \approx 11$ mm, $\lambda p = 0{,}2$ $Vt/(m \cdot K)$ bo‘lsa $dp \approx 22$ mm bo‘ladi; R 90 uchun (0,189 $m^2 \cdot K/Vt$) mos ravishda taxminan 19 va 38 mm. λp qiymatlari bu yerda faqat hisob tartibini ko‘rsatish uchun shartli olingan, real qiymat ishlab chiqaruvchining sertifikatlangan sinov ma’lumotlaridan olinishi kerak.

Natijalarni amaliyotda qo‘llash uchun quyidagi tanlash algoritmi taklif etiladi: (1) yong‘in holatidagi yuklanish darajasi $\mu 0$ ni hisoblash; (2) kritik harorat θcr ni aniqlash (4-sinf kesimlar uchun 350 °C); (3) kesim omili Am/V ni hisoblash; (4) himoyalanmagan elementning θcr ga yetish vaqtini talab qilingan R bilan solishtirish; (5) yetarli bo‘lmasa, avval konstruktiv choralarni (kesimni kattalashtirish, $\mu 0$ ni kamaytirish) ko‘rib chiqish; (6) kerakli $dp/\lambda p$ ni hisoblab, mos himoya turi va qalinligini sinov ma’lumotlari asosida tanlash; (7) ishga tushirilgandan so‘ng qoplama holatini [1] ga ko‘ra tekshirib borish. Variantlar xarajat bo‘yicha taqqoslanadi: konstruktiv zaxira materialni ko‘paytiradi, himoya qoplamasi esa material va ishlov xarajatini talab qiladi.

XULOSA

Po‘lat konstruksiyalarning yong‘inbardoshligi uchta asosiy omilga bog‘liq: kesim omili Am/V, yong‘in holatidagi yuklanish darajasi $\mu 0$ va himoya qatlamining issiqlik qarshiligi $dp/\lambda p$. Bajarilgan hisob-kitoblarga ko‘ra, standart yong‘inda himoyalanmagan po‘lat kritik haroratga atigi 8–22 daqiqada yetadi, shuning uchun R 60 va undan yuqori chegaralar uchun himoya yoki konstruktiv zaxira zarur.

Kesim yupqalashgani sari himoyaga talab chiziqli o‘sadi (Am/V = 300 m^{-1} uchun Am/V = 50 m^{-1} ga nisbatan 6 baravar), R 90 uchun talab R 60 ga nisbatan taxminan 1,7 marta yuqori. Yuklanish darajasini 0,8 dan 0,5 gacha kamaytirish kritik haroratni taxminan 90 °C ga oshiradi.

Taklif etilgan yetti bosqichli algoritm baholash va oshirish usullarini yagona tartibga solishga imkon beradi. Keyingi tadqiqotlarda hisob natijalarini mahalliy ishlab chiqaruvchilarning ko‘pchiydigan qoplamalari sinov ma’lumotlari va pech sinovlari bilan taqqoslash, xarajat bo‘yicha qiyosiy tahlil o‘tkazish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020 yil 20 oktabrdagi 649-son qarori bilan tasdiqlangan Yong‘in xavfsizligi qoidalari. – https://lex.uz/ru/docs/-5056473
2. ShNQ 2.01.02-04 «Bino va inshootlarning yong‘in xavfsizligi» shaharsozlik normalari va qoidalari.
3. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988.
4. Столяров С.О. Алгоритм подбора оптимальной толщины огнезащитных покрытий для металлических конструкций // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2025. – №4 (76). – С. 157–170. – https://doi.org/10.61260/1998-8990-2025-4-157-170
5. Buchanan A.H., Abu A.K. Structural Design for Fire Safety. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2017. – 440 p. – ISBN 978-0-470-97289-2.
6. EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. – Brussels: CEN, 2005.
7. Mesquita L.M.R., Piloto P.A.G., Roque S., Vaz M.A.P. Fire resistance of steel members protected with intumescent coatings. – 2012. – https://bibliotecadigital.ipb.pt/entities/publication/c7ed71d3-1b7d-4f40-b225-647e5387628f/full
8. Dai X., Wang Y., Bailey C. Simple method to predict temperatures in steel joints with partial intumescent coating fire protection // Fire Technology. – 2010. – Vol. 46, No. 1. – P. 19–35.
9. ISO 834-1. Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements. – Geneva: ISO.