

O'ZBEKISTON SHAROITIDA AVTOMOBIL YO'LLARI TEMIR-BETON KO'PRIKLARI TO'SINLI ORALIQ QURILMALARINING KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI OPTIMALLASHTIRISH SHARTLARINI TAHLIL QILISH

Salixanov Saidxon Salixanovich¹, Tilovqobilova Moxinur Oybek qizi²

^{1,2} Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston Respublikasi

E-mail: saidkhansalikhanov@gmail.com

tilovqobilova1998mohinur@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada O'zbekiston Respublikasi sharoitida avtomobil yo'llari temir-beton ko'priklarining to'sinli oraliq qurilmalari konstruktiv parametrlarini optimallashtirishning zaruriy shartlari tahliliy nuqtayi nazardan ko'rib chiqilgan. Dastlabki masala qo'yilishida ko'rib chiqilgan konstruktiv sxemalar, asosiy geometrik parametrlar va ularning kuchlanish-deformatsiya holatiga ta'siri tahlil qilingan. Temir-beton konstruksiyalarni optimal loyihalash bo'yicha klassik hisoblash yondashuvlari zamonaviy tadqiqotlar bilan qiyoslangan. Geometriya, armaturalash, mustahkamlik va ekspluatatsion yaroqlilik talablari, shuningdek iqtisodiy va uzoq muddat xizmat qilish mezonlarini birgalikda hisobga olish zarurati bilan bog'liq ilmiy muammo aniqlashtirilgan. Keyingi sonli tadqiqot uchun O'zbekistondagi aniq obyekt bo'yicha hisoblash hududi va seysmik sharoit, harorat ta'sirlari, transport yuklamasi modeli, materiallar, xizmat muddati hamda konstruktiv o'zgaruvchilar diapazonlarini belgilash zarurligi ko'rsatilgan. Keltirilgan egilish grafigi aniq ko'priklar hisobi natijasi emas, balki shartli matematik misol ekanligi ochiq ko'rsatilgan. Ushbu maqolada sonli optimallashtirish bajarilmaydi.

Kalit so'zlar: ko'priklar inshootlari, to'sinli oraliq qurilmalar, temir-beton konstruksiyalar, optimallashtirish, kuchlanish-deformatsiya holati, mustahkamlik, bikirlik, material sarfi, qiymat, uzoq muddat xizmat qilish, ko'p mezonli optimallashtirish.

ANALYSIS OF THE PREREQUISITES FOR OPTIMIZING STRUCTURAL PARAMETERS OF BEAM SPAN STRUCTURES OF HIGHWAY REINFORCED CONCRETE BRIDGES IN UZBEKISTAN

Salixanov Saidxon Salixanovich¹, Tilovqobilova Moxinur Oybek qizi²

^{1,2} Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston Respublikasi

E-mail: saidkhansalikhanov@gmail.com

tilovqobilova1998mohinur@gmail.com

Abstract: The paper presents an analytical review of the prerequisites for optimizing structural parameters of beam span structures of highway reinforced concrete bridges with regard to the conditions of the Republic of Uzbekistan. The study considers the structural systems used in the initial problem statement, the main geometric parameters, and their

qualitative influence on the stress-strain state. Classical calculation relationships are compared with recent studies on optimum reinforced-concrete design. The research gap is formulated as the need to jointly account for geometry, reinforcement, strength and serviceability requirements, and economic and durability criteria. The input data required for a subsequent numerical study are identified, including the design region and seismic conditions, temperature actions, traffic load model, materials, design service life, and ranges of structural variables. The deflection graph is explicitly treated as a conditional mathematical example rather than a calculation result for a specific bridge. No numerical optimization is performed in this paper.

Keywords: *bridge structures, beam span structures, reinforced concrete, optimization, stress-strain state, strength, stiffness, material consumption, cost, durability, multi-objective optimization.*

1. KIRISH

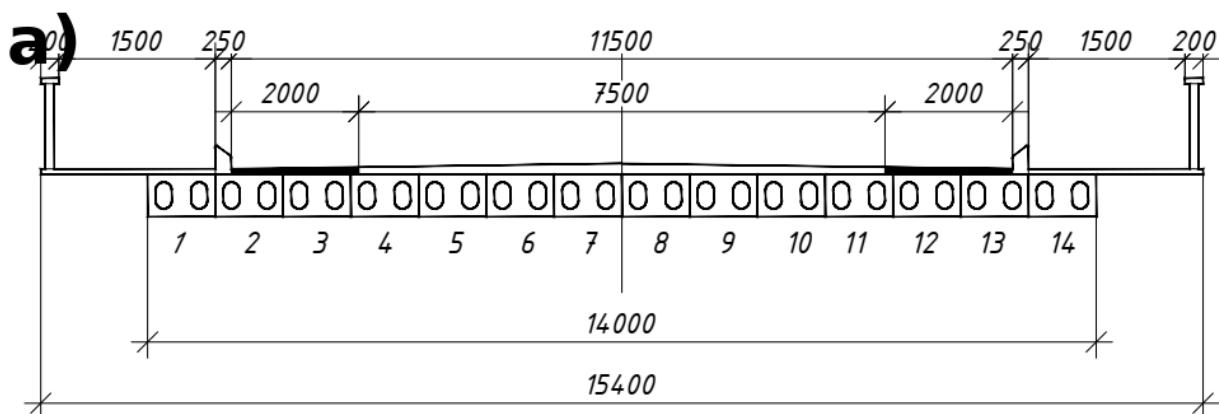
Avtomobil yo'llari, transport chorrahalari, yo'l o'tkazgichlari va ko'priklarni rivojlantirish, shuningdek transport infratuzilmasiga qo'yilayotgan ishonchlilik talablari ortib borishi O'zbekiston Respublikasida mavjud loyihaviy yechimlarni takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda [1]. Oraliq qurilmalar ko'priklarning mas'uliyatli elementlari bo'lib, doimiy va vaqtinchalik ta'sirlarni qabul qiladi; ularning konstruktiv sxemasi va parametrlari mustahkamlik, bikirlik, uzoq muddat xizmat qilish va iqtisodiy samaradorlikka ta'sir ko'rsatadi.

Ko'priksozlikda temir-beton to'sinli tizimlar keng qo'llaniladi. Dastlabki maqola masala qo'yilishida uzunligi 12, 15 va 18 m bo'lgan ichi bo'sh plitalardan tashkil topgan kesma oraliq qurilmalar; uzunligi 24 va 33 m bo'lgan qovurg'ali to'sinlar; uzunligi 42 m bo'lgan yig'ma va to'liq tashiladigan qovurg'ali to'sinlar; shuningdek 33+42+33 m uzluksiz plitali-qovurg'ali sxemani ko'rib chiqqan. Bu diapazonlar barcha O'zbekiston ko'priklarining statistik tanlanmasi emas, balki masala qo'yilishining boshlang'ich obyektlari sifatida qaraladi.

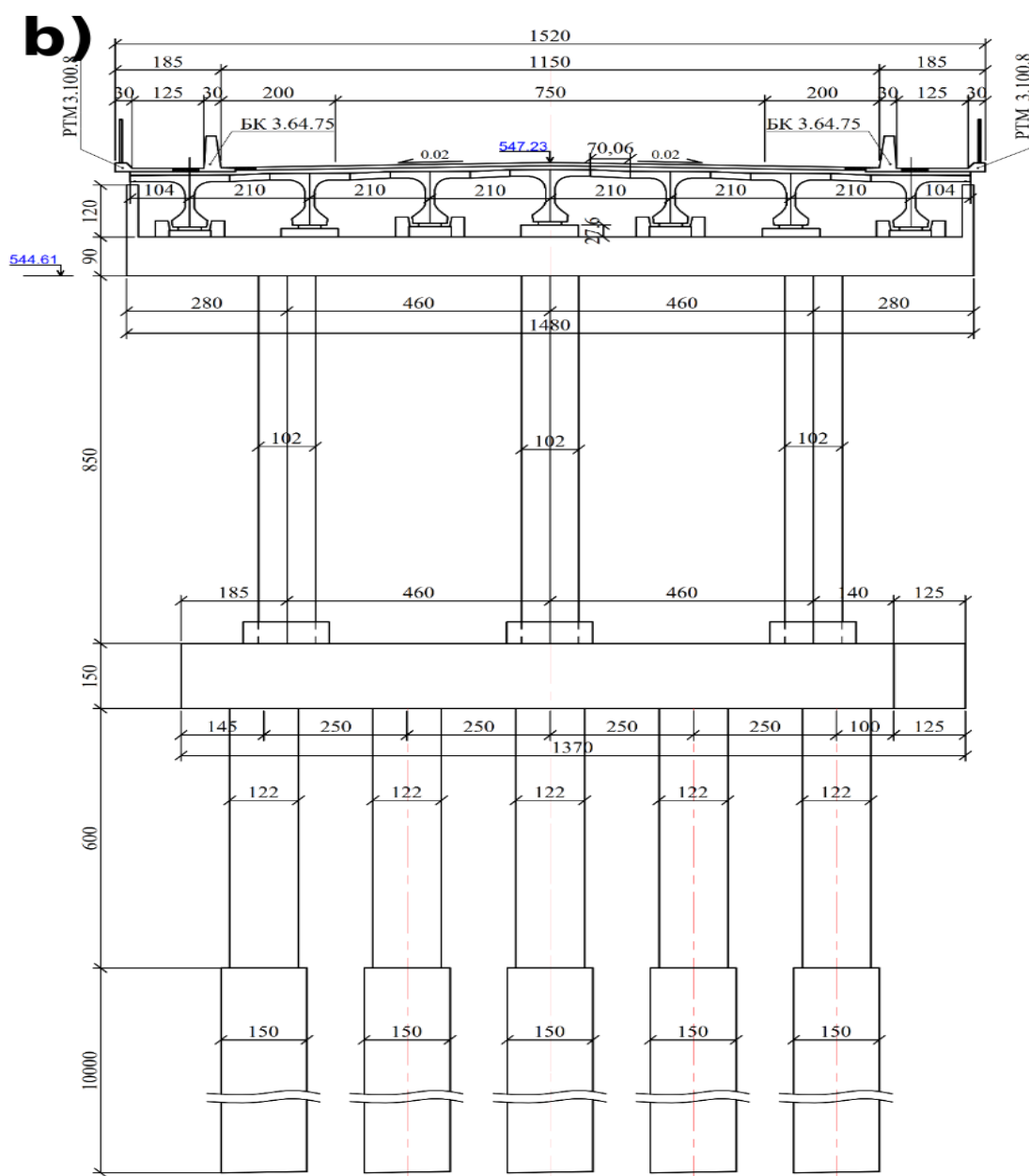
Muayyan sxemalarning keng tarqalganligini tasdiqlash uchun kelgusida tipik loyihalar, ko'priklar reyestrlari, loyiha tashkilotlari arxivlari yoki ko'priklarni tekshirish natijalaridan foydalanish zarur. Shu sababli ushbu maqolada har bir turdagi oraliq qurilmaning ulushi bo'yicha miqdoriy xulosa berilmaydi.

2. KO'RIB CHIQILAYOTGAN KONSTRUKTIV SXEMALAR

Dastlabki masala qo'yilishida yig'ma va yaxlit quyma temir-beton to'sinli oraliq qurilmalar ko'rib chiqilgan. Ikki tipik ko'ndalang kesim 1-rasmda keltirilgan. Chizmalarda bevosita ko'rsatilgan barcha o'lchamlar millimetrdan berilgan.



1a-rasm – Ikki bo‘shliqli plitalardan tashkil topgan oraliq qurilmaning ko‘ndalang kesimi; chizmadagi o‘lchamlar, mm.



1b-rasm – Qovurg‘ali to‘sinlardan tashkil topgan oraliq qurilmaning ko‘ndalang kesimi; chizmadagi o‘lchamlar, mm. Manba: maqolaning dastlabki materiallari grafik qayta ishlangan.

Amaliy loyihalashda parametrlarni tanlash to‘sin balandligi va eni, to‘sinlar qadami, qatnov qismi plitasi qalinligi, armaturalash parametrlari va hisoblash sxemasini o‘z ichiga olishi mumkin. Kelgusidagi optimallashtirish modelida bu parametrlar aniq diapazon va texnologik cheklovlarga ega o‘zgaruvchilar sifatida berilishi kerak.

3. TADQIQOTLAR TAHLILI VA MUAMMONI QO‘YISH

Temir-beton nazariyasi, qurilish mexanikasi, ishonchlilik va optimal loyihalashga oid klassik ishlar [5–17] hisoblash va metodik asosni tashkil etadi. Adabiyotlarning zamonaviy qismi 2021–2025-yillardagi temir-beton elementlar va ko‘prik konstruksiyalarini optimallashtirishga bevosita aloqador tadqiqotlar bilan to‘ldirildi. Zamonaviy qismni tanlashda maqsad funksiyalari, loyihalash o‘zgaruvchilari, cheklovlar va/yoki yechimni izlash usuli aniq bayon qilingan ishlar tanlandi; ko‘p mezonli, qiymat, ekspluatatsiya yoki uzoq muddat xizmat qilish mezonlari mavjud tadqiqotlarga ustuvorlik berildi.

Yücel, Nigdeli va Bekdaş temir-beton konstruksiyalarni iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlarni hisobga olgan holda ko‘p mezonli optimallashtirishni ko‘rib chiqqan [21]. Pierott va hammualliflar temir-beton to‘sinlarini loyihalash va armaturalash uchun geometrik parametrlar, beton mustahkamligi va armaturalash o‘zgaruvchilari hamda mustahkamlik va ekspluatatsion yaroqlilik bo‘yicha cheklovlarga ega matematik optimallashtirish modelini taklif qilgan [22]. Okasha va hammualliflar matematik optimallashtirishdan keyin muhandislik nuqtayi nazaridan yaqin-optimal yechimlarni tanlash muhimligini ko‘rsatgan [23]. Sahebi va Dehestani korroziya ta’siri hamda hayotiy sikl qiymatini hisobga olgan [24]. Li, Qi va Wang kichik va o‘rta oraliqli oldindan zo‘riqtirilgan quti kesimli oraliq qurilmalar uchun ko‘p mezonli optimallashtirishni qo‘llagan [25].

Shunday qilib, zamonaviy adabiyotlarda maqsad funksiyalari, o‘zgaruvchilar, cheklovlar va qidiruv algoritmlari bir-biridan farq qiladi. Ushbu maqola yangi algoritmi yoki bajarilgan sonli hisoblashni da’vo qilmaydi. Uning ilmiy vazifasi ko‘rib chiqilayotgan temir-beton to‘sinli oraliq qurilmalar uchun O‘zbekiston sharoitining xususiyatlarini hisobga olgan holda kelgusidagi optimallashtirish masalasining shartlarini tizimlashtirish va shakllantirishdan iborat.

Tadqiqotdagi bo‘shliq muayyan O‘zbekiston hududi uchun xos boshlang‘ich ta’sirlar, tanlanadigan konstruktiv parametrlar va ko‘rib chiqilayotgan oraliq qurilmalar uchun ratsionallik mezonlari o‘rtasidagi bog‘liqlikning yetarli darajada aniqlashtirilmaganligi sifatida ifodalanadi.

3.1. O‘zbekiston sharoiti uchun boshlang‘ich ma’lumotlar

Kelgusidagi sonli tadqiqot uchun hisoblash hududi va unga mos seysmik sharoitlar; harorat diapazoni va zarur hollarda harorat gradienti; transport yuklamasi modeli va hisobiy yuklama birikmalari; beton va armatura sinflari; geometrik parametrlar diapazonlari; hisobiy xizmat muddati va degradatsiya modeli aniq belgilanishi kerak. O‘zbekistonning milliy me’yoriy

bazasida iqlimiy ma'lumotlar, seysmik sharoitlarda transport inshootlarini qurish, beton va temir-beton konstruksiyalar hamda ko'priklar bo'yicha alohida hujjatlar mavjud [1–4].

Harorat ta'siri tayanchlanish sxemasi va harorat deformatsiyalarining amalga oshish imkoniyatini hisobga olgan holda hisobga kiritilishi kerak. Seysmik ta'sirlar tanlangan hisoblash hududi va me'yoriy hisoblash modeli asosida berilishi lozim. Gruntning agressiv ta'sirini poydevor va tayanchlardan avtomatik ravishda oraliq qurilmaga ko'chirish mumkin emas: ta'sir mexanizmlari va hisobiy oqibatlari alohida ajratilishi kerak.

Ushbu maqolada aniq ko'prik uchun harorat, seysmik intensivlik, transport yuklamasi va xizmat muddati bo'yicha sonli qiymatlar belgilanmaydi, chunki muayyan ko'priknining hisobi bajarilmagan. Bu cheklov muhim bo'lib, maqolani yakunlangan sonli tadqiqot sifatida ko'rsatmaslik uchun kiritilgan.

Omil	Kelgusidagi model uchun parametr / ta'sir
Harorat ta'sirlari	Hisobiy diapazon va harorat gradienti; harorat kuchlanishlari tayanchlanish sxemasiga bog'liq.
Seysmik ta'sirlar	Tanlangan hisoblash hududiga muvofiq hisobiy dinamik ta'sirlar va yuklama birikmalari.
Transport yuklamalari	Qabul qilingan me'yoriy model, intensivlik va doimiy hamda vaqtinchalik ta'sirlarning birikmalari.
Agressiv muhit	Degradatsiya mexanizmi, poydevor va tayanchlardagi ta'sirlardan alohida ravishda oraliq qurilmaga ta'sir; hisobiy xizmat muddati.
Geometriya va materiallar	h , b , to'sinlar qadami, plita qalinligi, beton va armatura sinflari diapazonlari.

1-jadval – Keyingi sonli tadqiqot uchun asosiy boshlang'ich omillar

Me'yoriy hujjatlar xavfsizlik, mustahkamlik va ekspluatatsion yaroqlilikka qo'yiladigan majburiy talablarni belgilaydi. Ushbu ishda milliy me'yorlar kelgusidagi cheklovlarning asosi sifatida, AASHTO va Eurocode esa faqat qiyosiy metodik baza sifatida qaraladi. O'zbekiston Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining rasmiy ro'yxatida ShNQ 2.05.03-22 «Ko'priklar va quvurlar» hamda 23.01.2024-yildagi qo'shimcha, shuningdek seysmik hududlarda transport inshootlari bo'yicha ShNQ 2.01.20-24 va beton hamda temir-beton konstruksiyalar bo'yicha ShNQ 2.03.01-24 kabi hujjatlar keltirilgan [1–4]. Muayyan sonli obyekt uchun ushbu hujjatlarning amaldagi tahriridagi tegishli bandlari hisoblashdan oldin qo'shimcha tekshirilishi kerak.

Xalqaro qiyoslash uchun AASHTO LRFD Bridge Design Specificationsning 2024-yildagi 10-nashridan foydalanish lozim [26]. An'anaviy loyihalash faqat mustahkamlik bilan

cheklanadi, degan fikr haddan tashqari umumlashtirilgan: zamonaviy loyihalash ekspluatatsion yaroqlilik, uzoq muddat xizmat qilish va konstruktiv cheklovlarni ham o'z ichiga oladi.

4. KONSTRUKTIV PARAMETRLARNING KUCHLANISH-DEFORMATSIYA HOLATIGA TA'SIRI

Quyidagi asosiy bog'lanishlar faqat oraliq, yuklama va bikirlikning sifat jihatidan ta'sirini tushuntirish uchun keltirilgan. Ular doimiy bikirlikka ega, bir tekis taqsimlangan yuk ostidagi ikki tayanchli to'sin uchun qo'llanadi. Tegishli hisobiy asoslansiz ularni uzluksiz ko'priklarni yoki real harakatlanuvchi transport yuklamalariga bevosita tatbiq etib bo'lmaydi.

Bir tekis taqsimlangan yuk ta'siridagi ikki tayanchli to'sin uchun oraliq o'rtasidagi egilish momenti:

$$M_{\max} = qL^2 / 8 \quad (1)$$

bu yerda $M_{\max}$ — maksimal egilish momenti, $\text{kN}\cdot\text{m}$; q — bir tekis taqsimlangan hisobiy yuklama, kN/m ; L — hisobiy oraliq, m. q va hisoblash sxemasi o'zgarmaganda moment L ning kvadratiga proporsional ravishda ortadi.

Xuddi shu ideallashtirilgan sxema uchun oraliq o'rtasidagi egilish:

$$f_{\max} = 5qL^4 / (384EI) \quad (2)$$

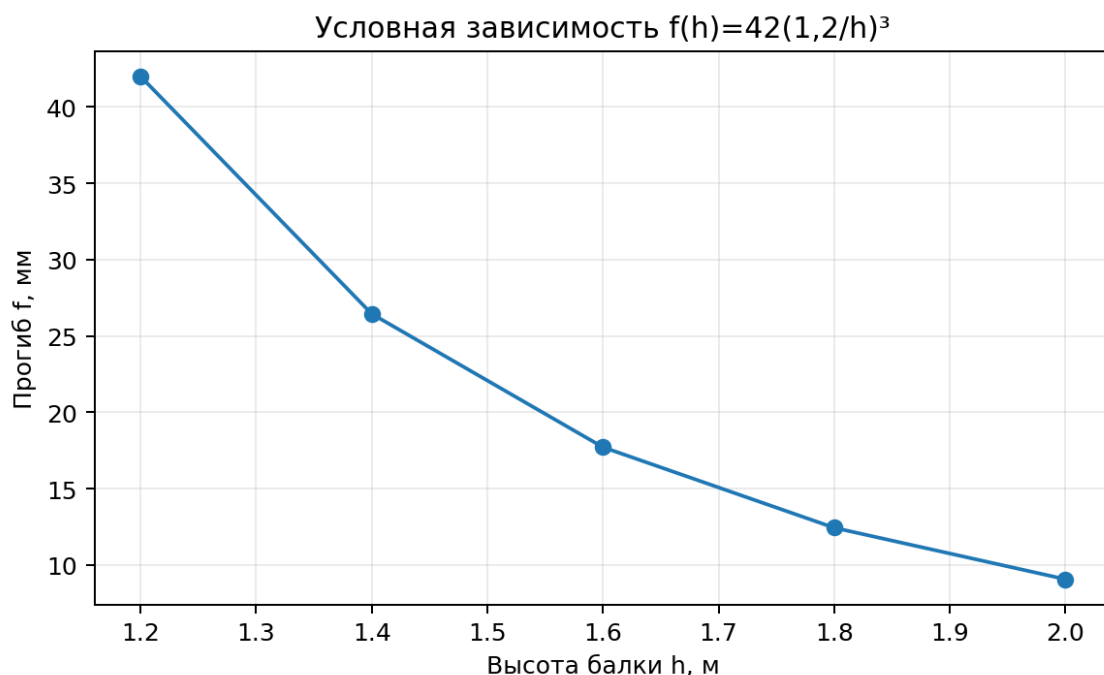
bu yerda $f_{\max}$ — maksimal egilish, m; E — materialning elastiklik moduli, Pa; I — kesimning inertsia momenti, m^4 . Demak, q , E va I o'zgarmaganda egilish oraliqning to'rtinchi darajasiga proporsional.

To'g'ri to'rtburchak kesim uchun soddalashtirilgan holda:

$$I = bh^3 / 12 \quad (3)$$

bu yerda b — kesim eni, m; h — kesim balandligi, m. Shuning uchun b , E , q va L o'zgarmaganda h ning ortishi hisobiy egilishning taxminan h^{-3} qonun bo'yicha kamayishiga olib keladi. Qovurg'ali, tavrSimon va bo'shliqli kesimlar uchun inertsia momenti haqiqiy geometriya bo'yicha aniqlanishi kerak; to'g'ri to'rtburchak kesim formulasidan foydalanilmaydi.

Ushbu maqolada shartli grafik $f(h)=42(1,2/h)^3$, mm bog'lanishi asosida qurilgan. Bu kubik bog'lanishni qayta hosil qilib ko'rsatish uchun tanlangan matematik misol bo'lib, muayyan ko'priklarning hisob-kitobi emas va optimal balandlikni aniqlash uchun ishlatilmaydi.



2-рasm – To‘sin balandligiga nisbatan $f(h)=42(1,2/h)^3$ shartli matematik bog‘lanishi; grafikda real ko‘prik parametrlari berilmagan.

h, m	Formula bo‘yicha f, mm	Yaxlitlangan f, mm
1.2	42.000	42.0
1.4	26.449	26.4
1.6	17.719	17.7
1.8	12.444	12.4
2.0	9.072	9.1

2-jadval – 2-rasmdagi shartli grafikning qayta hosil qilinadigan qiymatlari

Real hisoblashda qo‘shimcha ravishda o‘z og‘irligi, yoriqlanish va temir-beton elementning haqiqiy bikirligi, betonning sudralishi va kirishishi, mavjud bo‘lsa oldindan zo‘riqtirish, shuningdek doimiy va vaqtinchalik ta’sirlarning me’yoriy birikmalari hisobga olinishi kerak.

5. KO‘P MEZONLI OPTIMALLASHTIRISH MASALASINI QO‘YISH

Konstruktiv yechimning ratsionalligi bitta mezon bilan belgilanmasligi kerak. Chegaraviy holatlarning mustahkamlik va ekspluatatsion yaroqlilik bo‘yicha tekshiruvlari majburiy cheklovlar sifatida, qiymat, material sarfi va uzoq muddat xizmat qilish esa ruxsat etilgan yechimlarni taqqoslash mezonlari sifatida berilishi lozim.

- yuk ko‘tarish qobiliyati va mustahkamlikning chegaraviy holatlari talablarining bajarilishi;
- bikirlik, egilishlar va yoriqlar ochilishi ekspluatatsion yaroqlilik talablari sifatida;
- qurilish qiymati va, ma’lumotlar mavjud bo‘lsa, hayotiy sikl qiymati;
- beton va armatura sarfi;
- uzoq muddat xizmat qilish va kutilayotgan texnik xizmat xarajatlari.

x o'zgaruvchilar sifatida kesim balandligi va eni, to'sinlar qadami, plita qalinligi, armatura yuzasi va sxemasi, beton sinfi va zarur hollarda oldindan zo'riqtirish parametrlari qaralishi mumkin. Har bir o'zgaruvchi uchun ruxsat etilgan diapazon belgilanishi kerak.

Normallangan vaznli funksiyaning konseptual ko'rinishi quyidagicha berilishi mumkin:

$$F(x) = w_1J_1(x) + w_2J_2(x) + w_3J_3(x) + w_4J_4(x) + w_5J_5(x) \rightarrow \min \quad (4)$$

bu yerda J_i — yaxshilanish yo'nalishi bir xil ko'rinishga keltirilgan normallangan mezonlar; w_i — vaznlar, $\sum w_i = 1$; x — loyihaviy o'zgaruvchilar vektori. Vaznli yondashuvda vaznlar va boshlang'ich ma'lumotlarga sezgirlik tahlili bajarilishi kerak. Alternativa sifatida Pareto yondashuvidan foydalanib, dominant bo'lmagan yechimlar to'plami shakllantirilishi mumkin.

Qiymat va material sarfini ularning o'zaro bog'liqligini tahlil qilmasdan to'liq mustaqil mezonlar sifatida qarash mumkin emas, chunki material sarfi bevosita qiymatga ta'sir qiladi. Biroq hayotiy sikl qiymati xizmat ko'rsatish, ta'mirlash va degradatsiyani o'z ichiga olsa, alohida mezon sifatida ajratilishi mumkin.

Shunday qilib, keltirilgan qo'yilish kelgusidagi sonli tadqiqot konsepsiyasidir. Ushbu maqolada vaznlar, o'zgaruvchilar diapazonlari, sonli cheklovlar va Pareto to'plami hisoblanmaydi.

6. ISHNING MAQSADI, VAZIFALARI VA CHEKLOVLARI

Ushbu ishning maqsadi O'zbekiston Respublikasi sharoitida ko'rib chiqilayotgan avtomobil yo'llari temir-beton to'sinli oraliq qurilmalar elementlarining konstruktiv parametrlarini optimallashtirish masalasining shartlarini tizimlashtirish va asoslangan holda shakllantirishdan iborat. Ushbu maqolada muayyan ko'priklarning sonli optimallashtirilishi bajarilmaydi.

- boshlang'ich konstruktiv sxemalar va parametrlarni tahlil qilish;
- ideallashtirilgan bog'lanishlar doirasida geometriyaning kuchlanish-deformatsiya holatiga sifat jihatidan ta'sirini tahlil qilish;
- kelgusidagi matematik modelning o'zgaruvchilari, cheklovlari va mezonlarini tizimlashtirish;
- iqlimiy, seysmik, transport va uzoq muddat xizmat qilish omillarini hisobga olish uchun zarur boshlang'ich ma'lumotlarni aniqlash;
- keyingi sonli modellashtirish va muhandislik tanlovi uchun metodik asos yaratish.

XULOSALAR

• O'tkazilgan tahliliy sharh O'zbekiston sharoitida avtomobil yo'llari temir-beton ko'priklarining to'sinli oraliq qurilmalari konstruktiv parametrlarini optimallashtirish dolzarb ekanligini tasdiqlaydi, biroq allaqachon bajarilgan sonli optimallashtirish mavjudligini tasdiqlamaydi.

• Kelgusidagi optimallashtirish masalasining asosiy o'zgaruvchilari sifatida kesimning geometrik parametrlari, to'sinlar qadami, plita qalinligi, armaturalash parametrlari va material xususiyatlari qaralishi mumkin. Mustahkamlik, bikirlik va yoriqbardoshlilik talablari cheklovlar sifatida berilishi kerak.

• O'zbekistondagi muayyan obyekt uchun hisoblash hududi, seysmik sharoit, harorat ta'sirlari, transport yuklamasi modeli, materiallar, parametrlar diapazoni va hisobiy xizmat

muddati belgilanishi zarur. Ushbu maqolada bu qiymatlar muayyan ko'priklarning boshlang'ich ma'lumotlari sifatida ko'rsatilmagan.

- Soddalashtirilgan bog'lanishlar shuni ko'rsatadiki, bir tekis yuklangan ikki tayanchli to'sinning egilish momenti oraliq kvadratiga, egilish esa oraliqlarning to'rtinchi darajasiga va bikirlikka bog'liq. $f(h)=42(1,2/h)^3$ shartli grafigi faqat matematik qonuniyatni namoyish etadi va iqtisodiy optimal yechimni isbotlamaydi.

- Keyingi tadqiqot hisobiy tipik oraliq qurilma modelini, amaldagi me'yoriy yuklamalar va ularning birikmalarini, haqiqiy temir-beton kesim geometriyasini, chegaraviy holatlar tekshiruvlarini, Pareto tahlili yoki asoslangan vaznli funksiyani hamda sezgirlik tahlilini o'z ichiga olishi kerak.

- Shunday qilib, ushbu maqolaning ilmiy hissasi muayyan optimal konstruktiv yechimni da'vo qilishda emas, balki keyingi optimallashtirish masalasining tizimlashtirilgan va qayta hosil qilinadigan qo'yilishini shakllantirishdan iborat.

ADABIYOTLAR

1. ShNQ 2.05.03–22. Ko'priklar va quvurlar. 23.01.2024-yildagi qo'shimcha hisobga olingan. Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi, 2022–2024.
2. ShNQ 2.01.20–24. Seysmik hududlarda transport inshootlari qurilishi. Toshkent, 2024.
3. ShNQ 2.03.01–24. Beton va temir-beton konstruksiyalar. Toshkent, 2024.
4. ShNQ 2.01.01–22. Loyihalash uchun iqlimiy va fizik-geologik ma'lumotlar. Toshkent, 2022.
5. Rjanitsin A.R. Qurilish konstruksiyalarini hisoblash nazariyasi. M.: Stroyizdat, 1978.
6. Bazhenov Yu.M. Temir-beton konstruksiyalar. M.: ASV, 2011.
7. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Temir-beton konstruksiyalar. M.: ASV nashriyoti, 2002.
8. Karpenko N.I. Temir-betonning umumiy nazariyasi. M.: Stroyizdat, 1996.
9. Mironov V.V. Ko'priklar. M.: Transport, 1991.
10. Kudryavtsev V.A. Ko'priklar va transport inshootlari. M.: Transport, 2007.
11. Neves L.C., Frangopol D.M. Life-cycle performance of structures: Combining expert judgment and results of inspection // Life-Cycle Civil Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2008. P. 409–414. ISBN 978-0-415-46857-2.
12. Melchers R.E. Structural Reliability Analysis and Prediction. Chichester: Wiley, 1999.
13. Nowak A.S., Collins K.R. Reliability of Structures. Boca Raton: CRC Press, 2013.
14. Frangopol D.M., Kawatani M., Kim C.W. (eds.). Reliability and Optimization of Structural Systems: Assessment, Design, and Life-Cycle Performance. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 978-0-415-40655-0.
15. Arora J.S. Introduction to Optimum Design. Amsterdam: Elsevier, 2012.

16. Haftka R.T., Gürdal Z. Elements of Structural Optimization. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992.
17. Rao S.S. Engineering Optimization: Theory and Practice. New York: Wiley, 2009.
18. Barker R.M., Puckett J.A. Design of Highway Bridges. Hoboken: Wiley, 2013.
19. Menn C. Prestressed Concrete Bridges. Basel: Birkhäuser, 1990. ISBN 978-3-0348-9920-8.
20. SP 35.13330.2011. Ko‘priklar va quvurlar. M.: Rossiya Mintaqaviy rivojlanish vazirligi, 2011.
21. Yücel M., Nigdeli S.M., Bekdaş G. Generation of sustainable models with multi-objective optimum design of reinforced concrete (RC) structures // Structures. 2022. Vol. 40. P. 223–236. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.04.020.
22. Pierott R., Hammad A.W.A., Haddad A., García S.L.G., Falcón G. A mathematical optimisation model for the design and detailing of reinforced concrete beams // Engineering Structures. 2021. Vol. 245. Article 112861. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112861.
23. Okasha N.M., Alzo‘ubi A.K., Mughieda O., Kewalramani M., Almasri A.H. A near-optimum multi-objective optimization approach for structural design // Ain Shams Engineering Journal. 2024. Vol. 15, Issue 2. Article 102388. DOI: 10.1016/j.asej.2023.102388.
24. Sahebi M., Dehestani M. Sustainability assessment of reinforced concrete beams under corrosion in life-span utilizing design optimization // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 65. Article 105737. DOI: 10.1016/j.jobee.2022.105737.
25. Li Z., Qi J., Wang J. Multi-Objective Optimization Design of PCS Box Girder Bridges with Small and Medium Spans Using Genetic Algorithms // Buildings. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 361. DOI: 10.3390/buildings15030361.
26. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 10th ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2024.