

Эксплуатациядаги темирбетон кўприklarининг техник ҳолатини баҳолашда замонавий мониторинг усулларининг аҳамияти

Иномжон Ганиев
Элдор Мўминов
Ахаджон Мўминов
Дилдора Равшанова
Жиззах политехника институти

Аннотация: Мазкур мақолада темирбетон кўприklarининг узок муддатли эксплуатацияси давомида юзага келадиган конструктив ўзгаришлар, ёриқлар, деформация ва тебраниш ҳолатларини ўз вақтида аниқлаш мақсадида замонавий мониторинг технологияларини жорий этиш масалалари атрофлича таҳлил қилинади. Хусусан, визуал, сенсорли ва рақамли (IoT) мониторинг усулларининг техник ва иқтисодий жиҳатлари таққосланади, уларнинг афзаллик ва камчиликлари кўрсатилади. Илмий асосланган мониторинг тизимлари орқали кўприklar хавфсизлигини таъминлаш ва узок муддатли барқарор фойдаланишга эришиш имкониятлари кўриб чиқилади.

Калит сўзлар: темирбетон кўприklar, мониторинг, сенсорлар, техник ҳолат, диагностика, барқарорлик

The importance of modern monitoring methods in assessing the technical condition of reinforced concrete bridges in operation

Inomjon Ganiev
Eldor Muminov
Akhadjon Muminov
Dildora Ravshanova
Jizzakh Polytechnic Institute

Abstract: This article explores the implementation of modern monitoring methods for the continuous observation of structural changes in reinforced concrete bridges during their operational lifespan. Particular attention is given to the identification of cracks, deformations, and vibrations that may occur in the structure. The study provides a comparative analysis of visual, sensor-based, and digital (IoT)

monitoring systems, highlighting their respective advantages and limitations. It is concluded that the integration of advanced monitoring technologies significantly enhances bridge safety and ensures long-term reliable operation.

Keywords: reinforced concrete bridges, monitoring, sensors, technical condition, diagnostics, stability

Кириш

Темирбетондан қурилган кўприклар замонавий транспорт инфратузилмасининг ажралмас қисми бўлиб, улар юк кўтариш қobiliяти, узоқ муддатли хизмат қилиш имконияти, юқори механик мустаҳкамлиги ва иқлимий таъсирларга нисбатан чидамлилиги билан ажралиб туради. Бундай иншоотлар нафақат йўл тармоқларининг техник логистик самарадорлигини таъминлайди, балки аҳолининг хавфсиз ҳаракатланиши, товар ва хизматлар айирбошлашининг барқарорлиги ҳамда минтақавий иқтисодий ўсиш учун муҳим омил ҳисобланади [1].

Узоқ муддатли эксплуатация жараёнида кўприк конструкциялари турли ташқи ва ички омиллар таъсирида физик-мехнатий эскиришга учрайди. Хусусан, интенсив ҳаракат, иқлим шароити, намлик ва ҳарорат ўзгаришлари, юкламаларнинг циклик таъсири натижасида ёриқлар, коррозия, бетондаги микродеформациялар ва темир арматура заифлашуви кузатилади [2].

Шу сабабли, темирбетон кўприкларнинг техник ҳолатини доимий мониторинг қилиш - бугунги кунда ҳал қилувчи илмий-амалий вазифалардан бирига айланди. Мониторинг орқали ер ости ва устки конструкциялардаги ўзгаришлар вақтида аниқланиб, уларни бартараф этиш чоралари ишлаб чиқилади. Бундай ёндашув фалокатли оқибатларнинг олдини олади, ҳаракат хавфсизлигини оширади ва кўприкларнинг хизмат муддатини узайтиришга имкон яратади.

Мониторинг тизимларининг турлари

Темирбетон кўприкларнинг техник ҳолатини самарали назорат қилиш учун қўлланиладиган мониторинг усуллари ҳақида қисқача маълумот бераман. Улар технологик имкониятлари, аниқлик даражаси ва харажатларига кўра фарқланади [3]:

Визуал текширув:

○Тавсиф: Мутахассислар томонидан кўприк конструкцияларининг ташқи кўринишини кўз билан кўриб чиқиш.

○Афзалликлар: Арзон, тез ва оддий.

○Камчиликлар: Аниқлик паст, фақат ташқи нуқсонларни аниқлайди.

○Харажат: Минимал.

Сенсорли мониторинг (1-расм):

○Тавсиф: Температура, деформация, титраш ва бошқа параметрларни ўлчайдиган сенсорлар ўрнатилади.

○Афзалликлар: Реал вақтда юқори аниқликда маълумот беради.

○Камчиликлар: Ўрнатиш ва хизмат кўрсатиш қиммат.

○Харажат: Юқори.

Ультратовуш ва радиографик текиширув:

○Тавсиф: Ички нуқсонлар (ёриқлар, бўшлиқлар)ни аниқлаш учун ультратовуш ёки рентген технологияларидан фойдаланилади.

○Афзалликлар: Ички нуқсонларни юқори аниқликда аниқлайди.

○Камчиликлар: Мураккаб асбоб-ускуналар ва мутахассис талаб қилинади.

○Харажат: Ўртача-юқори.



1-расм. Сенсорли мониторинг¹

Дронлар ва фотограмметрия:

○Тавсиф: Дронлар ёрдамида кўприкнинг юқори сифатли сураглари олиниб, 3D моделлар яратилади.

○Афзалликлар: Қийин жойларга етиш осон, тез маълумот йиғиш.

○Камчиликлар: Маълумотларни таҳлил қилиш учун махсус дастурлар керак.

○Харажат: Ўртача.

Акустик эмиссия мониторинги:

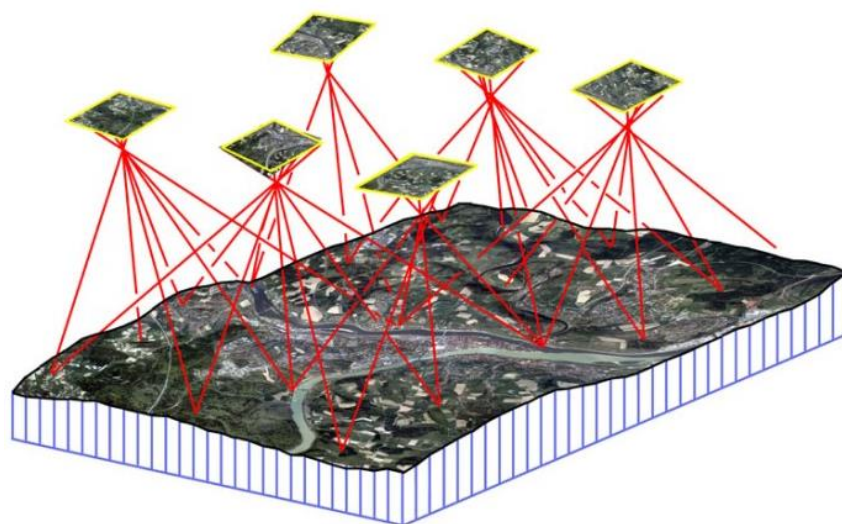
○Тавсиф: Конструкциядаги ёриқлар ёки деформациялардан келиб чиқадиган товуш сигналларини қайд қилиш.

○Афзалликлар: Потенциал хавфли ўзгаришларни эрта аниқлайди.

○Камчиликлар: Мураккаб таҳлил ва қиммат ускуналар талаб қилинади.

○Харажат: Юқори.

¹ <https://www.azosensors.com> (2025-йилнинг 16-майида олинган)



2-расм. Сенсорли мониторинг²

Лазерли сканирлаш (LiDAR):

- Тавсиф: Лазер технологияси ёрдамида кўприкнинг геометрик ўзгаришларини юқори аниқликда ўлчайди.
- Афзалликлар: Жуда аниқ ва тез маълумот беради.
- Камчиликлар: Жуда қиммат ва мутахассислар талаб қилинади.
- Харажат: Жуда юқори.

Мониторинг усулини танлаш кўприкнинг ўзига хос хусусиятлари, бюджет ва талаб қилинадиган аниқлик даражасига боғлиқ. Одатда, визуал текширув арзонроқ бўлса-да, сенсорли ва лазерли усуллар юқори аниқлик беради, лекин харажатли. Қуйида асосий мониторинг тизимлари кўриб чиқилади:

Визуал мониторинг - Инженер-техник ходимлар томонидан кўз билан кўриқдан ўтказиш усули бўлиб, оддий, арзон ва махсус ускуналарни талаб этмайди. Аммо бу усул субъектив ҳисобланади, чунки унинг натижалари ходимнинг тажрибаси ва диққатидан кучли даражада боғлиқ. Шу сабабли, визуал мониторинг фақат дастлабки ташхис учун мос келади ва илмий аниқлик даражаси паст ҳисобланади.

Сенсорли мониторинг - Бу усулда кўприк конструкциясига ўрнатилган турли сенсорлар (деформация, тебраниш, намлик, температура, юклама датчиклари) орқали маълумот йиғилади. Сенсорли мониторинг юқори аниқликка эга бўлиб, жисмоний ўзгаришларни реал вақтда қайд этиш имконини беради. Бироқ, бундай тизимлар юқори молиявий харажат ва техник хизмат кўрсатишни талаб қилади.

IoT (Internet of Things) асосидаги рақамли мониторинг тизимлари - Интеллектуал сенсорлар, датчиклар ва телекоммуникацион технологияларни бирлаштирувчи юқори технологик тизим бўлиб, у маълумотларни марказий серверга автоматик равишда узатади ва сунъий интеллект ёки аналитик

² <https://thehightechhobbyist.com/drone-photogrammetry> (2025-йилнинг 16-майида олинган)

дастурлар орқали таҳлил қилиш имконини беради. Бу усул реал вақтда кузатув, масофадан назорат қилиш, аввало потенциал хавфларни эрта аниқлаш ва самарали қарор қабул қилишда муҳим аҳамиятга эга. Лекин инсталляция жараёни мураккаб ва қимматга тушади.

Мониторинг тизимларининг устунлик ва камчиликлари ҳақидаги маълумотлар 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Мониторинг тизимларининг таққосламаси

Мониторинг тури	Устунликлари	Камчиликлари
Визуал	Арзон, тезкор	Субъектив, аниқ эмас
Сенсорли	Аниқ, доимий маълумот	Қиммат, техник хизмат талаб этади
IoT рақамли тизимлар	Автоматлашган, таҳлил имкони юқори	Қийин инсталляция, юқори харажат

Асосий параметрлар

Кўприк иншоотларининг техник ҳолатини баҳолашда қатор асосий физик-механик параметрлардан фойдаланилади. Бу параметрлар орқали конструкциядаги юкламалар, деформациялар ва резонанс ҳолатлари таҳлил қилинади. Қуйидаги икки асосий параметр кўприк мониторингида муҳим ўрин тутди [4]:

Нисбий деформация

Кўприк конструкциясининг мувозанат ҳолатидаги узунлигига нисбатан юз берган ўзгаришни тавсифлайди. У қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Бу ерда:

ε - нисбий деформация (ўлчовсиз),

ΔL - конструкциядаги узунлик ўзгариши (м),

L_0 - бошланғич узунлик (м).

Ушбу кўрсаткич материал мустаҳкамлигининг синови, юкламаларга нисбатан конструкциянинг жавоб реакциясини баҳолаш учун асос ҳисобланади. Агар деформация белгиланган меъёрдан ошса, конструкцияда пластик бузилиш ёки ёриқлар юзага келиши мумкин.

Динамик тебраниш частотаси

Кўприк конструкцияларига ташқи юкламалар таъсирида юзага келувчи тебранишларнинг асосий характеристикаси - табиий (резонанс) частота ҳисобланади. У қуйидаги формула билан аниқланади:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k_m}$$

Бу ерда:

f - тебраниш частотаси (Hz),

k - конструкциянинг қатъийлик коэффициенти (N/m),

m - масса (kg).

Агар ташқи юклама частотаси f билан мос тушса, резонанс ҳолати рўй бериб, конструкцияда юқори амплитудали тебранишлар юзага келади. Бу эса конструктив шикастланишларга сабаб бўлиши мумкин [5]. Шунинг учун тебраниш частоталарини кузатиб бориш мониторингда муҳим аҳамиятга эга. Мониторинг турларининг афзаллик ва камчиликлари ҳақидаги таҳлил 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Мониторинг турларининг афзаллик ва камчиликлари

Мониторинг тури	Устунликлари	Камчиликлари
Визуал	Осон амалга ошади, арзон	Субъектив хулоса, ноаниқлик эҳтимоли катта
Сенсорли	Аниқ натижалар, тўлиқ маълумот	Қиммат, техник хизмат талаб этади
IoT / рақамли	Автоматлашган таҳлил, масофавий кузатув	Комплекс инсталляция, юқори харажат

Мониторинг турларининг афзаллик ва камчиликлари

Мониторинг турлари (оператив, даврий, узлуксиз, профилактик, масофавий ва бошқалар) ҳар бири ўз хусусиятларига эга бўлиб, техник объектлар, жумладан, йўллар ва кўприклар ҳолатини баҳолашда муҳим ўрин тутди [6]. Афзаллик ва камчиликларини таҳлил қилиш натижасида қуйидаги хулосаларни бериш мумкин:

1. Оператив мониторинг тезкор ҳолатда маълумот бериш орқали фавқулодда вазиятларнинг олдини олади, бироқ доимий назоратни таъминламайди.

2. Даврий мониторинг режалаштирилган интервалларда амалга оширилиб, иқтисодий жиҳатдан мақбул ҳисобланади, лекин айрим ҳолатларни кеч аниқлаши мумкин.

3. Узлуксиз (континуал) мониторинг реал вақтда маълумот олиш имконини беради ва юқори аниқликни таъминлайди, бироқ ускуналар ва технологиялар жиҳатидан қимматга тушади [7].

4. Профилактик мониторинг муаммоларни илгаридан аниқлаб, катта харажатларнинг олдини олади, аммо мутахассислар тайёргарлиги ва илмий таҳлил талаб қилади [1, 3].

5. Масофавий мониторинг (дронлар, сенсорлар, спутник технологиялари орқали) катта ҳудудларни назорат қилишда жуда самарали, лекин техник қўллаб-қувватлаш ва дастурий таъминотни талаб қилади.

Умуман олганда, ҳар бир мониторинг тури маълум мақсад ва шароитлар учун қулай, шундан келиб чиқиб уларни комплекс равишда қўллаш энг самарали ёндашув ҳисобланади. Бу ёндашув объектнинг техник ҳолатини мунтазам ва аниқ баҳолашга, хавфсизликни оширишга ва ресурсларни тежашга хизмат қилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Ganiev I. G. Preventive monitoring railway reinforced concrete bridges //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. - 2019. - Т. 15. - №. 3. - С. 227-232.
2. Ганиев И. Г. Определение среднего срока службы эксплуатируемых бетонных и железобетонных опор железнодорожных мостов //Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2008. - №. 3. - С. 201-207.
3. Ганиев И. Г. Расчет безопасного времени работы пролетных строений по величине накопленного износа //Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. - 2008. - №. 21. - С. 105-106.
4. Omar T., Nehdi M. L. Condition assessment of reinforced concrete bridges: Current practice and research challenges //Infrastructures. - 2018. - Т. 3. - №. 3. - С. 36.
5. Fan W. et al. Machine learning applied to the design and inspection of reinforced concrete bridges: Resilient methods and emerging applications //Structures. - Elsevier, 2021. - Т. 33. - С. 3954-3963.
6. Gucunski N. et al. Advancing condition assessment of reinforced concrete bridge elements through automation, visualization, and improved interpretation of multi-NDE technology data //Materials Evaluation. - 2023. - Т. 81. - №. 1. - С. 56-66.
7. Uzdin, A., Shermukhamedov, U., Rakhimjonov, Z., & Gulomov, D. (2025, April). Amplitude-frequency response of seismic-isolated highway bridges at different combinations of span links. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3265, No. 1, p. 030003). AIP Publishing LLC.