

FTAMP 67.09.33

Б.Б. Ахметов¹ – негізгі автор, | ©
Р.Ф. Серова², С.А. Жаутикова³¹Докторант, ²Техн. ғылым. канд., ³Магистр

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-1697-7006> ²<https://orcid.org/0000-0001-7142-620X>³<https://orcid.org/0000-0002-8413-3331>^{1,2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қарағанды қ., Қазақстан

¹Beibit.bakiuly@mail.ru<https://doi.org/10.55956/FLDK1400>

ТЕМІРБЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ СЕНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУДЫҢ КЕШЕНДІ ТӘСІЛІ

Аңдатпа. Мақалада тұрғын үйлердегі темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылау әдістемесі ұсынылған, ол бұзылмайтын бақылаудың, математикалық модельдеудің және болжаудың заманауи әдістерін кешенді қолдануға негізделген. Зерттеу барысында визуалды тексеру, аспаптық өлшеулер, математикалық модельдеу және Монте-Карло әдісі арқылы конструкциялардың техникалық жағдайы бағаланды. Нәтижесінде, визуалды тексеру кезінде 30% жағдайда ақаулар анықталды, ал аспаптық өлшеулер бетонның орташа беріктігі 25 МПа, арматураның беріктігі 400 МПа деңгейінде екендігін көрсетті. Математикалық модельдеу нәтижесінде конструкциялардың жүктемеге төзімділігі 7,5 МПа деңгейінде бағаланды, бұл бетонның беріктігінен төмен. Монте-Карло әдісі арқылы жүргізілген статистикалық талдау 10000 модельдеуден 1500 жағдайда құрылымның бұзылу ықтималдығын анықтады, бұл 15% құрады. Ұсынылған мониторинг әдістемесі ақауларды анықтауға, техникалық жағдайды бағалауға және қалдық қызмет мерзімін болжауға мүмкіндік берді, бұл тұрғын үйлердің қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды. Тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылаудың кешенді әдістемесі заманауи талаптарға жауап беретін конструкциялардың сенімділігін бақылау және бағалау саласына елеулі үлес қосады.

Тірек сөздер: пайдалану сенімділігі, темірбетон конструкциялары, тұрғын үй ғимараттары, әдістемесі, диагностикасы, Монте-Карло әдісі.



Ахметов, Б.Б. Темірбетон конструкцияларының сенімділігін бағалаудың кешенді тәсілі [Мәтін] / Б.Б. Ахметов, Р.Ф. Серова, С.А. Жаутикова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №4(86). – Б.186-197.
<https://doi.org/10.55956/FLDK1400>

Кіріспе. Заманауи тұрғын үй ғимараттары жүк көтергіш іргетас және құрылыс қоршау жүйесі ретінде темірбетон конструкцияларын кеңінен қолданумен сипатталады. Бұл құрылымдардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігі адамдардың және олардың үйлерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажет. Пайдалану кезінде темірбетон конструкциялары әртүрлі әсерлерге ұшырайды, бұл осы құрылымдардың пайдалану сипаттамаларының нашарлауына және нәтижесінде төтенше жағдайларға әкелуі мүмкін. Тұрғын

үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау өзекті ғылыми-техникалық мәселе болып табылады. Бұл мәселені шешу ақауларды жылдам анықтау және жою, сондай-ақ ғимараттың бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде жұмыс қабілеттілігін сақтаудың тиімді шараларын әзірлеуге негізделген [1].

Тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін негізінен визуалды бақылау, аспаптық өлшеулер және зертханалық зерттеулер қолданылатын әдістер болып табылады. Бұл әдістердің кемшіліктері: олар өте күрделі, қымбат және тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының нақты жағдайына объективті баға беруге әрдайым мүмкіндік бермейді. Сонымен қатар, олар пайдалану кезінде құрылымдардың техникалық сипаттамаларының өзгеруін болжауға мүмкіндік бермейді [2].

Осыған байланысты қазіргі заманғы бұзылмайтын бақылау әдістерін, математикалық модельдер мен болжау әдістерін кеңінен қолдануға негізделген тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін мониторинг әдістемесін әзірлеу қажет.

Бұл зерттеудің мақсаты – техникалық жағдайды бағалау, кемшіліктерді анықтау және пайдалану кезінде техникалық сипаттамалардағы өзгерістерді болжауға мүмкіндік беретін тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін мониторинг әдістемесін әзірлеу.

Бұл жұмыстың ғылыми жаңалығы бұзылмайтын бақылау әдістерінің, математикалық модельдердің және болжаудың үйлесімі негізінде тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін мониторинг әдістемесін әзірлеуге бағытталған. Бұл жұмыстың практикалық маңыздылығы техникалық жағдайды тікелей бағалау және тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының беріктігін қамтамасыз ету үшін әзірленген әдістемені пайдалану мүмкіндігіне байланысты.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бұл мақалада тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бағалау үшін бірнеше әдістер мен методологиялар қолданылады. Алғашқы кезең визуалды тексеруді қамтиды, ол ғимараттардың құрылымдық элементтерін жарықтар, қабыршақтану, арматураның коррозиясы және басқа да көрінетін ақаулардың бар-жоғын тексеруді білдіреді. Одан кейін бетон мен арматураның физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау үшін аспаптық өлшеулер жүргізіледі.

Сонымен қатар, конструкциялардың кернеулі-деформациялық күйін талдау үшін элементтердің өлшемдерін, материалдардың қасиеттерін және жүктемелердің сипатын ескеретін математикалық модель жасалады. Конструкциялардың бұзылу ықтималдығын бағалау үшін статистикалық талдау, атап айтқанда, Монте-Карло әдісі қолданылады, бұл әдіс негізгі параметрлер, мысалы, бетонның беріктігі, арматураның беріктігі және жүктемелер үшін кездейсоқ мәндерді генерациялауды және алынған деректерді талдауды қамтиды.

Осылайша, визуалды тексеруді, аспаптық өлшеулерді, математикалық моделдеуді және статистикалық талдауды біріктіретін кешенді тәсіл конструкциялардың техникалық жағдайын жан-жақты бағалауға және олардың эксплуатациялық сенімділігін болжауға мүмкіндік береді. Бұл

әдістер ақауларды анықтауға ғана емес, сонымен қатар темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сипаттамаларына олардың әсерін бағалауға да мүмкіндік береді, бұл тұрғын үйлердің қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Ғимараттар мен құрылымдардың техникалық жай-күйін тексеру және мониторинг нәтижелері тиісті қорытындылар түрінде тексеру немесе бақылау іс-шараларын жүргізу туралы дәлелді шешімдерді қабылдау үшін қажетті мәліметтерді қамтуға тиіс.

Кешенді зерттеу әдістерінің болмауы зерттеу мақсаттарының әртүрлілігімен және қолданылатын ортақ өлшеу құралдарының, нәтижелерді өңдеу және жалпылау әдістерінің болмауымен (көп жағдайда салыстыруға келмейтін шашыраңқы деректерге әкеледі) [3,4].

Тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылаудың жалпы құрылымын 1-диаграмма түрінде көрсетуге болады.



Сурет 1. Тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылау жүйесі

Тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылауды екі негізгі құрамдас бөлікке бөлуге болады: ақпараттық жүйе және бақылау. Ақпараттық жүйе жағдайды бақылауға және болжауға негізделген. Бақылау – темірбетон конструкцияларының сенімділігін бағалау.

Темірбетон конструкцияларындағы көрнекі ақаулармен байланысты негізгі мәселелерді жақсы түсіну үшін 2-суретті қарастырыңыз.

Осылайша, суретте темірбетон конструкцияларында пайда болуы мүмкін ақаулардың негізгі түрлері көрсетілген, олардың жұмысқа жарамдылығын қамтамасыз ету үшін бақылау мен бақылаудың маңыздылығы көрсетілген.



а) монолитті темірбетонды іргетастағы жарықшақ; б) тірек арматурасының коррозиясы

Сурет 2. Ақаулардың негізгі түрлері

Бұл әдістерге құрылымдық жөндеуді есепке алу ерекшелігі бар сандық әдіс жатады. Бұл әдісте құрылымдық жөндеу физикалық тозу көрсеткішіне негізделген. Оны сараптамалық тестілеу әдістерімен жақсартуға болады.

Әрі қарай параметрлік әдісті қарастырамыз. Бұл әдіс ғимараттың пайдалану параметрлерінің бірін өзгерту мүмкіндігіне негізделген. Ғимараттың эксплуатациялық параметрлері, өз кезегінде, бетонның беріктігін, болат шыбықтардың тозуын және т.б. анықтайды.

Тағы бір әдіс «жүк көтеру» әдісі деп аталады. Бұл әдіс жүк көтергіштігі мен жүктемесіне тәуелділікті қамтитын темірбетон құрылымының бір мезгілде өзгеруін есепке алу мүмкіндігін қамтиды.

«Жүктеме-деформация» сияқты әдісті қарастырайық. Бұл әдіс материалдың ескіруіне байланысты шамадан тыс деформация мен жүктеменің өзгеруін есепке алуға баса назар аударады.

Осылайша, осы әдістерді қолданудың үйлесімі әрбір әдісте жеке байқалатын қателерді болдырмауға мүмкіндік береді және сенімді нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді [5].

Темірбетон конструкцияларының сенімділігін бағалау үшін 3-суретте көрсетілген әртүрлі әдістерді қолдануға болады.



Сурет 3. Күрделі жүйелердің қызмет ету мерзімін бағалау және болжау әдістері

Конструкциялардың техникалық жағдайын визуалды тексеру тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін әзірленген мониторинг әдістемесінің маңызды

бірінші кезеңі болып табылады. Бұл кезеңде ғимараттың құрылымдық элементтерін визуалды тексеру жүргізіледі. Жарықтар, жоңқалар, арматуралардың коррозиясы, деформациялар және басқа ақаулар тіркеледі. Осы мақсатта өлшеу құралдары қолданылады. Тест нәтижелері сипаттамалар, диаграммалар және фотосуреттер түрінде ұсынылған. Темірбетон конструкцияларындағы ақаулар көзбен шолу арқылы анықталады және жіктеледі [6]. Темірбетон конструкцияларын көзбен шолу кезіндегі ақаулардың жіктелуі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Сыртқы белгілер бойынша темірбетон конструкцияларындағы ақаулар

Құрылымдық жағдай категориясы	Құрылымдық жағдайдың белгілері
I – нормативті	Арқалықтардың бетон беті көрінетін ақауларсыз, коррозияға қарсы қорғаныс қалыпты, арматура таза, коррозиясыз.
II – операциялық	Арқалықтардың қорғаныш қабатының ішінара зақымдануы, арматураның аздаған коррозиясы, бетонның түсінің өзгеруі.
III – шектеулі өнімділік	Арқалықтардағы елеулі ақаулар: жарықтар, арматураның коррозиясы, деформациялар, тұтастығын жоғалту.
IV – төтенше жағдай	Арқалықтардағы жарықтар, арматураның қысқаруы, бетонның ұсақталуы, құрылымдардың бұзылу және құлау қаупі.
Ескерту: [7] дереккөз бойынша авторлар құрастырған	

Қарастырылған ақпарат негізінде біз тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін мониторинг әдістемесін әзірлеуге көшеміз. Ол үшін 4-суретте тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау үшін мониторингтің негізгі кезеңдерін егжей-тегжейлі қарастырамыз.



Сурет 4. Тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтау мониторингі әдістемесінің негізгі кезеңдері

Өртүрлі әдістерді кешенді қолдану темірбетон конструкцияларының техникалық жағдайын кешенді бағалауға және олардың эксплуатациялық сенімділік деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Негізгі әдістердің бірі визуалды тексеру болып табылады, ол келесі негізгі міндеттерді қамтиды:

– жарықтар, пилингтер, арматураның коррозиясы, деформациялар және басқа да көрінетін бұзылулар сияқты айқын зақымданулар мен ақауларды анықтау;

– өлшеу аспаптарының көмегімен анықталған ақаулардың санын, орналасуын және сипаттамаларын тіркеу;

– құрылымдардың жалпы жағдайын, оның ішінде олардың геометриялық өлшемдерін, ағып кету, гүлдену, биологиялық зақымдану және басқа да тозу белгілерінің іздерінің болуын бағалау;

– анықталған ақауларды құрылымдық жағдайдың деңгейлері бойынша жіктеу.

Тұрғын үйлердегі темірбетон элементтерінің ағымдағы жағдайын талдау үшін бетонның және арматураның физикалық-механикалық қасиеттерін аспаптық өлшеуді жүргізу өте маңызды. Бұл осы материалдарды пайдалану кезінде өзгеруі мүмкін беріктік сипаттамалары туралы сенімді деректерді алуға мүмкіндік береді.

Кең таралған әдістердің бірі – бетонның қысу беріктігін анықтау үшін қолданылатын кесу әдісі. Процесс конструкцияға цилиндрлік бетон үлгілерін бұрғылауды қамтиды, содан кейін олар арнайы жабдықтың көмегімен жойылады. Мұндай сынақтардың нәтижелері конструкциядағы бетонның нақты беріктігін орнатуға және оны теориялық есептеулермен салыстыруға мүмкіндік береді [8]. Пиллинг әдісімен сынақтарды жүргізу үшін келесі құралдар қолданылады:

1. Алмаз қашау – конструкциядан бетон үлгілерін бұрғылау үшін қолданылады. Тәждің қажетті үлгінің өлшеміне сәйкес келетін ішкі диаметрі бар цилиндрлік пішіні бар (әдетте 50-100 мм).

2. Бетон үлгісін сынауға арналған құрылғы келесі негізгі құрамдастарды қамтиды:

– Бұрғыланған үлгінің айналасына орналастырылған және оның тұрақты орнын қамтамасыз ететін тірек сақинасы;

– Үлгіні алу үшін қажетті көтеру күшін тудыратын гидравликалық немесе механикалық домкрат;

– Үлгіні сындыру үшін қажетті күшті өлшеуге арналған динамометр немесе тензорметр.

3. Калибр үлгінің диаметрі мен биіктігі сияқты геометриялық параметрлерін өлшеу үшін қолданылады.

4. Үлгінің массасын анықтау үшін баланс қолданылады [9].

Арматура жағдайын талдау үшін ультрадыбыстық сынақ қолданылады. Арнайы құрылғылардың көмегімен бетонның қорғаныш қабатының қалыңдығы және арматуралық жолақтардың диаметрі өлшенеді, бұл коррозияға байланысты арматураның көлденең қимасы қысқарған аумақтарды анықтауға мүмкіндік береді [10].

Клапандарды ультрадыбыстық сынауға арналған негізгі құралдарға мыналар жатады [11,12]:

1. Бетонның қорғаныс қабатының қалыңдығын және арматуралық жолақтардың диаметрін өлшеу үшін ультрадыбыстық түрлендіргішті қолданатын ультрадыбыстық дефектоскоп.

2. Арматура үстіндегі бетонның қорғаныс қабатының қалыңдығын анықтауға арналған ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіш.

3. Ультрадыбыстық профилометр, ол құрылымның бетін сканерлейді және коррозиядан туындаған арматура диаметрінің өзгеруін анықтайды.

Бетон мен арматураның нақты сипаттамалары туралы алынған деректер құрылымдардың жүк көтергіштігін бағалау және ғимараттың қалдық қызмет ету мерзімін анықтау үшін негізгі болып табылады.

Конструкциялардың кернеулі-деформациялық күйін математикалық модельдеу тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін анықтаудағы маңызды қадам болып табылады [13]. Құрылымның математикалық моделін жасау үшін алдымен элементтердің өлшемдері, бетон және арматура сияқты қолданылатын материалдардың қасиеттері және конструкцияға әсер ететін жүктемелердің сипаты туралы мәліметтерді жинау қажет. Бұл деректер әдетте жобаның алдын ала кезеңдерінде, соның ішінде визуалды бақылау мен бақылау-өлшеу аспаптарымен жинақталады.

Біркелкі бөлінген жүктемеге ұшыраған темірбетонды арқалықтың математикалық моделін құрудың мысалын қарастырайық [14].

Бастапқы деректер ретінде келесі мәндер алынды: арқалық ұзындығы $L = 6$ м, қима ені $b = 0,2$ м, қима биіктігі $h = 0,3$ м, бетонның сығуға беріктігі $\sigma = 25$ МПа, бетон серпімділік модулі $E_b = 30$ ГПа, модуль арматураның серпімділігі $E_a = 200$ ГПа, біркелкі бөлінген жүктеме $q = 5$ кН/м.

Көлденең қиманың ауданын (A) және инерция моментін (I) есептейік:

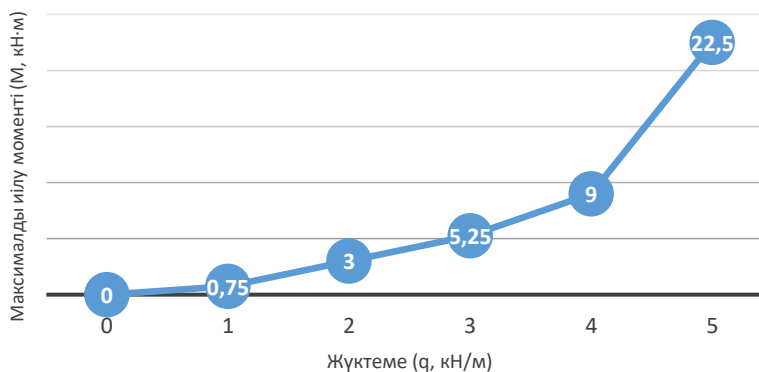
$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ м}^2 \quad (1)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,2 \cdot 0,3^3}{12} = 0,00045 \text{ м}^4 \quad (2)$$

Біркелкі жүктеме кезінде арқалықтың ортасындағы ең үлкен иілу моментін (M_{max}) анықтайық:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 22500 \text{ Н} \cdot \text{м} = 22,5 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3)$$

5-суретте жүк (q) 1-ден 5 кН/м-ге дейін өзгерген кезде ең үлкен иілу моменті кН·м қалай өзгередінін қарастырамыз.



Сурет 5. Бетон беріктігінің жүктемеге тәуелділігі

Жүктеме мен максималды иілу моменті арасындағы тәуелділік конструкцияның беріктігін бағалауда маңызды фактор болып табылады. Бұл деректер құрылымдардың эксплуатациялық сенімділігін қамтамасыз ету үшін қажетті ақпаратты береді. Бетонның беріктігі мен конструкцияның жүктемеге төзімділігін ескере отырып, құрылыс жобаларын тиімді жоспарлау және жүзеге асыру үшін бұл ақпаратты пайдалану қажет.

Арқалық қимадағы максималды қалыпты кернеуді (σ) есептейік:

$$\sigma = (M_{max} \cdot y) / I \quad (4)$$

$$y = h / 2 \quad (5)$$

мұндағы, y – бейтарап осьтен ең шеткі толқынға дейінгі қашықтық (жоғарғы немесе төменгі), м.

$$\sigma = (22,5 \cdot 0,3 / 2) / 0,00045 = 7500000 \text{ Па} = 7,5 \text{ Мпа}$$

Күш сынағы есебін орындайық. Алынған кернеуді бетонның беріктігімен (σ және σ_b) салыстырамыз:

$$7,5 \text{ МПа} < 25 \text{ Мпа}$$

Осылайша, құрылым жүктемеге төтеп бере алады.

Арқалықтың деформациясын (d) анықтау үшін мыналарды қолдануға болады:

$$d = \frac{\sigma}{E_6} = 7,5 \cdot 106 / 30 \cdot 10^9 = 0,00025 \quad (6)$$

Құрылымның ұқсас жүктемелермен жұмыс істейтініне сенім артып, қалдық қызмет мерзімін болжауда сәтсіздік ықтималдығын бағалау үшін Монте-Карло [15] әдісін қолдануға болады. Монте-Карло әдісін іске асыру үшін, құрылымның беріктігіне әсер ететін негізгі факторларды анықтау қажет: бетонның беріктігі, арматураның беріктігі, жүктемелер және материалдардың серпімділік модулі.

Әр айнымалы үшін ықтималдық үлестірімін көрсету керек. Мәселен, бетонның беріктігі 25 МПа орташа және 2 МПа стандартты ауытқуымен қалыпты таралуға ие. Арматураның беріктігі 400 МПа орташа және 20 МПа стандартты ауытқуымен қалыпты таралуға жатады. Жүктемелер q орташа 5 кН/м және 0,5 кН/м стандартты ауытқуымен қалыпты таралады.

Модельдеу процесі кездейсоқ сандар генераторын пайдаланып, берілген үлестірімдерден әр айнымалы үшін мәндерді генерациялаудан басталады. Содан кейін, кездейсоқ мәндердің әр жиынтығы үшін максималды қалыпты кернеулер есептеліп, оларды талдау жүргізіледі. Егер есептелген кернеулер бетонның немесе арматураның беріктігінен асып кетсе, құрылым бұзылған болып саналады.

Кездейсоқ мәндер мен есептеулерді жасау процедурасы статистикалық маңызды нәтижелер алу үшін, мысалы, 10 000 рет қайталануы тиіс. Барлық есептеулер аяқталғаннан кейін, 10 000 модельдеудің қаншасы құрылымның бұзылуына әкелгенін анықтауға болады. Бұзылу ықтималдығы (P_r) төмендегі формуламен есептеледі:

$$P_r = N_r / N_t \quad (7)$$

мұндағы: N_r – жойылу жағдайларының саны; N_t – модельдеулердің жалпы саны, қарастырылып отырған мысалда 10000.

Осылайша, тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бағалау үшін кешенді мониторинг әдістемесін әзірлеу, визуалды тексеру, аспаптық өлшеу, математикалық модельдеу және статистикалық талдау әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл әдістердің үйлесімі конструкциялардың техникалық жағдайын жан-жақты бағалауға және олардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер тұрғын үйлердің темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылаудың кешенді тәсілін жасауға мүмкіндік берді. Бұл тәсіл бұзылмайтын бақылаудың, математикалық модельдеудің және болжаудың заманауи әдістерінің үйлесімі негізінде құрылған.

Темірбетон конструкцияларының техникалық жай-күйін бағалаудың қолданыстағы әдістерін талдау сенсорлық жүйелердің жаңа технологияларын және автоматтандырылған деректерді жинау құралдарын пайдалана отырып, визуалды бақылау мен аспаптық өлшеудің дәстүрлі әдістерін біріктіретін кешенді тәсілді әзірлеу қажеттілігін көрсетті.

Ұсынылған мониторинг әдістемесі кезеңдердің бірізділігін қамтиды: визуалды тексеру, материалдардың физикалық-механикалық қасиеттерін аспаптық өлшеу, конструкциялардың кернеулі-деформациялық күйін математикалық модельдеу, ықтималдық әдістер негізінде қалдық қызмет мерзімін бағалау. Бұл кешенді тәсіл құрылымдардың техникалық жағдайын кешенді бағалауға, ақауларды анықтауға және уақыт өте келе пайдалану сипаттамаларының өзгеруін болжауға мүмкіндік береді.

Материалдың беріктігі мен жүктемелерінің кездейсоқ факторларын ескере отырып, конструкцияның бұзылу ықтималдығын бағалау үшін Монте-Карло әдісін қолдану тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының қалған қызмет ету мерзімін дәл болжауға мүмкіндік береді. Бұл ғимараттардың қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды.

Осылайша, тұрғын үй ғимараттарының темірбетон конструкцияларының эксплуатациялық сенімділігін бақылаудың ұсынылып отырған кешенді әдістемесі тұрғын үй ғимараттарының қауіпсіздігі мен орнықтылығының заманауи талаптарына жауап беретін конструкциялардың сенімділігін бақылау және бағалау саласына елеулі үлес қосады.

Әдебиеттер тізімі

1. Декдерханов, М.К. Қазақстандағы құрылыс индустриясын мемлекеттік реттеу мәселелері 2021. [Электрондық ресурс]. – Қол жетімділік режимі: <https://docs.yandex.kz/docs/view?tm=1724904473&tld=kz&lang=kk&na-me=Дек-дерхан-М-каз>. <https://doi.org/10.53355/c4648-8173-5925-m>.
2. Hoła J., Runkiewicz L. Methods and diagnostic techniques used to analyse the technical state of reinforced concrete structures //Metody i techniki diagnostyczne stosowane w ocenie stanu technicznego konstrukcji żelbetowych. – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – P.309-337.
3. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 19 ноября 2015 года № 702. Об утверждении Правил осуществления технического обследования надежности и устойчивости зданий и сооружений [Текст]:

- Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 18 декабря 2015 года № 12425.
4. СП РК 1.04-101-2012. Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 01.07.2015. – Астана, 2015. – 89 с.
 5. Смоляго Г.А. Современные подходы к расчету остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями [Текст] / Г.А. Смоляго, Н.В. Фролов //Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21. – № 6. – С. 88-100.
 6. Петров М.И. Дефекты и повреждения железобетонных конструкций [Текст] / М.И. Петров //Молодой ученый. – 2023. – № 3(450). – С.134-137.
 7. Краснощеков Ю.В. Модель прочности бетона на отрыв со скалыванием [Текст] / Ю.В. Краснощеков //Вестник СибАДИ. – 2021. – № 2(78). – С. 216-224.
 8. Xu Y., Jin R. Measurement of reinforcement corrosion in concrete adopting ultrasonic tests and artificial neural network //Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 177. – P. 125-133.
 9. Zatar W. A., Nguyen H. D., Nghiem H. M. Ultrasonic pitch and catch technique for non-destructive testing of reinforced concrete slabs //Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. – 2020. – Vol. 1. – P. 1-13.
 10. Драпалюк Д.А. Мониторинг состояния жилого фонда и его физический износ, проведение обследований строительных материалов и конструкций [Текст]: учеб.-метод. пособие / Д.А. Драпалюк. – Воронеж: Воронежский ГАСУ. – 2013. – 82 с.
 11. Оценка технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.steps.ru/article/otsenka_tehnicheskogo_sostoyaniya_zhelezobetonnyh_konstruktsiy_po_vneshnim_priznakam/.
 12. Определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sksatisexpert.com/articles/opredelenie-prochnosti-betona-metodom-otryva>.
 13. Улыбин А.В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ozis-venture.ru/files/publications/Ulybin_kp_arm.pdf.
 14. Математическое моделирование напряженно-деформируемого состояния конструкций и материалов. – 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ranv.ru/2022/11/26/matematicheskoe-modelirovanie-naprya-zhenno-deformiruемого-sostoyaniya-konstrukcij-i-materialov/>.
 15. Расчет вероятности разрушения методом Монте-Карло. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e-ecolog.ru/docs/N-3aWPdmpHTncwrHq_-Ok5/919?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.kz%2F.

Материал редакцияга 10.10.24 түсті.

Б.Б. Ахметов¹, Р.Ф. Серова¹, С.А. Жаутикова¹

¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В статье представлена методика мониторинга эксплуатационной надежности железобетонных конструкций жилых зданий, основанная на комплексном применении современных методов неразрушающего контроля, математического моделирования и прогнозирования. В ходе исследования оценивалось техническое состояние конструкций с использованием визуального

осмотра, инструментальных измерений, математического моделирования и метода Монте-Карло. В результате визуального осмотра было выявлено 30% случаев наличия дефектов, а инструментальные измерения показали, что средняя прочность бетона составляет 25 МПа, прочность арматуры – 400 МПа. В результате математического моделирования нагрузочная способность конструкций была оценена на уровне 7,5 МПа, что ниже прочности бетона. Статистический анализ, проведенный методом Монте-Карло, выявил вероятность разрушения конструкции в 1500 случаях из 10000 моделирований, что составило 15%. Предложенная методика мониторинга позволяет не только выявлять дефекты, но и оценивать техническое состояние, а также прогнозировать остаточный срок службы, что является важным для обеспечения безопасности и надежности жилых зданий. Комплексная методика мониторинга эксплуатационной надежности железобетонных конструкций жилых зданий вносит значительный вклад в области контроля и оценки надежности конструкций, отвечающих современным требованиям.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, железобетонные конструкции, жилые здания, методика, диагностика, метод Монте-Карло.

B.B. Akhmetov¹, R.F. Serova¹, S.A. Zhautikova¹

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

INTEGRATED METHOD FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract. The article presents a methodology for monitoring the operational reliability of reinforced concrete structures of residential buildings based on the integrated use of modern non-destructive testing methods, mathematical modeling and forecasting. The study assessed the technical condition of the structures using visual inspection, instrumental measurements, mathematical modeling and the Monte Carlo method. As a result of visual inspection, 30% of cases of defects were identified, and instrumental measurements showed that the average concrete strength is 25 MPa, the reinforcement strength is 400 MPa. As a result of mathematical modeling, the load-bearing capacity of the structures was estimated at 7.5 MPa, which is lower than the concrete strength. Statistical analysis carried out by the Monte Carlo method revealed the probability of structure failure in 1500 cases out of 10000 simulations, which amounted to 15%. The proposed monitoring technique allows not only to identify defects, but also to assess the technical condition, as well as to predict the remaining service life, which is important for ensuring the safety and reliability of residential buildings. The integrated methodology for monitoring the operational reliability of reinforced concrete structures of residential buildings makes a significant contribution to the field of control and assessment of the reliability of structures that meet modern requirements.

Keywords: operational reliability, reinforced concrete structures, residential buildings, methodology, diagnostics, Monte Carlo method.

References

1. Dekderkhanov, M.K. Қазақстандағы құрылыс индустриясын мемлекеттік реттеу мәселелері 2021. [Problems of state regulation of the construction industry in Kazakhstan 2021] [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.yandex.kz/docs/view?tm=1724904473&tld=kz&lang=kk&na-me=Dekderkhan-M-kaz>. <https://doi.org/10.53355/c4648-8173-5925-m>. [in Kazakh].
2. Hoła J., Runkiewicz L. Methods and diagnostic techniques used to analyse the technical state of reinforced concrete structures //Metody i techniki diagnostyczne stosowane w ocenie stanu technicznego konstrukcji żelbetowych. – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – R.309-337.

3. Prikaz Ministra natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 19 noyabrya 2015 goda № 702. Ob utverzhenii Pravil osushchestvleniya tekhnicheskogo obsledovaniya nadezhnosti i ustoychivosti zdaniy i sooruzheniy [Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated November 19, 2015 No. 702. On approval of the Rules for the implementation of a technical survey of the reliability and stability of buildings and structures]: Registered in the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on December 18, 2015 No. 12425. [in Russian].
4. SP RK 1.04-101-2012. Obsledovaniye i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy [Inspection and assessment of the technical condition of buildings and structures]. – Introduced. 01.07.2015. – Astana, 2015. – 89 p. [in Russian].
5. Smolyago G.A., Frolov N.V. Sovremennyye podkhody k raschetu ostatochnogo resursa izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s korrozionnymi povrezhdeniyami [Modern approaches to calculating the residual life of bending reinforced concrete elements with corrosion damage] //Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. – 2019. – Vol. 21. – No. 6. – P. 88-100. [in Russian].
6. Petrov M.I. Defekty i povrezhdeniya zhelezobetonnykh konstruksiy [Defects and damage to reinforced concrete structures] //Molodoy uchenyy [Young scientist]. – 2023. – No. 3(450). – P.134-137. [in Russian].
7. Krasnoshchekov YU.V. Model' prochnosti betona na otryv so skalyvaniyem [Model of concrete strength for peeling with shearing] //Vestnik SibADI [Bulletin of SibADI]. – 2021. – No. 2(78). – P. 216-224. [in Russian].
8. Xu Y., Jin R. Measurement of reinforcement corrosion in concrete adopting ultrasonic tests and artificial neural network //Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 177. – P. 125-133.
9. Zatar W. A., Nguyen H. D., Nghiem H. M. Ultrasonic pitch and catch technique for non-destructive testing of reinforced concrete slabs //Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. – 2020. – Vol. 1. – P. 1-13.
10. Drapalyuk D.A. Monitoring sostoyaniya zhilogo fonda i yego fizicheskoy iznos, provedeniye obsledovaniy stroitel'nykh materialov i konstruksiy [Monitoring the condition of the housing stock and its physical deterioration, conducting surveys of building materials and structures]: textbook.-method. manual. – Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – 82 p. [in Russian].
11. Assessment of the technical condition of reinforced concrete structures by external signs. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.steps.ru/article/otsenka_tekhnicheskogo_sostoyaniya_zhelezobetonnykh_konstruksiy_po_vneshnim_priznakam/. [in Russian].
12. Determination of the strength of concrete by the method of separation with chipping. [Electronic resource]. - Access mode: <https://sksatisexpert.com/articles/opredelenie-prochnosti-betona-metodom-otryva>. [in Russian].
13. Ulybin A.V. Methods for monitoring the parameters of reinforcement of reinforced concrete structures. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.ozis-venture.ru/files/publications/Ulybin_kp_arm.pdf. [in Russian].
14. Mathematical modeling of the stress-strain state of structures and materials. – 2022. [Electronic resource]. – Access mode: <https://ranv.ru/2022/11/26/matematicheskoe-modelirovanie-naprya-zhenno-deformiruemogo-sostoyaniya-konstrukcij-i-materialov/>. [in Russian].
15. Calculation of the probability of destruction by the Monte Carlo method. [Electronic resource]. – Access mode: https://e-ecolog.ru/docs/N-3aWPdmpHTncwrHq_-Ok5/919?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.kz%2F. [in Russian].