

**УДК 692.1**

**ҚАДАЛЫ ІРГЕТАСТАРДЫ СЫНАУ – ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙ**  
**Ауесхан Гулназ Байкелдинқызы, Сабырбаева Мадина Ерлановна**  
*[baykeldin@mail.ru](mailto:baykeldin@mail.ru)*

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ «Құрылыс» мамандығының магистранттары, Нұр-  
Сұлтан, Қазақстан  
Ғылыми жетекшісі – А. Р. Омаров

Іргетас – кез-келген құрылымның маңызды элементі, сондықтан да ол өз кезегінде қажетті жүктемелерді құрылымдық жағынан да, геотехникалық жағынан да қауіпсіз

тасымалдауы тиіс. Құрылым әлсіздігі салдарынан ақаулар туындаған жағдайда ғимарат немесе имараттың апатты түрде құлап кетуі қатері туындайды.

Қадалар – бұл топырақтың беткі кедергісі мен бүйір бетіндегі үйкелістің нәтижесінде туындаған жүктемелерді негізге беретін салыстырмалы түрде ұзын өзектер, олар тік немесе көлбеу күйде топырақта дайын түрде батырылады немесе орнында толықтай құйылады. Қадалар негізі – қадаларға жүктемені беруге және біркелкі таратуға арналған ростверктер деп аталатын тақталар немесе арқалықтар түрінде арнайы құрылыммен біріктірілген қадалар тобы. Ростверк көтергіш құралым бола отырып, ғимараттардың жерасты құралымдары үшін тірек қызметін атқарады. Жалпы алғанда, қадалардың жер астында орналасуы оларды тікелей тексеру мүмкіндігін шектейді. Бақытымызға орай, соңғы онжылдықтарда қадалардың құрылымдық тұтастығы мен жүк көтергіштігін жанама түрде бағалауға мүмкіндік беретін көптеген әдістер пайда болды. Қазіргі уақытта бұл сынау әдістері үнемі қолданылады – іргетастың құнымен салыстырғанда сынақтардың салыстырмалы түрде қарапайым құны іргетастың бұзылу қаупінің төмендеуімен негізделген және көптеген жағдайларда бүкіл іргетас құнының жалпы төмендеуіне, яғни үнемдеуге әкеледі.

Сынау мақсатына байланысты қадаларға сынақтар жүргізудің көптеген әдістері бар, ал олардың ішінде кең қолданысқа қадалардың тұтастығын тексеру, динамикалық және статикалық жүктемеге сынау әдістері ие болып отыр. Берілген мақалада осы сынау түрлерімен тереңірек танысатын боласыз.

**Кілт сөздер:** көтергіштік қабілет, қадалардың тұтастығын тексеру, динамикалық жүктемеге сынау, статикалық жүктемеге сынау, қабылдағыш (датчик).

### **Кіріспе**

Қадаларды сынау кез-келген іргетас салу үдерісінің ажырамас бөлігі болып табылады. Қолданылатын әдістердің жоба және есеп бойынша қабылданған қадалар түріне, құралым талаптарына, сондай-ақ құрылыс алаңының басым шарттарына сәйкес келуі маңызды. Қарапайым көзбен шолудан бастап ядролық сәулелену арқылы жүргізілетін барынша күрделендірілген әдістерді қамтитын тік және жанама әдіс-тәсіл түрлері қолданылады.

Қадаларды сынау не үшін қажет деген сұрақтарға жауап берсек:

- Шын мәнінде, сыналатын құралымдық элемент емес, бұл – негіз. Топырақ жағдайлары өзгеретіндіктен, қадалардың өнімділігі де өзгереді.
- Қадаларды сынау құралым сенімділігін растау, топырақтың жай-күйін валидациялау үшін және сапаны бақылау құралы ретінде қажет.
- Кең ауқымды жобаларда қадалар құралымын жақсарту және оңтайландыру үшін сынақтар пайдаланылған кезде қадаларды сынау жобаны үнемдеуге мүмкіндік береді.

Қадаларды сынауға арналған негізгі әдістерді төмендегідей жинақтауға болады:

1. Тұтастыққа тексеру (аз шамалы деформация жағдайында) – 100% қадаға (CFA және бұрғытолтырмалы қадалар);
2. Динамикалық жүктемеге сынау (үлкен шамалы деформация жағдайында) – 10-15% қадаға, 20% CAPWAP немесе SIMBAT талдау;
3. Статикалық жүктемеге сынау – 250 қадаға 1 алдын-ала, 100 қадаға 1 жұмыстық статикалық сынақ.

### **1 Қада тұтастығын тексеру**

Тұтастыққа тексеру – бұл қада өзегінде құрылыс кезінде пайда болуы мүмкін кез-келген ауытқуларды анықтау үшін қолданылатын қарапайым сынақ. Сынақтың өзі қаданың өзегі арқылы өтетін дыбыстық толқынның реакциясын өлшеуді қамтиды (қол балғасы арқылы). Бұл тексеру түрі әдетте in-situ құйылған қадаларда қолданылады (CFA және бұрғытолтырмалы қадалар). Әдетте бұл әдіс орнында толықтай құйылған қадалардың 100% тексереді, бірақ бұл сынақ темірбетон немесе болат қадаларға қолданылмайды.

Аз шамалы деформация әдісімен және ультрадыбыстық әдіспен құймалы бетон мен алдын-ала құйылған бетонның тұтастығын тексеру үдеу мен жылдамдықты қамтамасыз етеді. Қаданың бүкіл ұзындығы бойымен өтетін бастапқы соққы толқыны бетон мен негіз арасындағы тығыздықтың өзгеруімен шұлықтан көрінеді. Алайда, оның ұзындығында

кездесетін кез-келген үзілістер мен ақаулар шағылысып, кері дабылғаға қосылады. Балға қаданың басына соққы беру үшін қолданылады және оны қадамен бірге тігінен қолдану керек. Қаданың жоғарғы жағына бірнеше соққылар жасалады, содан кейін жаңғырық әр соққы үшін қозғалыс қабылдағышы немесе үдеу арқылы жазылады. Бұл құрылғы дабылдың пайда болуын қамтамасыз етеді және жылдамдықты алу үшін үдеуді біріктіреді.

Тұтастық сынағы қадалардың, үдеулердің және жылдамдықтардың жарылуын өлшеу үшін жаңғырық немесе дыбыстарды қолданатындықтан, динамикалық және статикалық сынақтар сияқты қадалардың жүк көтергіштігі туралы ешқандай ақпарат бермейді.

Қағылған қадалар үшін («Estacas cravadas») құрылымдық тұтастық жанама түрде «соққыларды санау журналы» бойынша немесе егер статикалық жүктемемен сынау қанағаттанарлық таза есептеумен немесе тікелей динамикалық сынақтар өлшемдері бойынша қажетті жобалық жүктемені көтерсе (келесі бөлімде талқыланады) бағаланады. Қағылған қадалар үшін де ("Estacas cravadas"), бұрғытолтырмалы қадалар үшін де ("Estacas escavadas") құрылымдық тұтастықты бағалау құрылымның құрылысы аяқталғанға дейін құрылымдық кемшіліктерді анықтау үшін қажет. Егер қандай да бір олқылық анықталса, оны салыстырмалы түрде төмен бағамен жөндеуге немесе ауыстыруға болады. Егер тұтастықты тексерудің кез-келген нысаны алынып тасталса, анықталмаған әлсіздік қаупі артады және осындай әлсіздікке байланысты бұзылған іргетасты қалпына келтіру құны негізгі тұтастықты тестілеу шығындарынан асып түседі.

## 2 Динамикалық жүктемеген сынау

1964 жылы Case Western Reserve Университетінде жүргізілген он екі жылдық зерттеу негізінде қағылған қадаларда деформация және үдеу қабылдағыштарын қолдана отырып, күш пен жылдамдықты өлшеу әдісі («Estacas cravadas») жасалды (14а сурет). Күшті «жоғарғы түрлендіргіштің» көмегімен де өлшеуге болады (мысалы, 14б суретте көрсетілгендей қалың қабырғалары бар құралдық құбыр), бұл бұрғытолтырмалы қадалардың бетон модуліндегі белгісіздіктерді болдырмайды. ASTM D4945, «Үлкен шамалы деформацияға арналған терең орналасқан іргетастарды динамикалық сынаудың стандартты әдісі», динамикалық бақылауды қалай жүргізу керектігін анықтайды.



Сурет 14:а) сымсыз таратқыштың көмегімен күш пен жылдамдықты өлшеу үшін қададағы үдеу (оң жақта) және деформация (сол жақта) қабылдағыштары. б) аспаптық " жоғарғы түрлендіргіш"

DLT қолдану (әлемге әйгілі PDA немесе динамикалық үлкен шамалы деформация сынақтары) әсіресе қолайлы:

- Жүк көтергіштігі жоғары қадалар;
- DLT жоғары соққы жүктемелеріне төтеп бере алатын құрама бетон қадалар;
- Дінгек бойымен біркелкі көлденең қимасы бар қадалар;
- Оффшорлық және жағалаудағы жобаларда қолданылатын қадалар.

Динамикалық жүктеме сынағы (DLT) биіктіктен лақтырылған жүк арқылы қаданың басына соққы жасау нәтижесінде қаданың жылдам реакциясы мен жүктемесін тудыруды қамтиды. Қадалардың басына бекітілген қабылдағыштар соққы кезінде пайда болатын үдеу мен кернеуді өлшейді. Осы параметрлерге сүйене отырып және кернеу толқындарының теориясын қолдана отырып, статикалық жүктеме жағдайында қадалар жұмылдыратын топырақ кедергісінің болжамдары жасалады – бұл жағдайды талдау деп аталады. Бұл сынақ қаданың тұтастығын дәлелдейді. Қосымша талдауды қадалардың есептік сипаттамаларына жүктеменің тәуелділігін болжау үшін қадалар мен топырақтың өзара әрекеттесу модельдерін қолдана отырып жүргізуге болады – бұл CAPWAP немесе Simbat талдауы деп аталады.

Динамикалық жүктемеге сынау қаданы статикалық жүктемеге сынауға қарағанда нәтижесіне өте аз уақыт көлемінде алуға мүмкіндік береді. Қаданың сыйымдылығын сынақтардан кейін бірден алуға болады. Алайда, CAPWAP сияқты қолданбалы бағдарламалар арқылы талдаудан кейін нақты жауаптар алу үшін қосымша талдау жасалады.

Бастапқыда қадаларды сынау бағдарламалық жасақтаманың көмегімен модельденеді және балғаның құлау биіктігі қадалардың рұқсат етілген немесе көтерілетін кернеулерінен асып кетпейтіндей етіп анықталады. Бұл толқындық теңдеулерді талдау деп аталады (WEAP-wave equation analysis). Бұл әдіспен сынақ жүктемесін тапқанша бірнеше рет соққы жүктемесін қолдану қажет емес. WEAP сынақ жүктемесі, сығу кернеуі және созылу кернеуінің дамуы арасындағы байланысты қамтамасыз етеді. Сондықтан осы әдіс арқылы сынауды өте оңай жасауға болады.

### **3 Статикалық жүктемеген сынау**

Барлық сынақтардың негізі бола отырып, статикалық сынақ сығуды да, созуды да сынайды – тік, көлденең немесе кез-келген көлбеу жағдайда. Сынақтардың осы түріне арналған жабдықтың көмегімен жоғары сапалы жүктеме және есептеу көрсеткіштерін алуға болады.

SLTәсіресеқолайлы:

- Салыстырмалы түрде аз сыйымдылығы бар қадалар;
- Білік пен шұлықкедергісінің есептелген коэффициенттерінің анықтау үшін;
- Орын ауыстыру кезіндегі жүктеменің өзгеруін анықтау үшін;
- Ақаулықтарды жою. SLT әдісі қадаларды сынау кезінде қолданылатын сенімді және жалпылама қабылданған әдіс.

Барлық өлшеулер қолмен жүргізілетіндіктен, біз жүктеменің жоғарылауы нәтижесінде қандай өзгеріс болатыны туралы түсінікке ие боламыз. Біз қададағы жүктемені қаданың құралымында көрсетілген сынақ жүктемесіне дейін арттырамыз және ол біртіндеп азаяды. Қаданың деформациясы бақыланады және оның рұқсат етілген шегінде екендігі тексеріледі.

Статикалық жүктемелер сынағы, әдетте, бұрғы толтырылған қадаларға қолданылады, дегенмен оны объектіде қол жеткізілген динамикалық нәтижелермен байланыс ретінде әрекет ету үшін қағылған қадаларға да қолдануға болады.

Қағылған қадалардың ("Estacascravadas") және бұрғы толтырылған қадалардың ("Estacasescavadas") жүк көтергіштігі дәстүрлі түрде статикалық жүктеме сынақтарымен (SLT) бағаланды. Өлі жүктемелерді немесе реактивті қадаларды пайдалану (12 сурет), сынақ қадасы рамкаға сығылған кезде (ASTM D1143) немесе созылған кезде (ASTM D3689) басылады.

Үлкен сынақ жүктемелері үшін ASTM D1143 өлшегіштен зор қабылдағыштың болуын талап етеді. Қауіпсіздік мақсатында сынақ рамаларын кәсіби инженерлер жобалап, мақұлдауы керек және жұмыс істейтін мамандар нақты сынақ қадасына жақындамауы үшін автоматты тіркеу жүйесімен электронды жылжыту құрылғыларын қолданған дұрыс.



Сурет 12: Өлі жүктермен (сол жақта) және реактивті рамамен (оң жақта) статикалық жүктемені сынау

Жүктеме сынағын орнату көп уақыт пен күш жұмсауды қажет етсе де, тест қысқа уақыт аралығында жүктемені көбейту арқылы жүзеге асырылуы мүмкін, кейде бірнеше сағат ішінде аяқталады немесе ұзақ уақыт сақталады, мүмкін бірнеше күн мен түнгі бақылауды қажет етеді (12 сурет). Тестілеу көп күш, уақыт пен шығынды қажет етеді, сондықтан тестілеу қадалардың өте аз пайызымен шектеледі. Статикалық сынақтар ірі жобаларда жиі кездеседі және көбінесе арнайы сынақ бағдарламасында болады, сондықтан нәтижелер жобаға және мердігерге арналған тендерлік құжаттамаға енгізілуі мүмкін. Максималды қолданылатын жүктемелер айтарлықтай таза шөгуді тудырады, сондықтан іргетастың құралымын оңтайландыруға мүмкіндік беретін шекті қуат анықталады. Аз жүктемелерді қолдану жобалық қуаттың сәйкестігін растайтын "сынақ жүктемелерінің" төменгі шекарасын жасайды. Ол қадалар сыйымдылығының нақты өлшемі ретінде қабылданғандықтан, бұл тест әдетте ең төменгі қауіпсіздік коэффициентімен беріледі. Өкінішке орай, статикалық сынақ құны көптеген кішігірім жобалар үшін іргетастың жалпы құнымен салыстырғанда өте жоғары.

**Қорытынды.** Әрине, іргетасты орнату кезінде дұрыс орнату техникасы мен оны тексеру маңызды, бірақ жеткіліксіз. Алдын-ала ерте кезеңде бағалау әдістері көп уақытты қажет ететін және қымбат тұратын статикалық жүктеме сынақтарын қамтиды, бірақ қадаларды шектеулі іріктеу үшін өміршең нұсқа болып табылады және әлі де үлкен жобаларға міндетті түрде қолданылады. Қағылған қадалар үшін соққылардың санын тексеруге болады, бірақ динамикалық формулаларға сүйену де қолайсыз – жоғары тәуекелге ие, сондықтан оны ең білімді инженерлердің өзі барынша сақтықпен қолданады.

Әр әдіс өзінің артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие. Кез-келген сынау әдісі қауіп-қатерді азайтуға көмектесетіні анық. Олар көбінесе қауіпсіздіктің төмен коэффициенттері сияқты экономикалық ынталандыруды ұсынады, бұл тестілеу нәтижесінде шығындарды едәуір үнемдеуге әкелуі мүмкін, сондықтан жалпы іргетастың құнын едәуір төмендетеді, сонымен қатар сәтсіздік пен қымбат болып табылатын қайта қалпына келтіру салдырын азайтады.

#### **Қолданылған әдебиттер тізімі**

1. ASTM D 4945, "Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundations", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
2. ASTM D1143, "Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
3. ASTM D3689, "Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tension Load", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

4. Likins, G., Rausche, F., (2004), Correlation of CAPWAP with Static Load Tests. Proceedings of the Seventh Int'l Conf. on Application of Stresswave Theory to Piles 2004: Petaling Jaya, Selangor, Malaysia; 153-165
5. Rausche, F., Goble, G., Likins, G., (1985), "Dynamic Determination of Pile Capacity", ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol 111, No 3, 367-383.
6. Smith, E.A.L., (1960), Pile Driving Analysis by the Wave Equation, American Society of Civil Engineers Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, 86(4), 35-61.