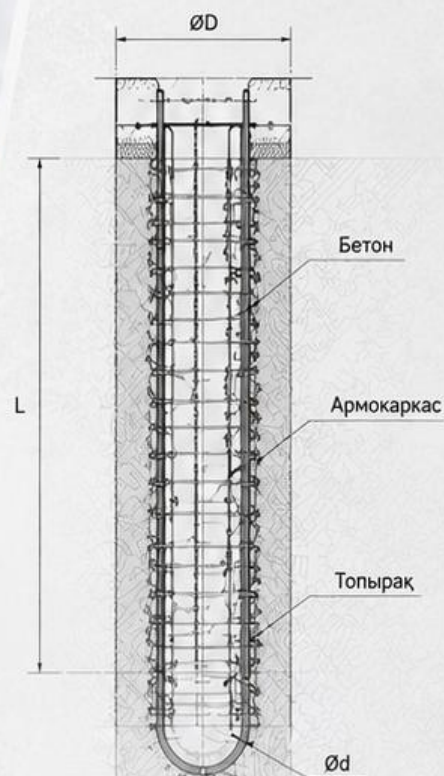




БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕТОН ҚҰРАМЫ

МОНОГРАФИЯ



А.Д. Алтынбекова

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛЛТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ӨНЕРКӘСІПТІК ЖӘНЕ АЗАМАТТЫҚ ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯСЫ
КАФЕДРАСЫ

А.Д. Алтынбекова

**БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН
МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕТОН ҚҰРАМЫ**

монография

АСТАНА, 2026

ӘОЖ 691.32:624.154
КБЖ 38.33+38.626
А46

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті
Ғылыми кеңесінің шешімімен ұсынылған
(29 маусым 2026 ж. № 19 хаттама)

Рецензенттер:

Д.С. Дюсембинов - техника ғылымдарының кандидаты, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы», Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.

Ф.Б. Абдушкuroв - техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС «АБК-Лаборатория» техникалық директоры.

Д.К. Оразова - философия докторы (PhD), С. Торайғырова атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің «Өнеркәсіптік азаматтық және көлік құрылысы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры.

Бұрғылап құйылатын қадаларды өндіруге арналған модификацияланған бетон құрамы. Монография / А.Д. Алтынбекова. – Астана: «Enter Group» ЖШС, 2026. - 101 бет.

ISBN 978-601-385-254-6

Монография бұрғылап құйылатын қадаларды өндіруге арналған модификацияланған бетон құрамын әзірлеуге және оның қасиеттерін кешенді зерттеуге арналған. Жұмыста эксперименттік зерттеулердің нәтижелері, ғылыми негізделген технологиялық шешімдер және әзірленген бетон құрамдарын өнеркәсіптік ортада және құрылыс алаңдарында пайдалану бойынша практикалық ұсыныстар ұсынылған.

Монография «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын мен конструкцияларын өндіру» бағдарламасы бойынша магистранттарға, докторанттарға, бетонтану және заманауи құрылыс материалдарының технологиясы саласындағы жас ғалымдарға арналған.

ӘОЖ 691.32:624.154
КБЖ 38.33+38.626

ISBN 978-601-385-254-6

© «Enter Group» ЖШС, Пушкин көшесі 15Б
© А.Д. Алтынбекова, 2026

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ.....	5
1 БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БЕТОН ӨНДІРУ ТӘЖІРИБЕСІН ТАЛДАУ.....	7
1.1 Бұрғылап құйылатын қадаларды салу технологиясы. Астана қаласының маңындағы өзектілігі және қолданылуы.....	7
1.2 Бетон өндірісінің қазіргі заманғы түсінігі және негізгі қағидалары.....	10
1.3 Бетонға қосылатын қоспалар және олардың бетонның қасиеттерін жақсартуға әсері.....	17
2 БЕТОННЫҢ НЕГІЗГІ КОМПОНЕНТІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ШИКІЗАТТЫ ЗЕРТТЕУ.....	26
2.1 Зерттеу әдістері мен тәсілдері.....	26
2.1.1 Цементтің физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау.....	26
2.1.2 Құмның физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау.....	27
2.1.3 Қиыршық тастың физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау.....	28
2.2 Шикізат компоненттерін зерттеу нәтижелері.....	30
2.2.1 Цементтің физикалық және механикалық қасиеттерін зерттеу нәтижелері.....	30
2.2.2 Цемент қасиеттерін салыстырмалы талдау және оңтайлы цемент түрін таңдау.....	32
2.2.3 Өртүрлі көздерден алынған құмның жарамдылығын бағалау.....	36
2.2.4 Өртүрлі кен орындарынан алынған қиыршақ тастардың сипаттамаларын бағалау.....	38
3 МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫҢ КОМПОНЕНТТЕРІН ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	41
3.1 Қоспаның құрамдас бөліктерінің сипаттамалары.....	41
3.2 Модификацияланған қоспаның технологиялық құрамы және өндіріс процесі.....	43
3.3 Зерттеу әдістері.....	46
3.3.1 Цемент тасының рентгендік дифракциялық талдауы.....	46
3.3.2 Цемент қоспасының ұстасу мерзімін анықтау.....	47
3.4 Цемент тасының қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері.....	47
3.4.1 Цемент тасының рентгендік дифракциялық талдауы.....	47
3.4.2 Цемент қоспасының ұстасу мерзімін әсері.....	56
4 МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ.....	60
4.1 Зерттеу әдістері.....	60
4.1.1 Бетонның сығылу беріктігін анықтау.....	60
4.1.2 Бетонның су сіңіруін анықтау.....	60

4.1.3	Бетонның аязға төзімділігін анықтау.....	61
4.1.4	Бетонның коррозияға төзімділігін анықтау.....	61
4.2	Бетон құрамының әсерін зерттеу нәтижелері.....	62
4.2.1	Бетон қоспаларының беріктік сипаттамалары.....	62
4.2.2	Бетонның су сіңіруі.....	65
4.2.3	Бетонның аязға төзімділігі.....	69
4.2.4	Бетонның коррозияға төзімділігі.....	74
5	БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫҢ БЕТОН ӨНДІРУ ӘДІСІ.....	82
	ҚОРЫТЫНДЫ.....	85
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕРІНІҢ ТІЗІМІ.....	86

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта Қазақстанда, әсіресе биік құрылыс қарқынды дамып келе жатқан Астана қаласында, ірі көлемді құрылыс жобалары үшін қадаларды пайдалану маңызды құрамдас бөлікке айналууда. Астана қаласында бұрғылап құйылатын қадаларды (БҚҚ) пайдаланудың өзектілігі бірнеше факторларға байланысты. Тығыз қалалық ортада қадалы іргетастарға ғимараттар салу үшін БҚҚ технологиясын пайдалану көршілес құрылымдарға түсетін динамикалық жүктемелерді азайту және бүкіл құрылыс алаңынның қауіпсіздігін қамтамасыз етудің ең тиімді шешімі болып табылады. Бұл іргетастар әртүрлі геологиялық және климаттық жағдайларға төтеп бере алатындықтан, олар ғимараттар өзгермелі қоршаған орта жағдайларына бейімделуі керек, қадаларда негізі таңдау болып табылады. БҚҚ құрылыстағы негізгі іргетас түрлерінің бірі болып табылады, сондықтан оларды өндіру үшін тез қатаятын, ыңғайлы жайылатын бетон қоспасын әзірлеу өте маңызды. Әзірленген бетон қоспасы өнімділік пен сапаны жақсартады, бетонды ұнғымаға (скважина) құю процесін жеделдетеді және құрылыс уақытын қысқартады.

Бүгінгі таңда бетон негізгі құрылыс материалы болып саналады және оған деген жоғары сұраныс тек беріктігімен ғана емес, сонымен қатар оны өндірудің технологиялық күрделілігімен де байланысты. Жоғары сапалы бетон өндірудегі маңызды қадам бетон қоспасын мұқият дайындау, құю және тығыздау. Бұл процесстер бетон конструкцияларының жоғары сапасы мен беріктігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Ауыр жүктемелер кезінде және агрессивті орта пайдалануға арналған жоғары беріктіктегі бетонды өндіру кезінде тек жоғары сапалы материалдарды ғана емес, сонымен қатар модификацияланған қоспаларды да пайдалану өте маңызды, себебі олардың әрқайсысы жоғары сапалы құрылыс материалын жасауда маңызды рөл атқарады.

Құрастырмалы бетон конструкцияларына арналған бетон қоспаларын әзірлеу кезінде оңтайлы техникалық өнімділік пен құрылымдық беріктікті қамтамасыз ету үшін дұрыс қоспаларды таңдау өте маңызды. Бетон инженериясындағы бұл қиындықтардың шешімі синергетикалық өзара әрекеттесуге қабілетті модификацияланған қоспаларды пайдалану болып табылады, бұл бетон құю тиімділігін арттырады және жоғары беріктік пен тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Зерттеудің шешімі - сумен қаныққан топырақтарда қолдануға арналған физикалық және механикалық қасиеттерге, ылғал мен коррозияға, төзімділікке қойылатын нақты талаптармен БҚҚ өндіруге арналған модификацияланған қоспамен жоғары беріктікке ие ыңғайлы жайылатын бетон. Әзірленген модификацияланған қоспаның әсерінен бетонның физикалық және механикалық қасиеттерінің өзгерістеріне талдау жүргізілді. Зерттелген параметрлерге беріктік, аязға төзімділік және агрессивті ортаға төзімділік жатады. Алынған деректер ұсынылған қоспамен модификацияланған бетон конструкцияларының пайдалану сенімділігі мен беріктігінің растайды.

Зерттеудің мақсаты - беріктігі, каррозияға төзімділігі және басқа да қасиеттері жақсартылған бетон алу үшін жұмысқа жарамды бетонның оңтайлы құрамын анықтау. Бетонға модификацияланған қоспаның бірлескен әсері арқылы цемент матрицасының құрылымын тығыздау және нығайту арқылы қол жеткізіледі. Модификацияланған қоспаны әзірлеу кезінде бетонға қойылатын жалпы қабылданған стандарттар мен талаптар ғана емес, сонымен қатар бетонның құрылымына, оның физикалық және механикалық қасиеттеріне әсер ететін негізгі қасиеттер мен сипаттамалар да ескеріледі. Модификацияланған қоспаның құрамы: модификатор - спирт өндірісінің қалдық өнімі «спирттік кейінгі барда (СКБ)» (негізгі компонент), каустикалық сода (NaOH) және бетонның қатаюын реттегіш ретінде гипс. Модификацияланған қоспаны әзірлеудің бұл әдісі бетонның қасиеттерін жақсартатын және оның өнімділігін арттыратын компоненттердің оңтайлы үйлесімін қамтамасыз етеді.

Соңғы онжылдықтарда бетон теориясы мен технологиясында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілді, мұны отандық және шетелдік ғалымдар жүргізген көптеген зерттеулер растайды. Бұл саладағы жетекші зерттеулердің қатарында Горчаков Г.И., Ахвердов И.Н., Баженов Ю.М., Батраков В.Г., Хигирович М.И., Скрамтаев Б.Г. және де басқа көптеген ғалымдар бар, олар осы салаға айтарлықтай үлес қосты. Кордц С., Фишер Ф.Б., Виттман Ф.Х., Бурнеман Р. сияқты ғалымдар жүргізген шетелдік зерттеулер де құрылыс индустриясының қарқынды дамуының жаһандық сипатын дәлелдейді.

Волжский А.В., Баженов Ю.М., Мхмедлова-Петросян О.П., Шейкин А.Е., Комухов П.Г. және Саламатов В.И. сияқты ғалымдар агрессивті ортадағы құрылыс конструкцияларының беріктігіне әсер ететін факторларды түсінуімізді кеңейту үшін белсенді жұмыс істеуде. Сондықтан қоспалардың цементпен үйлесімсіздігі және агрессивті ортада бетонның коррозияға төзімділігінің төмендігі сияқты кемшіліктерді жоя алатын формулаларды әзірлеу үшін қосымша зерттеулер қажет.

Өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану арқылы қоспалар мен бетонның құнын төмендету маңызды міндет болып табылады, осыған байланысты модификацияланған жоғары беріктік бетон құрамдарын және өнеркәсіптік қалдықтарды пайдаланып БҚҚ өндіру әдістерін әзірлеу өзекті және маңызды болып табылады.

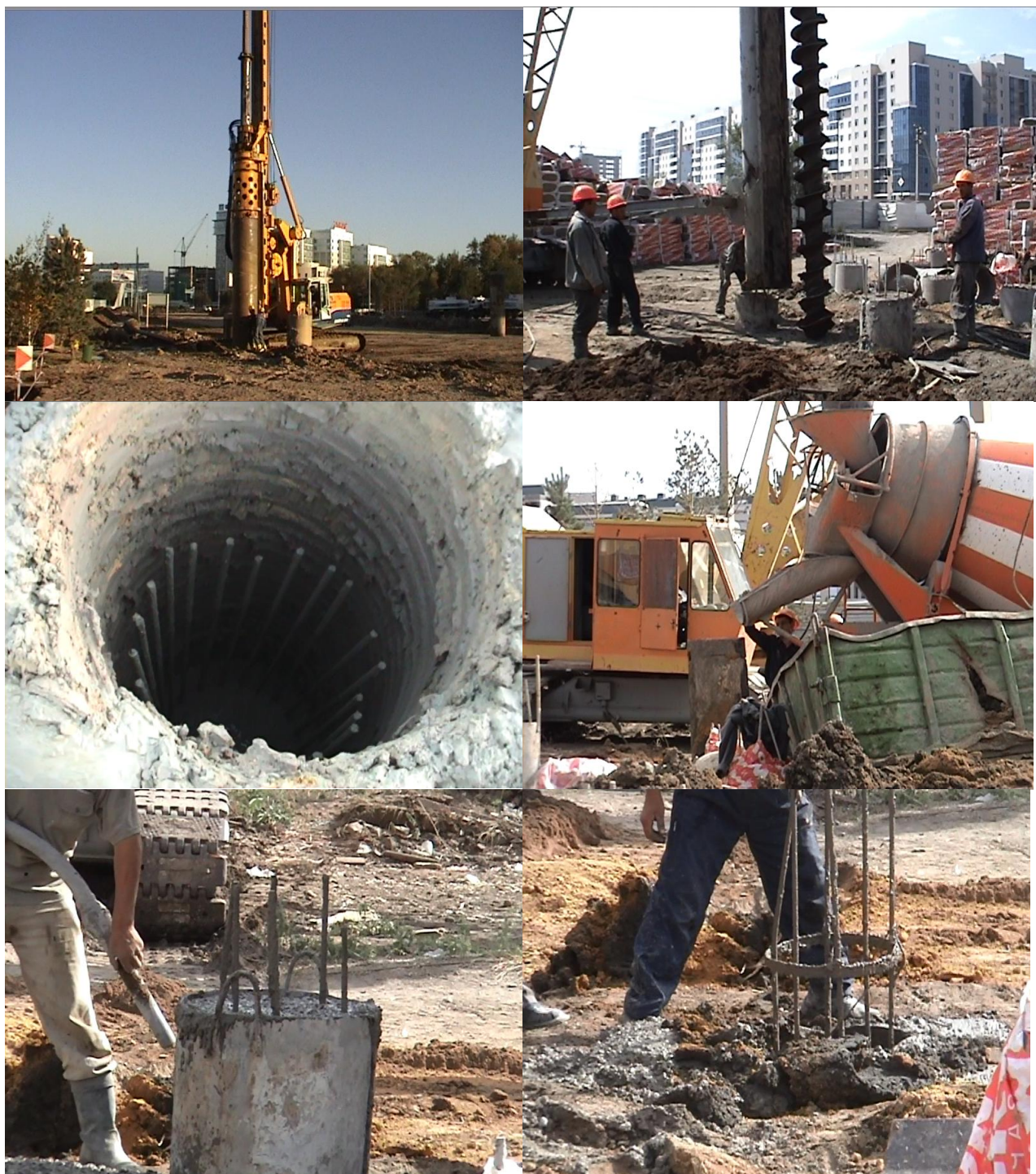
1 БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БЕТОН ӨНДІРУ ТӘЖІРИБЕСІН ТАЛДАУ

1.1 Бұрғылап құйылатын қадаларды салу технологиясы. Астана қаласының маңындағы өзектілігі және қолданылуы

БҚҚ пайдалану қазіргі құрылыс индустриясында басқа кең таралған іргетас түрлерімен салыстырғанда тиімді және маңызды жобалау шешімі ретінде танылған [1-4]. Құрылыста БҚҚ пайдалану технологиялық жетілдірудің көптеген кезеңдерінен және циклдарынан өтіп, айтарлықтай эволюцияға ұшырады. Бұл эволюция БҚҚ іргетастарын жасау үшін қолданылатын жобалау әдістерін, орнату процестерін және материалдарын үздіксіз жетілдіруге деген ұмтылысты көрсетеді [5-8]. Қалалық инфрақұрылымның қарқынды дамуы және көп қабатты құрылыс көлемінің өсуі жаңғырту мен экономикалық өсуге деген ұмтылыспен байланысты. Бұл процесс құрылымдардың қауіпсіздігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін заманауи және сенімді әдістерді қажет етеді. Осыған байланысты жүк көтергіш іргетас құрылыс қызметінің ажырамас бөлігіне айналды. Олардың маңыздылығы тек беріктік пен тұрақтылықты қамтамасыз ету қажеттілігімен ғана шектелмейді, сонымен қатар топырақтың және ғимарат іргетастарының сипаттамаларын, әсіресе көп қабатты және биік ғимараттарды салуда ескеру қажеттілігін де қамтиды [9-15].

Қазақстан Республикасында монолитті қадалар (МК) іргетас қазбаларының маңызды құрамдас бөлігіне айналуға [16-19], және де монолитті қадалар әлемдегі ең ірі сала болып табылады. Әдістердің бұл әртүрлілігі нақты жағдайлар мен қиындықтарды ескере отырып, заманауи құрылыс тәжірибесінің талаптарына сай келеді. Астана қаласында, БҚҚ қолданудың өзектілігі бірнеше факторларға байланысты. Тығыз қалалық ортада ғимараттарды жүк көтергіш іргетастарға салу үшін БҚҚ технологиясын пайдалану көршілес құрылымдарға түсетін динамикалық жүктемелерді азайту және бүкіл құрылыс алаңының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін оңтайлы шешім болып табылады. Бұл іргетастар әртүрлі геологиялық және климаттық жағдайларға төтеп бере алады, бұл оларды құрылымдар өзгермелі қоршаған орта жағдайларына бейімделуі керек қалаларда артықшылықты таңдау етеді [20-23].

Қазіргі заманғы БҚҚ технологиялары әртүрлі геологиялық кедергілерді тиімді жеңуге мүмкіндік береді [24-26]. Сонымен қатар, Астана қаласында, маусымдық климаттық өзгерістермен, соның ішінде температураның күрт ауытқуларымен және қатал қыстармен сипатталады. Беріктігінің арқасында БҚҚ әртүрлі климаттық әсерлерге төтеп бере алатын сенімді негіз болып табылады [27-30]. Қаптама құбырларын (обсадная труба) пайдаланып орнату әртүрлі геологиялық жағдайларды жеңе алады. Бұл әдіс тұрақсыз немесе жоғары өткізгіш топырақтарды қоса алғанда, кез келген топырақ түрінде БҚҚ нығайтуға мүмкіндік береді. Қаптама қабырларын бұрғылау кезінде топырақтың құлауынан қорғайды және тұрақтылықты қамтамасыз етеді, тіпті қиын геологиялық жағдайларда да БҚҚ орнатуға мүмкіндік береді [31-34], 1.1-сурет.



1.1-сурет - Бұрғылап құйылатын қадаларды салу технологиясы

БҚҚ орнату бірнеше кезеңнен тұрады, олардың әрқайсысы жоғары сапалы және сенімді іргетастың болуын қамтамасыз ету үшін маңызды бірнеше қадамдарды қамтиды [35-37]:

1. Дайындық жұмыстары: Бұл кезең БҚҚ орнату басталғанға дейін құрылыс алаңын дайындауды қамтиды. Топырақтың және айналасындағы ғимараттардың сипаттамаларын ескере отырып, барлық кейінгі кезеңдер үшін қажетті жағдайларды жасау маңызды.

2. Бұрғылау қондырғысын ұңғыма осіне орналастыру: Ұңғымаларды бұрғыламас бұрын, бұрғылау жабдықтарын дәл орналастыру керек. Бұрғылау қондырғысының дінгегінің орталықтануы мен тік орналасуы жоғары сапалы бағандарды алу үшін маңызды параметрлер болып табылады. Есептелген орталықтан ауытқу БҚҚ диаметрінің 4%-нан аспауы керек.

3. Қаптаманы бұрғылау: Қаптаманы орнату құбырды жерге енгізу және оны айналдыру арқылы жүзеге асырылады, бұл кейінгі бұрғылау үшін өте маңызды.

4. Қазу: Бұл кезең ұңғыманы қазуды қамтиды, ол келесі бетон құю үшін қуыс жасайды. Әрбір келесі ұңғыма бұрын құйылған бетон тірегінің ортасынан кемінде 3 диаметрде қазылуы керек.

5. Арматуралық торды орнату: Ұңғыманы бұрғылағаннан кейін, МЕМСТ 14098-2014 «Темірбетон конструкцияларының дәнекерленген арматурасы мен арматура элементтерінің қосылыстары. Түрлері, конструкциялары және өлшемдері» талаптарына сәйкес арнайы арматуралық тор орнатылады.

БҚҚ қажетті беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін арматура қолданылады, оның ішінде келесі түрлері бар [38-44]:

1. Бойлық арматура — МЕМСТ 5781-82 «Темірбетон конструкцияларын арматуралауға арналған ыстықтай жайылған болат. Техникалық сипаттамалар» бойынша А300 (А-II) және А400 (А-III) кластары, МЕМСТ 10884-94 «Темірбетон конструкцияларына арналған термомеханикалық шындалған арматуралық болат. Техникалық сипаттамалар» бойынша А400 (А-III) және А600 (А-IV) кластары.

2. Бойлық алдын ала кернелген арматура — МЕМСТ 5781-82 «Темірбетон конструкцияларын арматуралауға арналған ыстықтай жайылған болат. Техникалық сипаттамалар» және МЕМСТ 10884-94 «Темірбетон конструкцияларына арналған термомеханикалық шындалған арматуралық болат. Техникалық сипаттамалар» бойынша А600 (А-IV) және А800 (А-V) кластары, МЕМСТ 13840-68 бойынша 1х7 арқандар. МЕМСТ 7348-81 «Арматуралауға арналған көміртекті болат сым. Алдын ала кернелген темірбетон конструкцияларына арналған техникалық сипаттамалар» бойынша BR1200 - BR1500 (BR-II) сымы.

3. Құрылымдық арматура - МЕМСТ 6727-80 «Темірбетон конструкцияларын нығайтуға арналған суықтай созылатын төмен көміртекті болат сым. Техникалық сипаттамалар» бойынша В500 (В-I; Vг-I) және МЕМСТ 5781-82 «Темірбетон конструкцияларын нығайтуға арналған ыстықтай батырылған мырышталған болат. Техникалық сипаттамалар» бойынша А240 (А-I) сыныбына сәйкес.

4. Бетон құю: Бұл кезең бетон қоспасын жеткізуге арналған арнайы жабдықты пайдаланып дайындалған ұңғыманы толтыруды қамтиды. Бетон құю кезеңі бірнеше маңызды кезеңнен тұрады:

4.1. Бетон қоспасын жеткізу және орналастыру уақыты. Бұл кезең бетонның орналастыру аяқталғанға дейін қатып қалмауы үшін мерзімдерді дәл

сақтауды талап етеді. Тиімді жеткізу және орналастыру бетон қоспасының оңтайлы қасиеттерін сақтау үшін өте маңызды.

4.2. Бетон қоспасын құрылыс алаңына тасымалдау. Бетонды құрылыс алаңына тасымалдау үшін бетон таситын жүк көліктері мен араластырғыштар қолданылады, бұл жоғары сапалы жеткізуді қамтамасыз етеді. Қыста бетон оқшауланған бетон жүк көліктерінде тасымалданады, ал шұңқырға құйылған кезде бетон қоспасының температурасы 5°C-тан төмен түспеуі керек.

4.3. Бетон қоспасының сапасын бақылау. Маңызды аспект - бетон қоспасының компоненттерінің, дайындау әдістерінің және бақылауының СН РК 5.01-03-2013 «Баспалдақ іргетастар», ҚР ҚН 5.01-01-2013 «Топырақ құрылымдары, іргетастар және іргетастар», МЕМСТ 7473-2010 «Бетон қоспалары. Техникалық сипаттамалар» және МЕМСТ 10181.1-81 «Бетон қоспалары. Тірек сыйымдылығын анықтау әдістері» стандарттарына сәйкестігі.

Астана қаласы экономикалық және құрылыс дамуының ірі орталығы ретінде көпқабатты құрылысқа деген қажеттілік пен оның қарқынды өсуімен белсенді күресуде. Осы қиындықты ескере отырып, қадаларды пайдалану көпқабатты ғимараттардың тұрақтылығын, сондай-ақ құрылыс алаңдарын тиімді пайдалануды қамтамасыз етудің ажырамас элементі болып табылады. Қала құрылысында қолданылатын қадалар ғимараттардың қауіпсіздігін, тұрақтылығын және беріктігін қамтамасыз ететін маңызды құрамдас бөлік болып табылады. Астана қаласының қарқынды өсуі мен дамуымен көпқабатты ғимараттар қаланың сәулеттік ландшафтының ажырамас бөлігіне айналды, ал жүк көтергіш іргетас ғимараттардың құрылымдық сенімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

1.2 Бетон өндірісінің қазіргі заманғы түсінігі және негізгі қағидалары

Қазіргі құрылыста бетон мен темірбетонды пайдалану әртүрлі құрылыс құрылымдарының құрылыс процесінің ажырамас бөлігіне айналды. Бүгінгі таңда бетон негізгі құрылыс материалы болып саналады және оған деген жоғары сұраныс тек беріктігімен ғана емес, сонымен қатар оны өндірудің технологиялық күрделілігімен де түсіндіріледі. Бетонды сәтті пайдалану құрылыс индустриясының даму деңгейінің сенімді көрсеткіші болып саналады [45-48]. Айта кету керек, бетонды пайдаланбайтын құрылыс жобасы іс жүзінде жоқ [49-53].

Бетонның артықшылықтары оның беріктігінде ғана емес, сонымен қатар өндірістің қарапайымдылығында да жатыр. Шикізаттың кеңінен қолжетімділігі, жоғары сапалы, үнемді өндіріс және қоршаған ортамен үйлесімді әрекеттесу мүмкіндігі бетонды бірегей және сұранысқа ие құрылымдық және құрылыс материалына айналдырады [54-58]. Тұрақтылыққа, экологиялық тазалыққа және тиімділікке басымдық берілетін заманауи құрылыс үрдістері аясында бетон құрылыс материалдарының арсеналында орталық орынды иеленуді жалғастыруда [59-64].

Соңғы жылдары бетон теориясы мен технологиясында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілді, бұған отандық және шетелдік ғалымдардың бірқатар ғылыми жетістіктері дәлел бола алады. Бұл саладағы жетекші зерттеушілердің қатарында Горчакова Г.И., Ахвердов И.Н., Баженов Ю.М., Батраков В.Г., Хигерович М.И., Скрамтаев Б.Г., Н.Н., Байжанов Д.О. [65-80], сондай-ақ осы саладағы басқа да көптеген көрнекті ғалымдар бар. Бұл ғалымдардың ғылыми зерттеулері бетон материалдарының қасиеттері мен сипаттамаларын жақсартуға қатысты кең ауқымды мәселелерді қамтиды. Бетонның қасиеттерін зерттеуден бастап, оның әртүрлі жағдайларда беріктік сипаттамаларын болжауға дейін, бұл ғалымдар құрылыс материалдары саласындағы қазіргі заманғы ғылымға айтарлықтай үлес қосты.

Кордтс С., Фишер Ф.Б., Виттман Ф.Х., Борнеман Р. [81-84] және басқа да ғалымдар жүргізген халықаралық зерттеулер құрылыс индустриясының қарқынды дамуының жаһандық сипатын көрсетеді. Қазіргі құрылыс жағдайындағы материалдардың сенімділігі мен беріктігіне қойылатын заманауи талаптар [85-93] бетонды тек қарапайым құрылыс материалы ретінде ғана емес, сонымен қатар жоғары стандарттар мен сай келетін технологиялық тұрғыдан көп қажет ететін өнім ретінде қарастыруға мәжбүр етеді. Бұл саланың заманауи талаптарына сай келетін сапалы жаңа материалдарды жасаудың негізіне айналды.

Қазіргі уақытта ғимараттар мен құрылыстарға, соның ішінде әртүрлі мақсаттағы нысандарға коррозиядан болатын зиян келтіруі мүмкін факторларды зерттеуге арналған айтарлықтай зерттеу тәжірибесі жинақталды [94-96]. Мамандар агрессивті ортаның материалдарға әсерін талдайды және құрылыс конструкцияларының бұзылуына әкелетін процестерді зерттейді [97-100]. Коррозияға қарсы шараларды дұрыс қолдану арқылы бетон конструкциялары әдетте бүкіл жобалау қызмет ету мерзімі ішінде өздерінің пайдалану сипаттамаларын сәтті сақтайды. Мұны ғылыми және зерттеу тәжірибесі растайды, агрессивті ортаға әсер етуді дұрыс басқару арқылы бетон элементтерінің тұрақтылығын сақтаудың сәтті мысалдары тіркелген.

Бетон конструкцияларының әртүрлі агрессивті орталарға ұшырауы нәтижесінде пайда болатын коррозия процестерін түсінуді дамыту және олардың беріктігін болжау қарқынды зерттеулердің тақырыбы болып табылады. Волжский А.В., Мхмедлова-Петросян О.П., Шейкин А.Е., Комохов П.Г. және Соломатов В. И. [101-106] бұл зерттеуге айтарлықтай үлес қосып және коррозиялық ортадағы құрылыс конструкцияларының беріктігіне әсер ететін факторлар туралы білімімізді кеңейтті.

Жерасты құрылыстарын салуда ерекше маңызды болып табылатын арнайы талаптарға сай келетін бетонның арнайы түрлері бар. Жерүсті құрылыстарымен салыстырғанда ылғалдылығы жоғары және пайдалану жағдайлары қиын болғандықтан, мұндай жер асты құрылыстарын жобалау ерекше қиындықтарға тап болады [107, 108]. Осыған байланысты жерасты құрылыстарында бетонды пайдалануды реттейтін арнайы стандарттар құрылыс материалдарының сапасы мен техникалық сипаттамаларына қатаң талаптар

қояды. Құрылыс материалының беріктігін оны нығайту немесе көлденең қимасын арттыру арқылы арттыру жеткілікті болатын жерүсті құрылыстарынан айырмашылығы, жер асты құрылысында бұл әдістер құрылымның көлемінің шектеулі болуына байланысты шектеулі [109-115]. Сондықтан жерасты құрылысының шарттары жоғары беріктіктегі бетонды пайдалануды талап етеді. Жерасты құрылыстарының техникалық сипаттамалары мен агрессивті жағдайлары қиын жағдайларда жоғары беріктік пен тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін арнайы жасалған бетонды пайдалануды талап етеді. Бұл тек бетонға ғана емес, сонымен қатар оның компоненттеріне де қойылатын талаптарды анықтайды, бұл жер асты құрылыстарының сенімділігі мен беріктігін қамтамасыз ету тұрғысынан маңызды аспект болып табылады [116-118].

Құрылыс индустриясы тарихында жоғары беріктіктегі бетонды қолдану 1960 жылдардың бірінші жартысында айқын көрінді. Бұл кезең маңызды жаңалықтармен, соның ішінде АҚШ-та, Норвегияда және басқа да елдерде беріктігі 40 МПа-дан асатын бетонды белсенді өндірумен ерекшеленді [117-123]. АҚШ-да, Норвегияда және басқа да бірқатар елдерде жоғары беріктіктегі бетон өндірісіндегі өнеркәсіптік тәжірибе жоғары функционалды және сенімді құрылымдарды салуға мүмкіндік беретін ауқымда жинақтала бастады. Бұл жаңалықтар айтарлықтай механикалық және технологиялық жүктемелерге төтеп бере алатын материалдарды жасау қажеттілігінен туындады, бұл әсіресе қазіргі заманғы көп қабатты және монолитті ғимараттар үшін өзекті. Уақыт өте келе отандық және шетелдік зерттеушілер мен ғалымдар заманауи құрылыс талаптарына бейімделген жаңа бетон құрамдарын жасауға үлес қосты [124-126].

Бүгінгі жоғары беріктіктегі бетон құрамдары көп компонентті болып табылады және әртүрлі шығу тегі бар химиялық және минералды қоспаларды қамтиды. Бұл инновациялық құрамдар бетонға бірегей қасиеттер береді және берік, сенімді және функционалды құрылымдарды салуға мүмкіндік береді. Бетонға әртүрлі қоспаларды енгізу құрылыс материалдарын дамытудағы маңызды кезең болып табылады, инженерлер мен құрылысшыларды қазіргі құрылыс индустриясындағы әртүрлі мәселелерді шешуге арналған тиімді құралдармен қамтамасыз етеді.

Бетон бұйымдарының негізгі және соңғы сипаттамалары мұқият зерттелген және оңтайландырылған құрылымға негізделген, оның қалыптасуы бірнеше жылға созылатын технологиялық цикл болып табылады [127-129]. Бұл процесс ғылыми таңдалған шикізаттан бастап бетон қоспасын дайындау, құю және тығыздау, содан кейін бетонды қатайту және оңтайландыруға дейінгі әртүрлі кезеңдерді қамтиды. Құрылымның қажетті беріктігін қамтамасыз ету үшін барлық технологиялық кезеңдерде бетонның ішкі құрылымының қалыптасуын жүйелі және белсенді түрде бақылау қажет. Бұған шикізат компоненттерінің параметрлерін бақылау, құрамын нақты жағдайларға мұқият бейімдеу, қоспаны дайындау және құю процестерін қатаң сақтау, сондай-ақ қатайту және кептіру процестерін қатаң бақылау кіреді.

1.2-суретте жүйелі өндірісті жүзеге асыруда маңызды нұсқаулық болып табылатын бетон қоспасын өндірудің технологиялық процесінің диаграммасы

көрсетілген. Көрсетілген кезеңдер бірыңғай және үздіксіз өндіріс циклін құрайтын нақты анықталған реттілікпен орындалады. Бұл цикл бастапқы материалды жеткізу кезеңінен бастап соңғы сапаны бақылауға дейінгі әртүрлі негізгі кезеңдерді қамтиды.



1.2-сурет - Бетон қоспасын өндірудің технологиялық процесі

1-кезең. Материалдарды жеткізу: Бұл кезең бетон қоспасын дайындауға қажетті шикізатты, соның ішінде цементті, толтырғышты, құмды және суды уақтылы жеткізуді қамтиды.

2-кезең. Материалдарды қабылдау және сақтау: Жеткізу кезінде материалдар қабылданып, сапасы тексеріледі және олардың оңтайлы жағдайын сақтау үшін тиісті түрде сақталады.

3-кезең. Материалдарды дайындау: Шикізат қажетті бетон қоспасының сипаттамаларын қамтамасыз ету үшін ұсақтау, елеу және партиялау сияқты қажетті өңдеуден және дайындаудан өтеді.

4-кезең. Бетон дайындау: Бұл кезеңде алдын ала араластырылған материалдар мұқият теңдестірілген формулаларға сәйкес араластырылады, мұнда дәлдік пен пропорциялар маңызды рөл атқарады.

5-кезең. Бетонды тасымалдау: Дайындаудан кейін бетон қоспасы арнайы көліктерді пайдаланып болашақта пайдалану орнына тасымалданады.

6-кезең. Қалыпты дайындау: Бетон элементтеріне арналған қалып тазалау және реттеу арқылы, кейінгі қалыптау процесіне дайындалады.

7-кезең. Элементтерді нығайту: Бұл кезеңде арматура дайындалған қалыптарға салынып, болашақ бетон құрылымының негізін құрайды.

8-кезең. Элементтерді қалыптау: Қоспа дайындалған қалыптарға құйылып, болашақ бетон элементтерінің дәл геометриясы мен құрылымын қамтамасыз етеді.

9-кезең. Бетонды қатайту: Бетонды қатайту және оның беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін мұқият бақыланады.

10-кезең. Бетон сапасын бақылау: Технологиялық циклдің маңызды бөлігі - бетонның физикалық, химиялық және механикалық параметрлерін жүйелі бақылау.

11-кезең. Сапаны бақылау: Циклдің соңғы кезеңі өндірістің барлық кезеңдерінде кешенді сапаны бақылау шараларын қамтиды, бұл бетон өнімдерінің жоғары стандарттарға сәйкес келетінін растайды.

Ғылыми зерттеулер көп компонентті бетон қоспаларын пайдалану [130] цемент тасының пайда болуының барлық кезеңдерінде құрылымды мұқият бақылау үшін жаңа мүмкіндіктер ашатынын көрсетті. Бұл тәсіл сонымен қатар қажетті сипаттамалар жиынтығы бар құрылыс материалдарын өндіруді қамтамасыз етеді, әсіресе жоғары сапалы бетон үшін маңызды. Жоғары сапалы бетонда қолданылатын материалдарға қойылатын талаптар дәстүрлі бетон компоненттеріне қойылатын талаптардан айтарлықтай асып түседі. Сондықтан, қажетті өнімділікке минималды шығынмен қол жеткізу негізгі зерттеу мақсаты болып табылады.

Қажетті қасиеттерге қол жеткізудің негізгі аспектісі - бетон қоспасының құрамын реттеу. Бұл процесс бетонның оңтайлы қасиеттерін қамтамасыз ету үшін белсенді түрде енгізілетін әртүрлі химиялық және минералды қоспаларды қарастыруды қамтиды. Бұл тәсіл соңғы өнімге қойылатын талаптарды тиімді теңестіреді, жоғары сапа көрсеткіштерін сақтайды және шығындарды азайтады. Бетон мен құрылымдарды коррозиядан қорғаудың негізгі әдістерінің бірі ретінде бетон қоспаларына олардың минералогиялық құрамын да, микроқұрылымын да өзгертетін әртүрлі модификацияланған қоспаларды қосу кең таралған тәжірибе болып табылады. Бұл қоспаларға бетон өнімдерін дайындау және орналастыру кезінде әртүрлі функцияларды орындайтын химиялық модификаторлар, пластификаторлар және тұрақтандырғыштар жатады.

Бетон қоспаларына қосылатын химиялық модификаторлар [131-137] материалдың минералогиялық құрамына әсер етеді, коррозияға қосымша төзімділік береді. Пластификациялаушы қоспалар бетон массасының ағындылығын және тығыздалуын жақсарту үшін қолданылады, бұл қалыптау процесін жеңілдету және бетон бұйымдарының құрылымындағы ықтимал ақаулардың алдын алу үшін маңызды. Тұрақтандырушы компоненттер бетонның құрылымын нығайтады және оны сыртқы әсерлерге төзімді етеді. Әртүрлі химиялық қоспаларды тиімді пайдалану бетон қоспаларының, сондай-ақ дайын бетон бұйымдарының технологиялық және пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай жақсартады. Бұл тәсіл құрылыс материалдарының жоғары өнімділігі мен беріктігін қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар материалдың мерзімінен бұрын тозуы мен зақымдануының алдын алу арқылы құрылымдардың қызмет ету мерзімін ұзартуға көмектеседі.

Бетон сорғыларымен тасымалдауға арналған жылжымалы қоспалардың рецептін әзірлеу кезінде бетон қоспасының сапасы мен пайдалану сипаттамаларына әсер ететін компоненттерді таңдауға және мөлшерлеуге ерекше назар аудару керек. Маңызды параметрлерге байланыстырушы заттың түрі мен өлшемі, ұсақ және ірі толтырғыштың сипаттамалары және химиялық қоспаларды дұрыс пайдалану жатады. Бетон блоктарын өндіруге арналған бетон қоспалары жоғары сапалы құрылыс материалын қалыптастыруда маңызды рөл атқаратын бірнеше материалдарды пайдаланады:

1. Цемент: маркасы кемінде 300 болуы керек, ал қатайту уақыты кемінде 2 сағат болуы керек. Цементтің қасиеттері МЕМСТ 310.1-76 «Цементтеу материалдары. Сынақ әдістері. Жалпы ережелер» және МЕМСТ 310.4-81 «Цементтеу материалдары. Иілу және сығылу беріктігін анықтау әдістері» талаптарына сәйкес келуі керек. Бұл бетон қоспасының қажетті беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

2. Ұсақ және ірі толтырғыш: ірі толтырғыш фракциясы 20 мм-ден аспауы керек. Ірі толтырғыштың беріктігі кемінде 800 кгс/см^2 болуы керек. Бұл бөлшектердің дұрыс мөлшерін бөлуді қамтамасыз етеді және бетонның оңтайлы тығыздығы мен беріктігіне ықпал етеді.

3. Химиялық қоспалар: химиялық қоспаларды қолдану «Химиялық қоспаларды қолдану жөніндегі нұсқаулықпен» реттеледі. Бұл қоспалар бетонның қату уақытын бақылау, қоспаның ағындылығын жақсарту және оның қасиеттерін реттеу сияқты әртүрлі функцияларды орындайды. Оларды пайдалану ұсыныстар мен стандарттарды қатаң сақтауды талап етеді.

Бұл компоненттердің бетон қоспасының тек жоғары техникалық сипаттамаларды ғана емес, сонымен қатар БҚҚ сәтті өндіру үшін қажетті оңтайлы қасиеттерді де қамтамасыз етеді. БҚҚ өндірісіне арналған бетон қоспасының компоненттерін таңдау өте маңызды қадам болып табылады, себебі ол МЕМСТ 26633-2015 «Ауыр және ұсақ түйіршікті бетон. Техникалық шарттар» стандартын қатаң сақтауды талап етеді. Бұл стандарттар БҚҚ сияқты ірі құрылымдарды салуда қолданылатын бетон сапасына қойылатын негізгі талаптарды білдіреді. Тиімді құрылыс процесін қамтамасыз етудің негізгі аспектілерінің бірі - құю алаңына бетон қоспасын үздіксіз жеткізу, бұл үшін арнайы жабдықты пайдалану қажет [137, 138]. Құю алдында жабдықтың жұмыс істеу қабілетін және оның барлық техникалық талаптарға сәйкестігін мұқият тексеру қажет. Бетон қоспасын бетон құбыры арқылы ұңғымаға құйған кезде, П-4 класына сәйкес келетін қоспа қалыңдығын, конустық тереңдігі 16-20 см болуын қамтамасыз ету қажет. Бұл талап бетон массасының бағана ішінде тиімді таралуын ғана емес, сонымен қатар оның физикалық және механикалық қасиеттерінің тұрақтылығын да қамтамасыз етеді.

Бетон қоспасының құрамын таңдағанда және оны дайындағанда, оның МЕМСТ 10181.1-81 «Бетон қоспалары. Жұмысқа жарамдылығын анықтау әдістері», МЕМСТ 26633-2015 «Ауыр және ұсақ түйіршікті бетон. Техникалық сипаттамалары», МЕМСТ 1006-2012. Бетон. Аязға төзімділікті анықтау әдістері. Жалпы талаптар», МЕМСТ 12730.0-78 «Бетон. Тығыздықты, ылғалдылықты, су

сіңіруді, қуыстарды және суға төзімділікті анықтау әдістеріне қойылатын жалпы талаптар» және МЕМСТ 12730.0-2020 «Бетон. Су өткізгіштігін анықтау әдістері» талаптарына сәйкес бетонның жобалау класының физикалық және механикалық қасиеттеріне сәйкес келуін қамтамасыз етуге тырысу қажет.

Қазіргі заманғы бетон құю технологиясында байланыстырғышты дұрыс таңдау соңғы өнімнің сапасына әсер ететін маңызды фактор болып табылады. Осыған байланысты, әсіресе бетон қоспасындағы су мөлшерін бақылау тұрғысынан ірі толтырғыштарға ерекше назар аудару керек. Бұл аспект негізгі болып саналады, себебі су бетон құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Ірі толтырғыштарды пайдалану кезінде бетон қоспасындағы судың оңтайлы мөлшерін қамтамасыз ету басты басымдық болып табылады. Бұл өз кезегінде компоненттердің арақатынасын мұқият таңдауды ғана емес, сонымен қатар қажетті құрылымдық қасиеттерге қол жеткізу үшін араластыру процесін белсенді бақылауды да талап етеді. Бетон құрылымында берік жанасу аймағын қалыптастыру үшін жоғары сапалы толтырғыштар өте маңызды. Бұл әсіресе бетон үшін маңызды, себебі жанасу аймағы жүктемені беруде және құрылымдық тұрақтылықта маңызды рөл атқарады.

Қоспаға қажетті тығыздықты қамтамасыз ету үшін қосылатын технологиялық су бетонның жалпы қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Су қосу процесін бақылау тек технологиялық стандарттарды қатаң сақтауды ғана емес, сонымен қатар ылғалдың бетон қоспасының қасиеттеріне әсерін мұқият түсінуді де талап етеді. Бұл тәсіл бетон конструкцияларының жоғары беріктікті ғана емес, сонымен қатар беріктігін де қамтамасыз етеді. Бетон өндірісі - бұл, әсіресе бетон сорғыларын пайдаланған кезде, жылжымалы қоспаларды пайдалануды қамтитын күрделі технологиялық процесс. Тиімді және мінсіз бетон құюды қамтамасыз ету үшін бұл қоспалар бірнеше негізгі сипаттамаларға ие болуы керек. Негізгі талап - бетон қоспасының біртектілігін, ыдырауға төзімділігін және сорғылау қабілетін қамтамасыз ету, бұл құбырлар арқылы еркін айдауға мүмкіндік береді. Қоспаның қажетті құрылымын сақтау үшін оңтайлы су бөлу жылдамдығы 1-2% екенін атап өткен жөн. Тасымалдау кезінде бетон қоспасының құлауының алдын алуға ерекше назар аудару керек. Қоспаның құю орнына тиімді жеткізілуін қамтамасыз ету үшін оның біркелкі құрылымын қамтамасыз ету және бөлінуіне жол бермеу қажет.

Ұңғыма бетон құю технологиясындағы негізгі мәселе - бетон құю процесінде материалдың құбырларда қатып қалуына жол бермеу. Бұл әсіресе 15 метрден ұзын қадалар үшін өзекті [139]. Бұл мәселені шешу үшін бетон қоспасына қатуды баяулататын заттарды қосу ұсынылады. Бұл мерзімінен бұрын қатаюдың алдын алады және бетон қоспасының құбырлар арқылы қалыпты ағымын қамтамасыз етеді. Жоғары сапалы темірбетон конструкцияларын өндірудегі маңызды қадам - бетон қоспасын мұқият дайындау, құю және тығыздау. Бұл процестер бетон конструкцияларының жоғары сапасы мен беріктігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Агрессивті ортада және жоғары жүктеме кезінде пайдалануға арналған жоғары беріктіктегі бетонды өндіру кезінде тек жоғары сапалы материалдарды ғана емес, сонымен қатар қатаң

стандарттарға сай келетін мамандандырылған қоспаларды да пайдалану өте маңызды.

Міндетті шарттар:

1. Белсенді цемент: Бұл экстремалды жағдайларда берік және берік бетон құрылымын жасаудың негізін құрайды.

2. Жоғары сапалы толтырғыштар: Жоғары сапалы толтырғыштарды пайдалану материалдың беріктігі үшін ғана емес, сонымен қатар оның химиялық төзімділігі үшін де маңызды.

3. Су-цементтің минималды қатынасы (с/ц): Бұл материалдың жоғары бастапқы тығыздығын қамтамасыз етеді және агрессивті факторлардың әсерінен оның тозуына жол бермейді.

4. Тығыз фазалық компоненттерді оңтайлы таңдау: Бетон құрылымы үшін берік негіз қалыптастыра отырып, бөлшектердің жоғары тығыздықтағы орналасуын қамтамасыз етеді.

5. Химиялық қоспалар мен модификаторлар: Модификацияланған және көп функциялы қоспаларды қоса алғанда, әртүрлі қоспаларды енгізу бетонның қажетті қасиеттерін, соның ішінде беріктікті жақсартады.

6. Тиісті араластыру және тығыздау: Бұл кезеңдер бетон массасының біртектілігін қамтамасыз етеді және соңғы бетонның қажетті тығыздығына, біркелкілігіне және беріктігіне қол жеткізеді.

7. Бетонды дұрыс қатайту: Бұл бетонның қатайту кезеңінде қатайып, қорғауы үшін қажетті жағдайларды жасауды қамтиды.

Жоғары өнімді бетон өндірісі технологиясы тұрғысынан бұл аспектілер экстремалды жағдайларға төтеп бере алатын және қажетті беріктікті қамтамасыз ете алатын берік және тығыз бетон құрылымын жасауда шешуші рөл атқарады. Осы шикізатқа қойылатын талаптарды ескере отырып, қоспаларды тиімді пайдалану және заманауи бетондау технологияларын қолдану жоғары беріктігі мен реологиялық қасиеттері бар бірегей бетон қоспасын өндіруге мүмкіндік береді.

1.3 Бетонға қосылатын қоспалар және олардың бетонның қасиеттерін жақсартуға әсері

Қазіргі құрылыс индустриясында, әсіресе іргетастарды салуда, жоғары беріктікке және сапалы бетонға қойылатын талаптар бір мезгілде ескеріледі, бұл жаңа технологиялар мен материалдарды пайдалануға деген ұмтылысқа әкеледі. Бұл технологиялар бетон бұйымдары мен конструкцияларының күтілетін қызмет ету мерзімін қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл процестегі маңызды аспектілерге бетонның беріктігі мен төзімділігін қамтамасыз ету, сондай-ақ оны өндіру кезінде еңбек және энергия шығындарын азайту жатады. Дегенмен, ұзақ уақыт бойы бұл екі фактор арасында қайшылық болды. Бетонның жоғары беріктігі мен төзімділігін қамтамасыз ету үшін су-цемент қатынасы төмендетілген құрамдар жиі жасалды [140]. Бұл өз кезегінде араластыру кезеңінде де, қалыпта тығыздау кезінде де айтарлықтай материалдық

шығындарды қажет ететін модификацияланған қоспалардың өндірілуіне әкелді. Модификацияланған қоспалар өндіріс процесін қиындатты, өнімділікті төмендетті және еңбек шығындарын арттырды. Қоспалардың жұмысқа жарамдылығын қамтамасыз етуге бағытталған, негізінен пайдаланылатын су мөлшерін арттыру арқылы жүзеге асырылды, бұл өз кезегінде бетонның беріктік және төзімділік сипаттамаларының нашарлауына әкелді.

Құрылыста құрылыс материалдарының қасиеттерін жақсартуға үнемі ұмтылады, бұл процесс модификация деп аталады. Зерттеушілер әдетте бетонның беріктігін арттыру үшін ең алдымен су-цемент қатынасын азайту қажет деп санайтын дәстүрлі тәсілді ұстанады. Бұл мақсатқа жету үшін қазіргі терминологияда бетон модификаторлары деп аталатын әртүрлі пластификаторлар кеңінен қолданылады. Дегенмен, құрылыс индустриясы дамыған сайын бетонды модификациялау процесіне жаңа тәсілді қажет ететін қиындықтар туындайды. Соңғы жылдары су-цемент қатынасын азайтуға ғана емес, сонымен қатар бетонның ішкі құрылымын өзгертуге бағытталған модификацияланған қоспалар мен технологияларды пайдалануға негізделген жаңа тәсілдер пайда болды. Қазіргі уақытта бетонды модификациялау оның беріктік сипаттамаларын ғана емес, сонымен қатар басқа да маңызды қасиеттерін жақсартуға бағытталған көптеген инновациялық әдістерді қамтиды.

Заманауи бетон модификаторларын пайдалану құрылыс тәжірибесінің ажырамас бөлігіне айналды, инновациялық технологиялар мен технологиялық тәсілдерді енгізді. Бұл модификаторлар бетонның беріктігін арттырумен қатар, оның жұмысқа қабілеттілігін және агрессивті ортаға төзімділігін жақсартады, ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді және қоршаған ортаға әсерді азайтады. Пластификаторлар мен суперпластификаторлар [141-144] заманауи цемент бетон қоспасын өндіру технологиясында маңызды рөл атқарады. Бұл қоспалардың негізгі мақсаты - цемент бетон қоспаларының жұмысқа қабілеттілігін арттыру, бұл монолитті құрылымдарды салу және құрама бетон бұйымдарын өндіру кезінде құю кезінде энергия мен еңбек шығындарын азайтады.

Бетон қоспасын жобалауда пластификаторларды қолдану бетонның қасиеттерін айтарлықтай жақсартады [145, 146]. Бұл қоспаның жұмысқа жарамдылығын арттырып қана қоймай, сонымен қатар өндіріс процесінің қарқындылығын да жақсартады. Бұл әсіресе монолитті құрылымдармен жұмыс істеген кезде маңызды, себебі бетон қоспасының жоғары жұмысқа жарамдылығы бетонның біркелкі таралуы және дұрыс толтырылуы үшін қажет. Екінші жағынан, суперпластификаторлар жұмысқа жарамдылығын арттырып қана қоймай, сонымен қатар соңғы өнімнің беріктігі мен төзімділігін арттырудың негізгі факторы болып табылатын су-цемент қатынасын төмендетеді. Олардың әсері екі негізгі аспектке бөлінеді: суды азайту және пластификациялау [147]. Бұл екі әсер өзара әрекеттеседі және жоғары сапалы бетонның пайда болуы үшін оңтайлы жағдайлар жасайды.

Жоғары өнімді бетон қоспаларын әзірлеуде айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілді [147-150], бірақ айқын артықшылықтармен қатар кейбір кемшіліктер

де анықталды. Атап айтқанда, қолданылатын пластификаторлар мен суперпластификаторлардың көпшілігі бетон қоспасының қатаю және нығайту процестерін баяулататын қасиетке ие, бұл әсіресе жоғары пропорцияларды қолданған кезде маңызды. Маңызды кемшіліктердің бірі - бетонда қолданылатын көптеген пластификаторлар мен суперпластификаторлар қоспаның қатаю және нығайту процестерін баяулатады. Бұл әсіресе қоспаның жалпы көлемге пропорциялары жоғары болған кезде маңызды. Бірінші және екінші буын пластификаторлары қажетті уақыт аралығында қоспалардың тұрақтылығын әрқашан тиімді қамтамасыз ете алмады, әсіресе бетонды ұзақ қашықтыққа тасымалдаған кезде. Бұл қоспалар әдетте бетон алаңына жеткізу кезінде қоспалардың тиімді тұрақтылығын қамтамасыз етпейді, әсіресе бұл уақыт 60-90 минуттан асса. Құрылыс қоспаларын бетон сорғыларымен 200-250 м-ден астам қашықтыққа жеткізген кезде бөліну байқалды, бұл көбінесе біркелкі емес құрылымдарға әкелді.

Жоғары жылжымалы бетон технологиясының маңызды аспектісі - минералды агрегаттардың бөлшектерінің өлшемдерінің белгіленген стандарттарға сәйкес келуін қамтамасыз ету. Бұл әсіресе қоспаларды ұзақ қашықтыққа айдау кезінде маңызды. Зерттеулер көрсеткендей, үздіксіз агрегат түйіршігі бар тығыз бетон қоспасы деформацияланған кезде, құрамдас бөлшектер бір-біріне қатысты қозғалады және бос орындарда қалып қоймайды. Бетонды модификациялаушы қоспалармен модификациялау сияқты ғылыми және практикалық жетістіктер [151] жоғары жылжымалы бетон қоспасы технологиясын дамытуға маңызды үлес қосуда. Бұл зерттеулер кешенді талдауға негізделген және тәжірибеде расталған, бұл тиімді бетон құю стратегияларын әзірлеуге ықпал етеді.

1960 жылдардың басынан бастап нафталин сульфонаттары, атап айтқанда, нафталин сульфаты мен формальдегид реакциясы арқылы алынған С-3 қоспалары құрылыс индустриясына белсенді түрде енгізіле бастады [152]. Қоспалардың бұл класы Каприелов С.С. [153] және Вовк А.И. [154] сияқты зерттеушілердің, сондай-ақ құрылыс цементтерінің қасиеттеріне С-3 қоспаларының әсерін кең көлемде зерттеген басқа да көптеген ғалымдардың назарын аударды. Бұл зерттеулердің нәтижелері пластификаторлардың С-3 қоспаларымен және цемент компоненттерімен өзара әрекеттесуінің маңызды аспектілерін ашады. Бұл қоспалардың гидрат түзілімдеріне адсорбциялау қабілеті бар екені, бірақ сусыз клинкер минералдарына адсорбцияланбайтыны анықталды. Бұл адсорбция негізінен түзілген гидраттардың бетінде жүретінін көрсетеді. Цементтің негізгі компоненті C_3S гидратация дәрежесі С-3 қоспасының адсорбциялау қабілетіне айтарлықтай әсер етеді. Гидратациялау дәрежесі неғұрлым жоғары болса, адсорбентпен өзара әрекеттесу соғұрлым тиімді болады. Минералдарды алдын ала гидраттау олардың адсорбциялық қабілетін арттырады.

1980 жылдары көпқабатты ғимараттардың құрылысы айтарлықтай өсті, бұл құрылыс материалдарына жаңа талаптар қойды. Құрылыстағы бұл өсім тек жоғары беріктік ұсынып қана қоймай, сонымен қатар күрделі жобалау

талаптарына сай келетін инновациялық материалдарды қажет етті. Бетон конструкцияларындағы арматура тығыздығының артуы, конструкциялар мен арматура әдістерінің күрделілігімен бірге, құрылыс индустриясының өсіп келе жатқан сұраныстарын қанағаттандыра алатын жаңа бетон құрамдарына деген қажеттілікті тудырды.

Поликарбоксилат эфиріне негізделген қоспалардың пайда болуы 21 ғасырдың ең ауқымды және күрделі құрылымдарын салуға жаңа серпін берді. Бұл қоспалар бетонның реологиялық қасиеттерін тиімді басқару қабілетіне байланысты қазіргі заманғы құрылыс материалдарының негізгі құрамдас бөлігіне айналды. Поликарбоксилат эфиріне негізделген қоспалар саласындағы үздіксіз зерттеулер мен әзірлемелер [155-157] құрылыс индустриясын дамытуды жалғастыруда, тек жоғары беріктік көрсетіп қана қоймай, сонымен қатар әртүрлі құрылыс талаптары мен жағдайларына оңай бейімделетін бетондар жасауға ұмтылады. Осылайша, бұл инновациялар құрылыс қоғамдастығының назарын аударды және олардың қазіргі заманғы құрылыс индустриясының дамуындағы маңыздылығын растады. Қазіргі уақытта жоғары сапалы бетон өндірісінде поликарбоксилат эфиріне негізделген суперпластификаторларды қолдануға ерекше назар аударылуда. Sika, BASF [158] және басқа да жетекші компаниялардың өнімдері мамандандырылған қасиеттері бар бетон қоспаларын жасау технологиясында орталық рөл атқарады. Бұл қоспалардың негізгі параметрлеріне суды азайту қабілетінің дәрежесі, бетон қоспасының тұрақтылығы және ерте беріктіктің дамуы жатады.

Поликарбоксилат эфирі негізіндегі суперпластификаторлар бірқатар артықшылықтарды ұсынады, ең алдымен бетонның жұмысқа қабілеттілігі мен сығымдау беріктігінің артуы. Дегенмен, коррозияға төзімділік сияқты қасиеттердің жақсаруы, ең алдымен, бетон тығыздығының артуына байланысты екенін және оның ішкі қасиеттерімен байланысты емес екенін атап өткен жөн. Sika, BASF және басқа да танымал қоспалардан басқа, С-3, ЛСТ және басқа да қоспалар ішкі нарықта кеңінен қолданылуда. Бұл қоспалар ресейлік тәжірибеде де сәтті қолданылады және бетон қасиеттерін жақсартудағы және құрылыста жоғары сапа стандарттарын қамтамасыз етудегі тиімділігі үшін жоғары бағаланады.

М.И. Хигерович бетон өндірісінде химиялық қоспаларды алғашқы қолдануда маңызды рөл атқарды. Оның зерттеулері цемент пен бетонға арналған модификациялық қоспаларды әзірлеу мен жіктеудегі маңызды кезең болды. Оның жұмысы осы инновациялық материалдарды енгізудің бірінші кезеңінің басталуын белгіледі. Модификациялық қоспаларды жіктеудегі негізгі жетістіктердің бірі олардың сапалық сипаттамаларына, функционалдық қасиеттеріне және технологиялық әсеріне негізделген критерийлерді ұсыну болды. М.И. Хигерович, В.Е. Байер, Ю.М. Баженов және В.Р. Фали пластификаторларды, ауа өткізгіш қоспаларды, гидроокшаулағыш қоспаларды, қатаю және қатаю жылдамдығын реттегіштерді және цемент жүйелеріне функционалдық әсеріне негізделген модификаторлардың бірқатар басқа да негізгі топтарын анықтады.

МЕМСТ 24211-2008 «Бетон мен ерітінділерге арналған қоспалар» стандартына сәйкес қоспаларды жүйелеу маңызды қадам болды, бұл оларды әсер етуі бойынша жіктеуге мүмкіндік берді. Бұл тәсіл құрылыс индустриясында химиялық қоспаларды қолдануда айқындық пен стандарттауды қамтамасыз етті. Химиялық қоспалардың тиімділігін олардың мақсаты мен қасиеттеріне сәйкес бағалау үшін МЕМСТ 24211-2008 «Бетон мен ерітінділерге арналған қоспалар» сияқты стандарттар бекітілді, бұл олардың тиімділігін объективті және жүйелі бағалауға мүмкіндік берді. Бұл стандарттар цемент пен бетон өндірісінде химиялық қоспаларды таңдау және пайдалану үшін сенімді критерийлерді ұсынатын негізгі салалық құралдарға айналды.

В.И. Соловьев пен Г.И. Горчаковтың еңбектері құрылыс индустриясында химиялық қоспаларды - әртүрлі шығу тегі бар модификаторларды қолданудың болашағы мен әлеуетін айқын көрсетеді. Бұл қоспалар беттік белсенді заттар (ББЗ) класына жатады [159], бұл пластификаторлардан бастап гидроокшаулағыш агенттерге дейінгі қоспалар ретінде гидрофилизаторлар мен су өткізбейтін агенттерден жеке-жеке алынғанда жоғары. Маңызды жетістік - әртүрлі химиялық қоспалардың үйлесімі, бұл гидрофобты компонентті суда еритін сұйықтыққа айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл олардың араластыру процесінде сумен бірге құрылыс қоспаларына енуін жеңілдетеді. Қоспалардың үйлесімі бетон қоспаларының сапалық сипаттамаларын айтарлықтай жақсартады, қабаттардың бөлінуін азайтады және олардың жұмысқа қабілеттілігін арттырады. Бұл монолитті әдіспен дайындалған дайын бетон қоспасын өндіруде маңызды факторға айналуға мүмкіндік береді. Мұндай қоспаларды қолданудың бастапқы кезеңдерінде беріктіктің артуында уақытша кідіріс байқалатынын атап өткен жөн. Дегенмен, дұрыс мөлшерленген кезде (0,01-0,25%), бұл қоспалар бетон мен ерітіндінің көптеген маңызды қасиеттерін тиімді реттейді. Бұл тәсіл өндірістік процестерді оңтайландыруға және құрылыс материалдарының қасиеттерін жақсартуға көмектеседі.

Ю.С. Малининнің [160], С.М. Рояктың [161] және С.В. Шестоперовтың [162] ғылыми зерттеулерінің нәтижелеріне сүйене отырып, еліміздің цемент өнеркәсібінде айтарлықтай өзгерістер болды. Атап айтқанда, пластификацияланған цементті енгізу басталды: концентрациясы 0,25%-дан аспайтын сульфит-спирт айдаудан қалған қалдықтар және 0,25-0,35% аралығындағы лигносульфонаттар (ЛСТ) пайдаланылды. Дегенмен, практикалық тәжірибе көрсеткендей, пластификаторларды шектеулі мөлшерде қолдану цемент тасының гидратация және қатаю процестерінің баяулауымен қатар жүреді. Бұл цемент бөлшектерінде пайда болған адсорбциялық қабаттар арқылы қоспалардың су өткізгіштігінің төмендігіне байланысты. Нәтижесінде, қоспасыз бетонмен салыстырғанда бетонның беріктігі төмендейді. Бұл кемшіліктерді жою үшін жоғарыда аталған қоспаларды одан әрі модификациялау қажет. Бұған пластификацияланған цементтердің құрамын кешенді зерттеу және оңтайландыру, сондай-ақ цемент материалдарының қасиеттерін жақсартуға бағытталған жаңа технологиялық әдістерді енгізу кіруі

мүмкін. Мұндай жақсартулар құрылыс тәжірибесінде пластификацияланған цементтердің тиімділігін айтарлықтай арттырады.

Ғылыми мақалаларда [163-166] жоғары өнімді гидрофобты бетондардың пайда болуының теориялық негіздері қарастырылады. Бұл материалдар цементті гидратациялау процесінде дамитын бірегей микроқұрылымға ие. Мұндай цементті өндіру үшін қолданылатын материалдардың маңызды сипаттамаларын бірнеше факторлар анықтайды. Ең алдымен, портландцемент клинkerінің минералогиялық және химиялық талдауы материалдың қасиеттерін анықтауда маңызды рөл атқарады. Бұған гидратация реакцияларына әсер ететін минералды компоненттер мен химиялық элементтердің құрамын зерттеу кіреді. Материалдың дисперсия дәрежесі, яғни ұнтақтау ұсақтығы да маңызды рөл атқарады, себебі ол бөлшектердің беттік сипаттамаларына әсер етеді және гидратация кезінде олардың өзара әрекеттесуін анықтайды.

Пластификаторлар мен минералды қоспалардың құрылыс материалдарына бірлескен әсері олардың қасиеттерін айтарлықтай жақсартып алады. Бұл интеграцияланған тәсілдің тиімділігі тәжірибемен расталды, мұнда В.Г. Батраков ұсынған жіктеуге сәйкес жаңа көпфункционалды құрамдардың ыңғайлы түрде қарастыруға болады [167]. Ұсынылған жіктеуге сәйкес, модификацияланған қоспалар шартты түрде үш үлкен топқа бөлінеді. Бірінші топқа (I) электролиттер, екінші топқа (II) беттік белсенді заттар, ал үшінші топқа (III) электролиттер мен беттік белсенді заттар кіреді. Бұл тәсіл тек нақты сипаттамалары бар ғана емес, сонымен қатар көпфункционалды функционалдық қасиеттері бар құрамдарды жүйелі түрде қалыптастыруға мүмкіндік береді. Құрылыс материалдарына мұндай модификацияланған қоспаларды енгізу олардың физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар құрылыс кезіндегі технологиялық процестерді оңтайландырады.

К.В. Шульдяковтың, А.И. Кудряковтың, Л.Я. Крамардың және Б.Ю. Трофимовтың [168, 169] ғылыми еңбектері АСЕ кешенді пластификациялау қоспасында микрокремнийді қолдануды зерттеуге баға жетпес үлес қосады. Сондай-ақ, құрамында май қышқылдары мен сульфит-ашытқы суспензиясы бар күрделі гидроокшаулағыш қоспасы бар модификацияланған қоспалар бар. Пластификатордағы май қышқылдары мен сульфит-ашытқы суспензиясының тиімді үйлесімі цемент ерітіндісінің сұйықтығын арттырып қана қоймай, сонымен қатар бетонның ылғал мен суға төзімділігін жақсартып, қосымша гидрофобтық береді. Бұл зерттеулердің нәтижелері сапалық сипаттамалары айтарлықтай жақсартылған бетон жасауға әкеледі. Бұған пластификациялау және суды азайтатын компоненттер сияқты тиімді химиялық қоспаларды, сондай-ақ басқа да әртүрлі қоспаларды белсенді қолдану арқылы қол жеткізіледі. Осылайша, әртүрлі химиялық қоспаларды бірлесіп қолдану бетонды жақсартудың кешенді тәсілін қалыптастырады, оны берік, тұрақты және әртүрлі пайдалану жағдайларына бейімделгіш етеді. Бейорганикалық және органикалық қоспалардың физикалық және химиялық өзара әрекеттесуі, сондай-ақ олардың бетонның минералды компоненттерімен өзара әрекеттесуі көптеген ғылыми зерттеулерде кеңінен зерттелген маңызды аспект болып табылады.

Бұл өзара әрекеттесулер бетон қоспаларының қасиеттері мен сипаттамаларын қалыптастыруда, олардың құрылымына, беріктігіне, қоршаған орта әсеріне төзімділігіне және басқа да маңызды параметрлеріне әсер етуде маңызды рөл атқарады. Бұл саладағы іргелі зерттеулер әртүрлі қоспалар қолданылған кезде бетонда болатын химиялық реакциялар мен физикалық өзгерістердің механизмдерін жақсы түсінуге мүмкіндік береді. Бұл бетон конструкцияларының сапасы мен беріктігін жақсартуға бағытталған инновациялық құрылыс материалдары мен технологияларын әзірлеуде өте маңызды.

Алдыңғы зерттеулер [170, 171] бетонның қасиеттерін жақсартуға арналған көптеген жоғары сапалы химиялық қоспалар бар екенін көрсетті. Мұндай қоспалардың ауқымы кең, әрқайсысы материалды жақсартудың нақты аспектілеріне бағытталған. Кейбір қоспалар нақты мәселелерді шешу үшін арнайы әрекет етуге арналған, ал басқалары бетонның теңдестірілген қасиеттерін қамтамасыз ететін кешенді әсерге бағытталған. Әрбір қоспаның сапасы мен оң әсер ету дәрежесі, сондай-ақ құны бойынша өзіндік ерекшеліктері бар екенін атап өту маңызды. Құрылыс материалдарын әзірлеушілер мен инженерлер құрылыс алаңының нақты жағдайларын және соңғы пайдалану талаптарын ескере отырып, қажетті бетон қасиеттерін қамтамасыз ету үшін оңтайлы химиялық компоненттерді таңдауға тырысады. Бұл тәсіл қоспалардың тиімділігін барынша арттырады және жоғары сапалы бетон конструкцияларын қамтамасыз етеді. Химиялық қоспалар саласындағы инновациялық шешімдерді іздеу және қолданыстағы технологияларды жетілдіру құрылыс индустриясының үздіксіз дамуына және құрылыс материалдарының қасиеттерін жақсартуға ықпал етеді.

Бетон өндірісіне арналған бетон қоспасын әзірлеу кезінде [172] тиісті қоспаларды таңдау өте маңызды. Бұл қоспалар тек қажетті технологиялық қасиеттерді ғана емес, сонымен қатар қатаң стандарттар мен инженерлік талаптарға сай келетін жоғары материал сапасын да қамтамасыз етуі керек. Бетондағы жеке қоспалардың, әсіресе пластификаторлар мен қатаю үдеткіштерінің қасиеттерін барынша арттыру қажеттілігіне байланысты модификацияланған қоспаларды пайдалануға ерекше назар аударылады. Бұл тәсілдің тиімділігі жоғары сапалы бетонды қамтамасыз етуге байланысты бірнеше мәселелерді бір уақытта шешу мүмкіндігінен туындайды.

Модификацияланған қоспалар [173, 174] синергетикалық өзара әрекеттесу арқылы бір-бірінің оң қасиеттерін арттыра алады. Мысалы, пластификаторларды қолдану бетон қоспаларының жұмысқа жарамдылығын жақсартады, ал беріктендіру үдеткіштерін қосу берік материал құрылымының тез қалыптасуына ықпал етеді. Бұл интеграцияланған тәсіл құрылымдардың жалпы беріктігі мен тұрақтылығына, сондай-ақ бетон құю тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Бетон технологиясындағы мәселелерді шешу инновациялық тәсілді қажет етеді және мүлдем жаңа модификацияланған қоспаларды әзірлеуге ерекше назар аудару керек. Мұндай қоспаларға өндіріс қалдықтары, атап айтқанда, спирт өндірісі кезінде алынған дистиллят түйіршіктері жатады. Бетон қоспасына процестің

басында енгізілген кезде, мұндай қоспалар жұмысқа жарамдылық пен пішіндеу сияқты реологиялық қасиеттерді жақсартуға көмектеседі. Сонымен қатар, олар тығыздықты жақсартады, беріктік сипаттамаларын арттырады және бетонның жалпы беріктігін қамтамасыз етеді. Бетон құю процесінде беріктендіру және қатаю процестерінің ұзақтығын бақылау маңызды. Осы мақсатта бетон қоспаларына гипс, сұйық шыны және басқа да қоспалар қосылады.

Бұл компоненттер белсенді түрде өзара әрекеттеседі, берік және берік бетон құрылымын қалыптастыру үшін оңтайлы жағдайларды қамтамасыз етеді. Құрылыс шығындарын жергілікті шикізатты, соның ішінде әртүрлі өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану арқылы азайтуға болады. Бұл тәсіл тек ақшаны үнемдеп қана қоймай, сонымен қатар ресурстарды тиімді пайдалануға және өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеуге негізделген тұрақты құрылыс принципін қолдайды.

Қазіргі уақытта бірнеше өнертабыстар бетонның қасиеттерін жақсарту үшін өнеркәсіптік қалдықтардан алынған компоненттермен қоспаларды сәтті пайдаланады. Оларға KZ10428, KZ16651, KZ16645, KZ16952, KZ16295 [175-179] және басқалары жатады. Бұл өнертабыстар өздерінің бірегей ерекшеліктерімен ерекшеленеді және инновациялық құрылыс материалдары саласындағы құнды жетістіктерді білдіреді. Бұл өнертабыстар әрқайсысының бетон сапасын айтарлықтай жақсартуға ықпал ететін өзіндік бірегей қасиеттері мен сипаттамалары бар. Мысалы, KZ10428 [175] бетонмен оңтайлы өзара әрекеттесуді қамтамасыз ететін нақты компоненттерді ұсына алады, ал KZ16651 [176] материалдың қасиеттерін жақсартуда ерекше нәтижелер беретін тиімдірек сандық сипаттамаларды ұсына алады.

Құрылыс материалдары бойынша сарапшы Ю.М. Баженовтың айтуынша, бетонға қосылатын қоспалардың тиімділігі оларды енгізу әдісіне тікелей байланысты. Ол қоспа бетон қоспасына араластырғыш сумен бірге қосылған кезде пластификациялау әсері жоғары болатынын атап өтеді. Қоспаларды енгізу әдісі қоспа құрамының маңыздылығын ғана емес, сонымен қатар оларды қолданудың технологиялық аспектілерін де анықтайды. Осы типтегі қоспалармен дайындалған бетон қоспаларының тиімділігі құрылыс материалының жұмысқа жарамдылығын және басқа да негізгі сипаттамаларын жақсартатын кешенді әсерді көрсетеді.

Соңғы жүргізілген ғылыми зерттеулерге сәйкес [180-184], бетон қоспаларына әртүрлі қоспаларды қосу құрылыс материалының қасиеттерін жақсартуда маңызды рөл атқарады. Мұндай қоспалардың негізгі әсерлерінің бірі - су-цемент қатынасының төмендеуі, бұл қалыптау материалының тығыздығын арттырады. Бұл процесс бетон құрылымының тығыздығының артуына ықпал етеді, оның беріктігі мен пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай жақсартады. Дегенмен, қоспалардың бетонға әсері тығыздаумен шектелмейді. Кешенді қоспалар сонымен қатар ауа фазасын енгізу арқылы материалдың физикалық және механикалық қасиеттерін реттеуге мүмкіндік береді. Бұл аспект бетонға икемділік береді, оның қасиеттерін нақты жоба талаптарына дәл бейімдеуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде, заманауи технологиялар жоғары сапа мен

беріктік стандарттарына сәйкес келетін модификацияланған бетон жасауға мүмкіндік береді.

А.Г. Комар, Ю.М. Баженов, Е.В. Мельникова, В.Г. Батраков, В.П. Попов, В.С. Грызлов сияқты жетекші сарапшылардың ғылыми зерттеулері, сондай-ақ Г.И. Горчаков, П.Г. Комохов және басқалардың еңбектері құрылыс материалдарының құрылымын және жалпы физикалық және механикалық қасиеттерін құрылымды қалыптастырудың процестеріндегі соңғы жетістіктерге негізделген белсенді басқару мүмкіндігін зерттейді. Әртүрлі қоспалардың дұрыс үйлесімі және олардың дәл мөлшері цемент тасы мен бетон сияқты материалдардағы құрылымды қалыптастыру процестерін қатаң бақылауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл материалдардың физикалық және механикалық қасиеттерін өзгертеді, олардың нақты талаптар мен пайдалану жағдайларына сәйкес оңтайландырылуын қамтамасыз етеді.

Модификацияланған қоспаларды әзірлеудің негізгі қағидасы - синергетикалық әсерлерді күшейту үшін компоненттердің өзара әрекеттесуін ескере отырып, оларды мұқият таңдау. Бұл қоспадағы әрбір компонент өзінің жеке қасиеттерін сақтай отырып, басқа компоненттердің әсерін де күшейтетінін білдіреді. Модификацияланған қоспаны әзірлеу кезінде әрбір элементтің функционалдығын ғана емес, сонымен қатар олардың бүкіл құрамдағы өзара әрекеттесуін де ескеру маңызды. Дегенмен, көбінесе қоспаның компоненттері арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ету қажет. Мұндай жағдайларда жеке компоненттерді кезең-кезеңмен енгізуге болады, бұл бетонның қасиеттерін дәлірек реттеуге және оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында дәстүрлі аналогтарынан асып түсетін жоғары тиімді бетон қоспаларын әзірлеу және енгізу бойынша зерттеулер жүргізілуде. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты - әртүрлі химиялық қоспалар мен минералдарға негізделген модификаторларды қамтитын көп компонентті құрамдарды әзірлеу. Мұндай қарқынды зерттеулер, соның ішінде Қазақстан Республикасында, жоғары беріктікке ие және белсенді бетон қоспаларын әзірлеу мақсатында жүргізілуде. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты - бетонның қасиеттерін айтарлықтай жақсартуға қабілетті оңтайлы құрамдарды табу. Бұл тек беріктікті арттырып қана қоймай, сонымен қатар бетон қоспасының әртүрлі компоненттері арасындағы белсенді өзара әрекеттесуді қамтамасыз ететін модификаторларды пайдалануды қамтиды. Бұл инновациялық тәсілдер құрылыс индустриясы үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын, жоғары сапа стандарттарына сай келетін ғана емес, сонымен қатар одан асатын бетон жасауға бағытталған.

Жоғары сапалы бетон өндіру көбінесе араластыру процесінде әртүрлі қоспаларды үнемі енгізуді қажет етеді. Сондықтан, бетонның беріктігін, төзімділігін және басқа да маңызды қасиеттерін арттыруға байланысты әртүрлі қиындықтарды тиімді шешуге қабілетті және жоғары үйлесімді компоненттерден тұратын модификацияланған қоспаларды әзірлеген жөн. Химиялық қоспаларды әзірлеуге арналған бұл кешенді тәсіл бетон қоспасының әртүрлі компоненттерінің өзара әрекеттесуін барынша арттыруға бағытталған.

2 БЕТОННЫҢ НЕГІЗГІ КОМПОНЕНТІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ШИКІЗАТТЫ ЗЕРТТЕУ

2.1 Зерттеу әдістері мен тәсілдері

Бұл зерттеуге цемент, құм және қиыршық тас сияқты шикізаттың негізгі физикалық және механикалық қасиеттерін анықтауға арналған сынақтар кірді. Тиісті сынақ әдістері келесі стандарттарда көрсетілген: МЕМСТ 310.1-76 «Цементтеу материалдары. Сынау әдістері. Жалпы ережелер», МЕМСТ 310.2-76 «Цементтеу материалдары. Ұнтақтаудың нәзіктігін анықтау әдісі», МЕМСТ 310.3-76 «Цементтеу материалдары. Қалыпты тығыздықты, қатаю уақытын және көлемнің өзгеруінің біркелкілігін анықтау әдістері», МЕМСТ 310.4-81 «Цементтеу материалдары. Иілу және қысу беріктігін анықтау әдістері» және МЕМСТ 8735-88 «Құрылыс жұмыстарына арналған құм. Сынау әдістері» және МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан қиыршық тас және қиыршық тас. Техникалық шарттар».

2.1.1 Цементтің физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау

Бұл әдістерді цементті материалдардың бірқатар маңызды параметрлері мен сипаттамаларын анықтау үшін пайдалануға болады, соның ішінде келесі қадамдар мен сынақтар:

1. Салыстырылатын әрбір цемент түрінің үлгілерін жинау және дайындау (2.1-сурет) оның физикалық және механикалық қасиеттерін зерттеудегі маңызды қадамдар болып табылады. Нәтижелердің объективтілігі мен дәлдігін қамтамасыз ету үшін келесі процедураларды қатаң сақтау қажет: а) Сынама алу: Салыстырылатын әрбір цемент түрінен әртүрлі партияларды немесе партияларды білдіретін бірнеше үлгі алу керек; б) Үлгіні дайындау: Сынамас бұрын цемент үлгілері қажетті алдын ала дайындықтан өтеді. Бұған артық ылғалды кетіру және нәтижелердің бұрмалануын болдырмау үшін үлгілерді 105-110°C температурада кептіру кіреді.



2.1-сурет - Цемент үлгілерін іріктеу және дайындау

2. Ұнтақтың ұсақтығын өлшеу (%). Ұнтақтың ұсақтығы 008 елеуіш әдісін қолдану арқылы анықталды, ол 008 елегінде қалдық мөлшерін өлшеуді қамтыды. 008 елегінде қалдық 15%-дан аспауы керек, бұл цемент бөлшектерінің ұсақтық дәрежесін көрсетеді.

3. Цементтің меншікті тығыздығын өлшеу ($\text{кг}/\text{м}^3$). Цементтің меншікті тығыздығын анықтау үшін Ле-Шателье аппараты пайдаланылды. Өлшеу үшін цемент үлгілері $105-110^\circ\text{C}$ температурада пеште алдын ала кептірілді.

4. Цементтің көлемдік тығыздығын өлшеу ($\text{кг}/\text{м}^3$). Бұл өлшеу үшін өлшеу цилиндрі қолданылды. Цементтің көлемдік тығыздығын өлшеу әдісі келесі қадамдардан тұрды: 1) цемент үлгісін дайындау және артық ылғалды кетіру үшін оны $105-110^\circ\text{C}$ температурада пеште алдын ала кептіру; 2) өлшеу цилиндрін тығыздамай цемент үлгісімен белгіленген деңгейге дейін толтыру; 3) толтырылған өлшеу цилиндрін таразыда өлшеу. 4) Цементтің көлемдік тығыздығын есептеу.

5. Цементтің қалыпты тығыздығын (%) және қату уақытын (сағат-минут) анықтау. Цементтің қалыпты тығыздығын және қату уақытын дәл өлшеу үшін Виккерс құрылғысы қолданылды.

6. Салыстырылып отырған әрбір цемент түрі үшін цемент-құм ерітіндісінен кемінде алты стандартты бетон үлгісі ($40\times40\times160$) 1:3 қатынасында дайындалды (2.2-сурет).



2.2-сурет - Үлгіні дайындау

7. Цементтің жіктеу беріктігін жарықшақтарға төзімділік ($R_{изг}$, $\text{кгс}/\text{см}^2$, МПа) және сығылу беріктігіне ($R_{сж}$, $\text{кгс}/\text{см}^2$, МПа) негізделген анықтау. Цементтің жіктеу беріктігін анықтау үшін үлгілер қатаюдан кейін 7, 14 және 28 күннен кейін сыналды. Сынау жалпы сығылу жүктемесі 500 кН (50 тонна) болатын автоматтандырылған пилоттық престі пайдалану арқылы жүргізілді.

2.1.2 Құмның физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау

Құмның физикалық және механикалық қасиеттерін зерттеу үшін келесі негізгі сынақтар жүргізіледі:

1. Үлгілерді жинау және дайындау, 2.3-сурет. Әр түрлі құм түрлерін зерттеуге арналған үлгілер жиналып, $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ температурада тұрақты салмаққа дейін кептіріледі.



2.3-сурет - Құм үлгісін жинау және дайындау

2. Бөлшектердің өлшемінің таралуын және ұсақтық модулін анықтау (M_k , бар). Бөлшектердің өлшемінің таралуын бағалау үшін, сынақ елегін шайқағыш-анализдеуіш механикалық елек шайқағышында көрсетілген тор өлшемдері бар стандартты електерді (№ 0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5) пайдаланып, бөлшектердің өлшемін талдау жүргізілді.

3. Кесектегі саз мөлшері (%). Кесектердің саз мөлшері құм бөлшектерін іріктеу арқылы анықталды. МЕМСТ 8735-88 «Құрылыс жұмыстарына арналған құм. Сынақ әдістері» бойынша бұл мән 0,5%-дан аспауы керек.

4. Шаң мен саз бөлшектерінің мөлшері (%). Бұл параметрді анықтау үшін өлшемі 0,05 мм-ге дейінгі құм бөлшектері жуылды, содан кейін құм массасының өзгеруі анықталды. МЕМСТ 8735-88 «Құрылыс жұмыстарына арналған құм. Сынақ әдістері» бойынша шаң мен саз мөлшері 3%-дан аспауы керек.

5. Меншікті тығыздықты анықтау ($\text{кг}/\text{м}^3$). Құмның меншікті тығыздығы Ле Шателье аппаратын пайдаланып анықталады.

6. Көлемдік тығыздық ($\text{кг}/\text{м}^3$) және бос көлемдік пайыз (%). Көлемдік тығыздық құмды өлшенген контейнерлердегі өлшеу және құмды 5 мм електен өткізу арқылы анықталады. Құмның бос мөлшері (%) алынған көлемдік және меншікті тығыздық мәндерінен анықталады.

2.1.3 Қиыршық тастың физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау

Зерттеу барысында келесі негізгі сынақтар жүргізілді:

1. Үлгілерді жинау және дайындау (2.4-сурет). Құммен өңделген тастың әртүрлі түрлерін зерттеу үшін үлгілер жиналып, содан кейін $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ температурада тұрақты салмаққа дейін кептірілді.

2. Бөлшектердің өлшемін талдау. Бөлшектердің өлшемін талдау ірі агрегаттың бөлшектердің өлшемінің таралуын бағалау үшін қолданылады. Бұл

талдау МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас және қиыршық тас. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкес стандартты електерді ($1,25D$; D ; $0,5(D+d)$; d , сондай-ақ $2,5$ және $<2,5$ мм) пайдалана отырып, арнайы «Дірілдейтін сынақ елегінде» механикалық елеу арқылы жүзеге асырылады.



2.4-сурет. Үлгіні таңдау және дайындау

3. Ұсақталған дәндердің үлесі (%). Ұсақталған тастың жалпы құрамындағы ұсақталған дәндердің үлесін анықтау, ол МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас және қиыршық тас. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкес кемінде 80% болуы керек.

4. Меншікті тығыздықты анықтау ($\text{кг}/\text{м}^3$). Ұсақталған тастың нақты тығыздығы Ле Шателье аппаратын пайдаланып анықталады.

5. Көлемдік тығыздықты анықтау ($\text{кг}/\text{м}^3$). Көлемдік тығыздық ұсақталған тасты өлшеуіш ыдыстарда өлшеп, електен өткізу арқылы анықталады.

6. Ірі және ине тәрізді бөлшектердің үлесі (өлшемі, %). МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкес белгілі бір геометриялық пішіндегі бөлшектердің үлесін есептеу.

7. Тозуға төзімділік. МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас. Техникалық сипаттамалар» стандартында белгіленген мәндермен салыстыру арқылы материалдың сапасын оның сынғыштығына қарай анықтау.

8. Тозуға төзімділік санаты. Материалдың тозуға төзімділік санатын бағалау МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас» техникалық сипаттамасында көрсетілген талаптарға сәйкес келуі керек.

9. Әлсіз жыныс бөлшектерінің мөлшері (%). Әлсіз жыныстан тұратын бөлшектердің үлесі материалдың сынғыштық санатын және МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас. Техникалық сипаттамалар» талаптарын ескере отырып есептеледі.

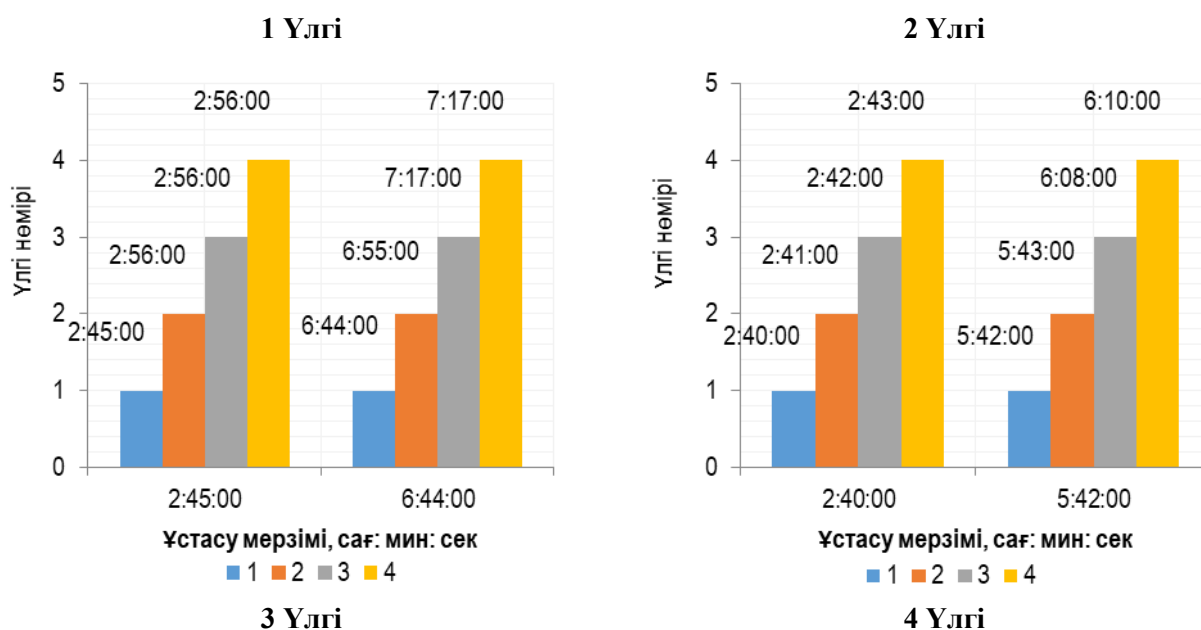
10. Аязға төзімділік (F). Материалдың төмен температураға ұшыраған кезде өз қасиеттерін сақтау қабілетін бағалау МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас. Техникалық шарттар» стандартында көрсетілген мәндерге сәйкес келуі керек.

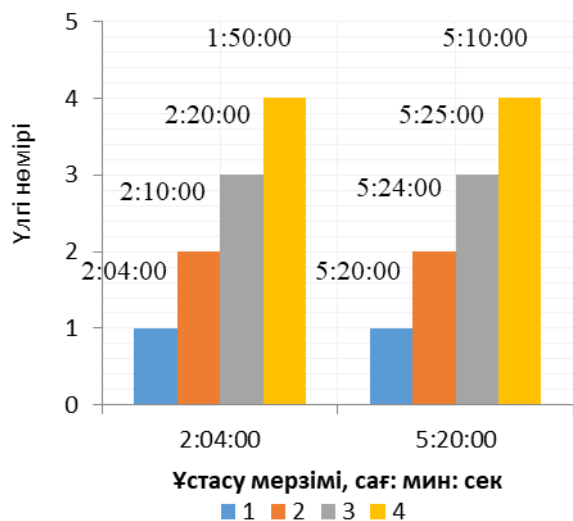
11. Шаң мен саз бөлшектерінің мөлшері (%). Материалдың жалпы құрамындағы ұсақ бөлшектер мен саз қоспаларының үлесін анықтау; мәндер МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас» стандартында көрсетілген талаптарға сәйкес келуі керек. Техникалық шарттар.

2.2 Шикізат компоненттерін зерттеу нәтижелері

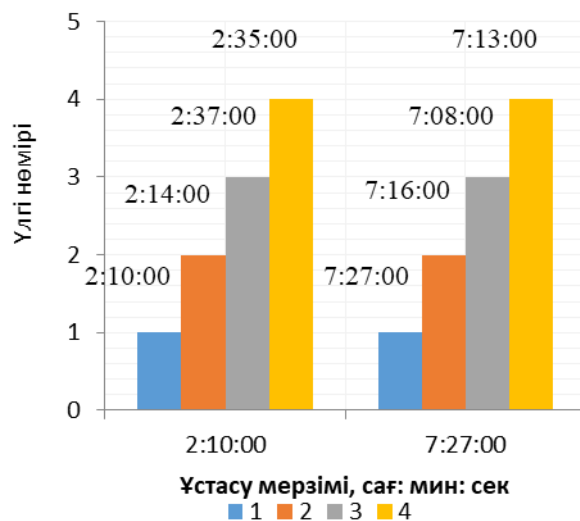
2.2.1 Цементтің физикалық және механикалық қасиеттерін зерттеу нәтижелері

Зерттеу аясында әрбір цемент түрінің төрт үлгісінде қату уақытына сынақтар жүргізілді. Нәтижелер 2.5-суретте графикалық түрде көрсетілген. Бұл график қату уақытындағы екі маңызды нүктені көрсетеді: бірінші белгі цемент қату процесінің басталуын, ал екіншісі - аяқталуын көрсетеді.

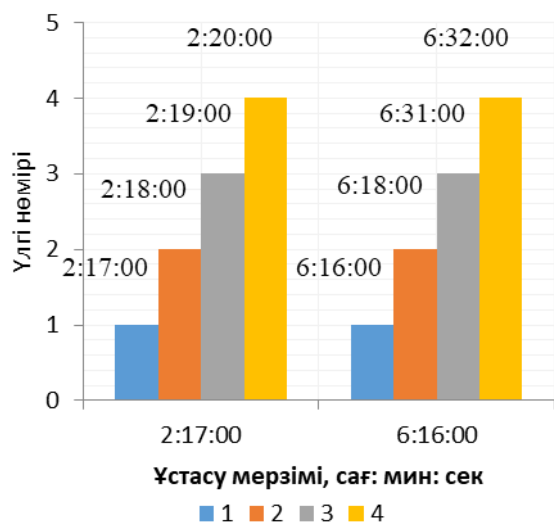




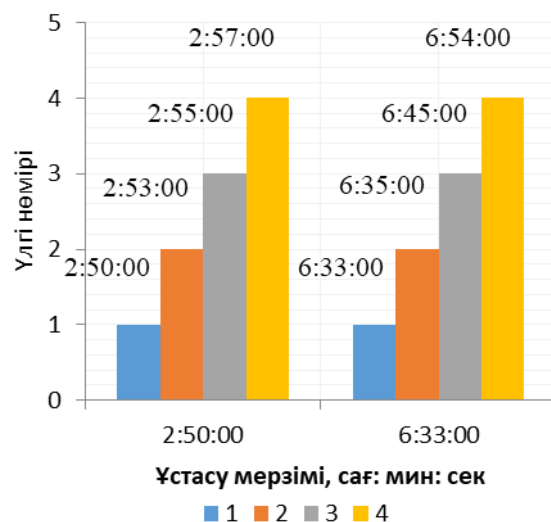
5 Үлгі



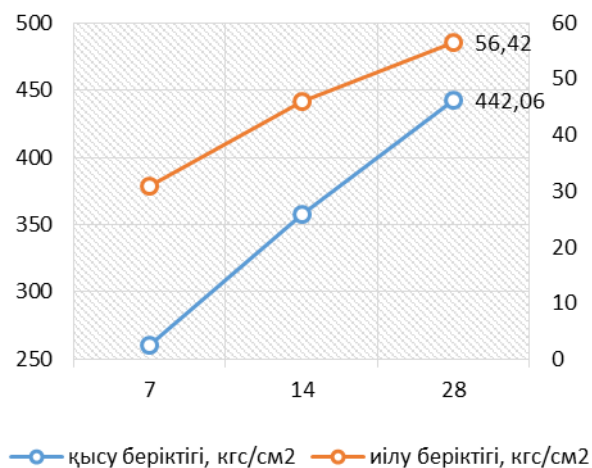
6 Үлгі



2.5-сурет - 6 түрлі цементтің ұстасу мерзімі

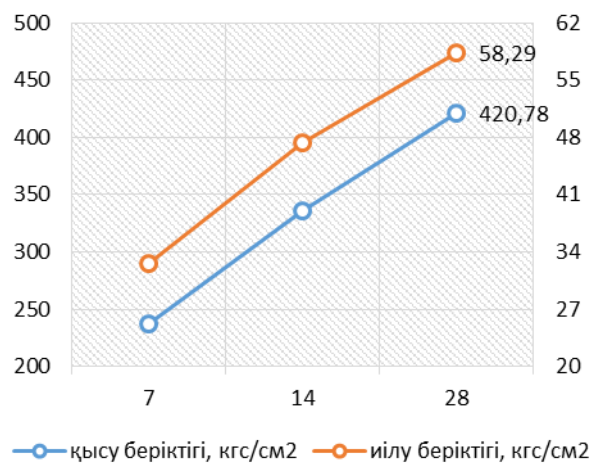


1 Үлгі

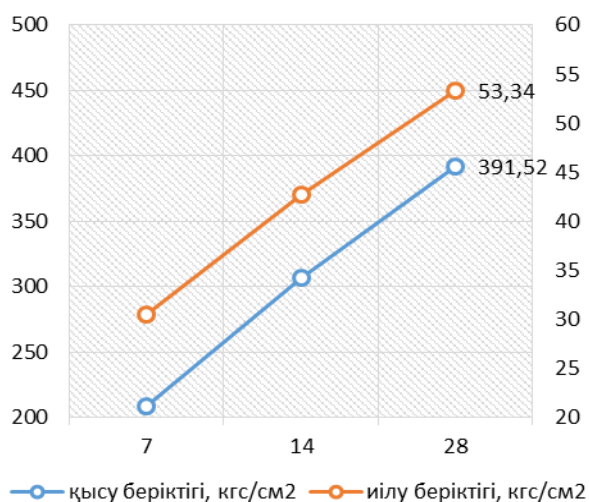


3 Үлгі

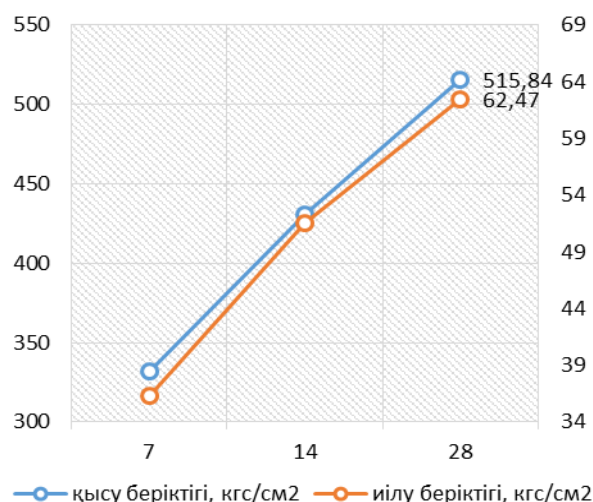
2 Үлгі



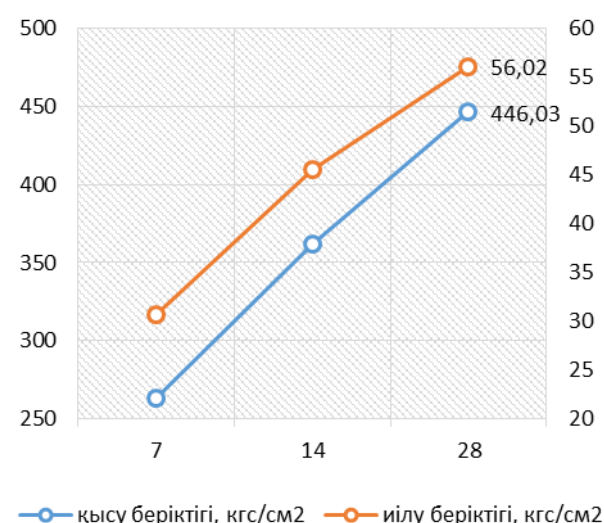
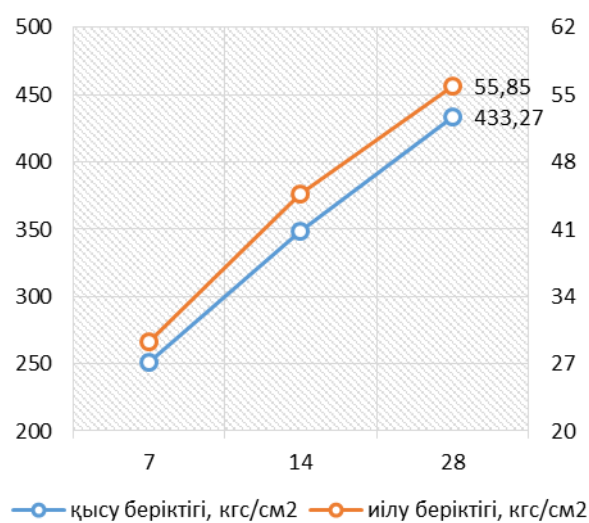
4 Үлгі



5 Үлгі



6 Үлгі



2.6-сурет - 6 түрлі цементтің беріктік қасиеттері

Цементтің ұстасу мерзімі бағалау маңызды, себебі ол цементтің белгілі бір беріктікке жету жылдамдығын көрсетеді. Қату уақыты алты түрлі цементтің әрқайсысы үшін тиісті стандарттарда сипатталған сынақ әдісіне сәйкес өлшенді.

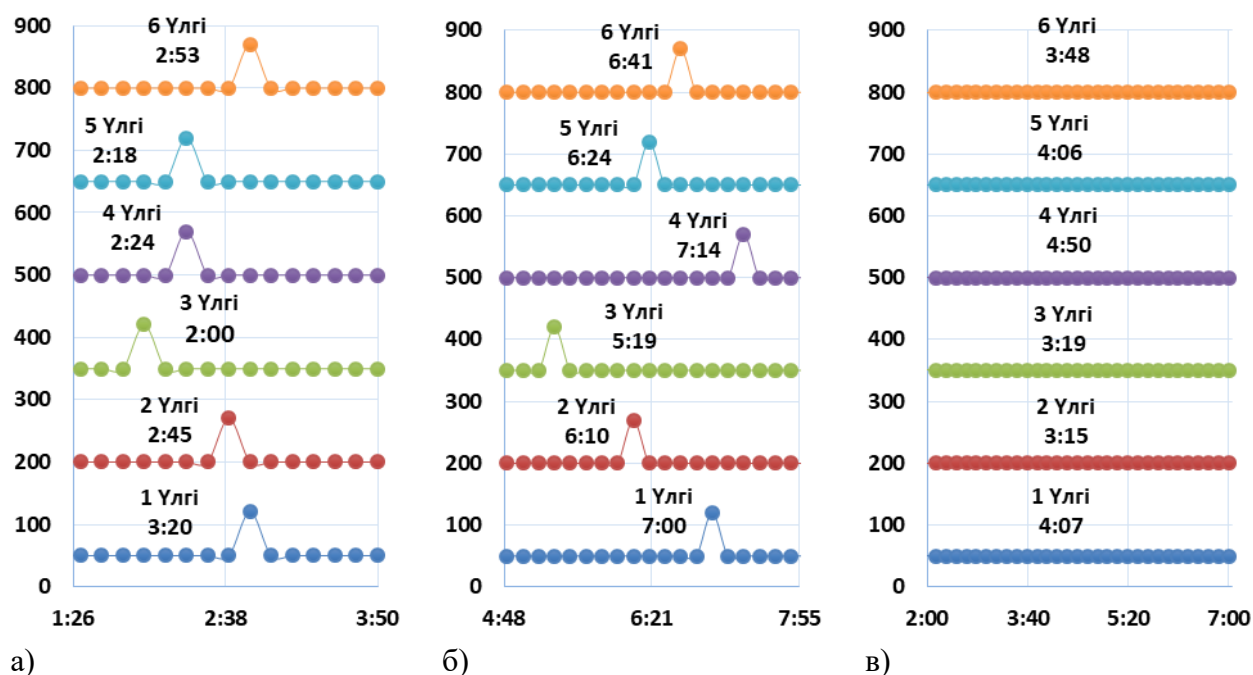
7, 14 және 28 күннен кейінгі цемент беріктігі сынақтарының нәтижелері 2.6-суретте көрсетілген. Нәтижелер графикте анық көрсетілген, бұл цемент беріктігінің уақыт бойынша динамикасын бақылауға мүмкіндік береді.

2.2.2 Цемент қасиеттерін салыстырмалы талдау және оңтайлы цемент түрін тандау

Алты түрлі цементті салыстыру үшін екі негізгі критерий қолданылды: МЕМСТ 310.3-76 «Цементтер. Қалыпты тығыздықты, қату уақытын және көлемнің өзгеруінің біркелкілігін анықтау әдістері» және МЕМСТ 30744-2001 «Цементтер. Полифракциялық құмды қолдану арқылы сынақ әдістері» стандартына сәйкес анықталған қату уақыты. Бұл екі критерийді пайдалану

әртүрлі цемент түрлерінің қасиеттерін жан-жақты салыстыруға және ең тиімді цементті таңдауға мүмкіндік береді.

2.7-суретте алты түрлі цемент үшін орташа сынақ нәтижелерін көрсететін салыстырмалы кесте келтірілген. График сонымен қатар цементті қату процесінің бастапқы және соңғы нүктелерін, сондай-ақ осы процестің ұзақтығын көрсетеді. Бұл сипаттамалар әрбір цемент түрінің қату жылдамдығы туралы маңызды ақпарат береді, бұл оңтайлы цемент түрін таңдауда шешуші рөл атқарады.



2.7-сурет - Ұстасу мерзімі нәтижелері: а) басталуы, ә) соңы, б) ұзақтылығы

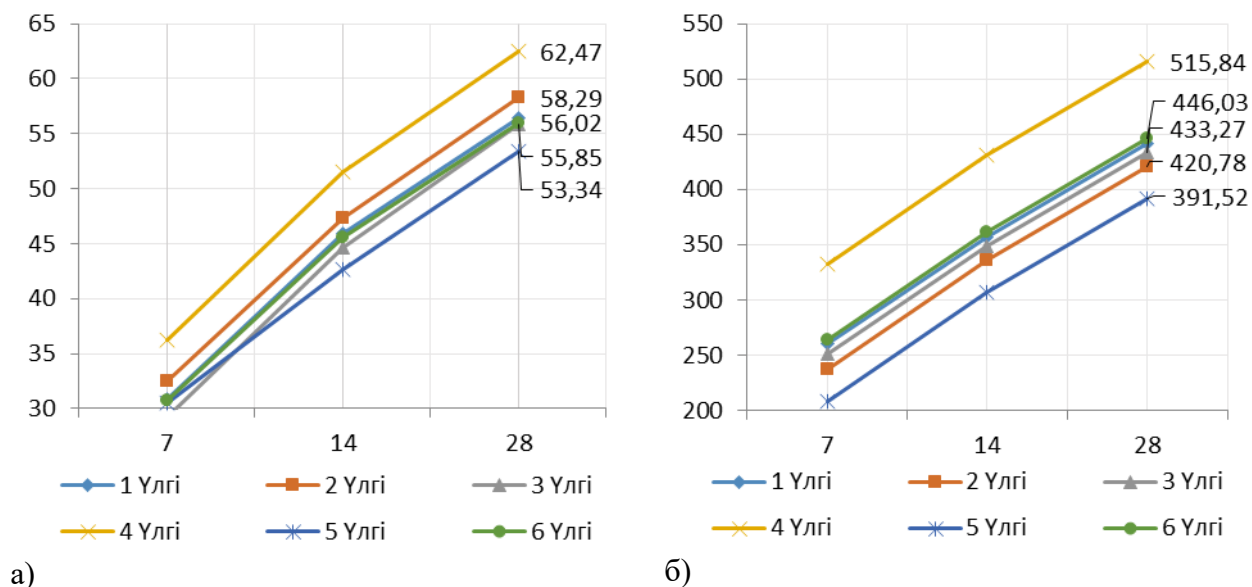
Әртүрлі цемент түрлерінің ұстасу мерзімі туралы ұсынылған деректерге сүйене отырып, келесі аналитикалық қорытындылар жасауға болады:

№	Үлгілер	Басталуы	Аяқталуы	Ұзақтылығы
1.	Қоспасыз 1 үлгі	3 сағат 20 минут	7 сағат 00 минут	4 сағат 07 минут
2.	Қоспасыз 2 үлгі	2 сағат 45 минут	6 сағат 05 минут	3 сағат 15 минут
3.	Қоспасыз 3 үлгі	2 сағат 00 минут	5 сағат 19 минут	3 сағат 19 минут
4.	Қоспасыз 4 үлгі	2 сағат 24 минут	7 сағат 14 минут	4 сағат 50 минут
5.	Қоспасыз 5 үлгі	2 сағат 18 минут	6 сағат 24 минут	4 сағат 6 минут
6.	Қоспасыз 6 үлгі	2 сағат 53 минут	6 сағат 41 минут	3 сағат 48 минут

Ұсынылған деректерге сүйене отырып, әртүрлі цемент үлгілерінің қатаю жылдамдығы әртүрлі екені анықталды. Атап айтқанда, 2-ші цемент үлгісі ең жылдам қатады, ал 1, 3, 4, 5 және 6-шы цемент үлгілері салыстырмалы түрде баяу қатады. Нәтижелер әртүрлі цемент түрлерінің қатаю уақыты мен ұзақтығы әртүрлі екенін көрсетеді. Мысалы, 4-ші типті цемент ең ұзақ қатаю уақытына ие

болды (4 сағат 50 минут), ал 2-ші типті цемент ең қысқа қатаю уақытына ие болды (3 сағат 15 минут).

2.8-суреттегі график цемент үлгілерінің беріктік сынақтарының салыстырмалы кестесі болып табылады. Бұл график 7, 14 және 28 күндік қатаю кезеңдеріндегі беріктік сынақтарының орташа мәндерін көрсетеді. Бұл деректерді салыстырмалы талдау қатаюдың әртүрлі кезеңдеріндегі әртүрлі цемент түрлерінің беріктік қасиеттері туралы маңызды ақпарат бере алады [185-187].



2.8-сурет - Беріктік сынақтарының нәтижелері: а) иілу беріктігі, ә) қысу беріктігі

Әртүрлі цемент үлгілерінің иілу беріктігі сынағының нәтижелері келесі негізгі аспектілерді қамтиды:

№	Үлгілер	7 күннен кейінгі иілу беріктігі	14 күннен кейінгі иілу беріктігі	28 күннен кейінгі иілу беріктігі	Орташа беріктік мәндері
1.	Қоспасыз 1 үлгі	$R_{изг} = 30,88$ кгс/см ²	$R_{изг} = 45,97$ кгс/см ²	$R_{изг} = 56,42$ кгс/см ²	$R_{изг} = 30,88$ - $56,42$ кгс/см ²
2.	Қоспасыз 2 үлгі	$R_{изг} = 32,51$ кгс/см ²	$R_{изг} = 47,32$ кгс/см ²	$R_{изг} = 58,29$ кгс/см ²	$R_{изг} = 32,51$ - $58,29$ кгс/см ²
3.	Қоспасыз 3 үлгі	$R_{изг} = 30,48$ кгс/см ²	$R_{изг} = 42,66$ кгс/см ²	$R_{изг} = 53,34$ кгс/см ²	$R_{изг} = 30,48$ - $53,34$ кгс/см ²

4.	Қоспасыз үлгі	4	$R_{изг} = 36,28$ кгс/см ²	$R_{изг} = 51,56$ кгс/см ²	$R_{изг} = 51,56$ кгс/см ²	$R_{изг} = 36,28$ - 62,47 кгс/см ²
5.	Қоспасыз үлгі	5	$R_{изг} = 29,25$ кгс/см ²	$R_{изг} = 44,65$ кгс/см ²	$R_{изг} = 55,85$ кгс/см ²	$R_{изг} = 29,25$ - 55,85 кгс/см ²
6.	Қоспасыз үлгі	6	$R_{изг} = 30,71$ кгс/см	$R_{изг} = 45,52$ кгс/см ²	$R_{изг} = 56,02$ кгс/см ²	$R_{изг} = 30,71$ - 56,02 кгс/см ²

Әртүрлі цемент үлгілерінің қысу беріктігі сынағының нәтижелері келесі негізгі аспектілерді қамтиды:

№	Үлгілер		7 күннен кейінгі қысу беріктігі	14 күннен кейінгі қысу беріктігі	28 күннен кейінгі қысу беріктігі	Орташа беріктік мәндері
1.	Қоспасыз үлгі	1	$R_{сж} = 259,28$ кгс/см	$R_{сж} = 357,28$ кгс/см ²	$R_{сж} = 442,06$ кгс/см ²	$R_{сж} = 259,28$ -420,06 кгс/см ²
2.	Қоспасыз үлгі	2	$R_{сж} = 237,15$ кгс/см ²	$R_{сж} = 355,54$ кгс/см ²	420,78 кгс/см ²	$R_{сж} = 237,15$ -420,78 кгс/см ²
3.	Қоспасыз үлгі	3	$R_{сж} = 208,53$ кгс/см ²	$R_{сж} = 306,45$ кгс/см ²	$R_{сж} = 391,52$ кгс/см ²	$R_{сж} = 208,53$ - 391,52 кгс/см ²
4.	Қоспасыз үлгі	4	$R_{сж} = 332,22$ кгс/см ²	$R_{сж} = 332,22$ кгс/см ²	$R_{сж} = 515,84$ кгс/см ²	$R_{сж} = 332,22$ - 515,84 кгс/см ²
5.	Қоспасыз үлгі	5	$R_{сж} = 250,75$ кгс/см ²	$R_{сж} = 433,27$ кгс/см ²	$R_{сж} = 515,84$ кгс/см ²	$R_{сж} = 250,75$ - 433,27 кгс/см ²
6.	Қоспасыз үлгі	6	$R_{сж} = 263,66$ кгс/см ²	$R_{сж} = 361,52$ кгс/см ²	$R_{сж} = 446,03$ кгс/см ²	$R_{сж} = 263,66$ - 446,03 кгс/см ²

2 және 4 үлгілер қатайтудың 7-ші күнінде ең жоғары иілу беріктігі көрсетті, ал 5-ші үлгі бұл кезеңде ең төмен беріктікке ие болды. 1, 3 және 6 үлгілердің беріктік мәндері салыстырмалы түрде ұқсас болды. 14 және 28 күндік жасында 2 және 4 үлгілер үшін ең жоғары иілу беріктігі, ал 3-ші үлгі үшін ең төменгісі анықталды. 1, 3 және 6 үлгілердің беріктік мәндері салыстырмалы түрде ұқсас болды.

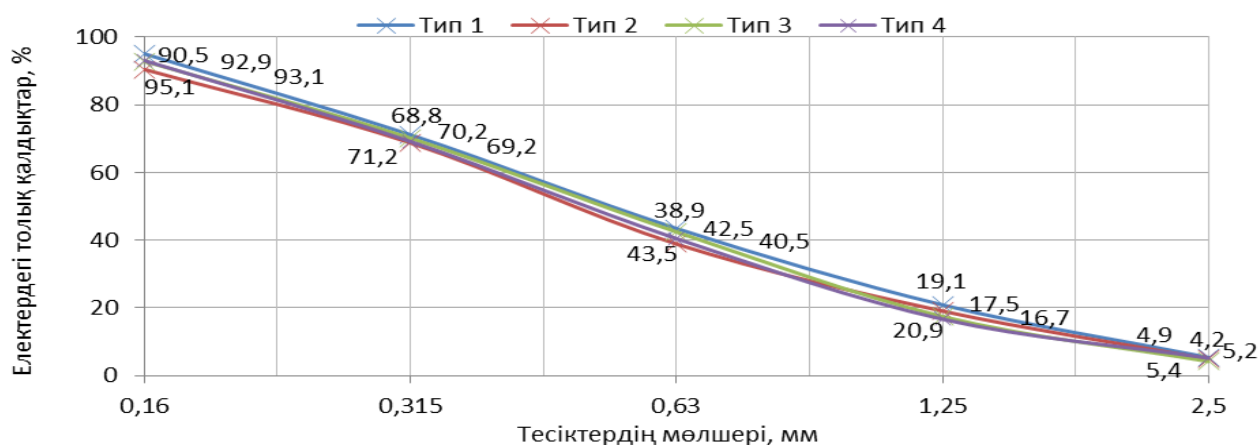
Нәтижелер [188, 189] цемент үлгілерінің әртүрлі түрлерінің иілу және қысу беріктігінде айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетеді. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, 2 және 4 үлгілер ең жоғары иілу және қысу беріктігіне ие.

Бұл үлгілер жоғары жүктемелерге төтеп бере алатындықтан және құрылымдық тұрақтылықты қамтамасыз ететіндіктен, оларды ұңғыма қаптамаларын өндіруде қолдану үшін артықшылыққа ие болуы мүмкін. Екінші жағынан, 5 үлгі ең төменгі беріктік мәндерін көрсетеді, бұл оларды пайдалануды шектеуі мүмкін. Бұл оларды жоғары сенімділік қажет болған жағдайларда қолдануды шектеуі мүмкін. 1, 3 және 6 үлгілер иілу және қысу беріктігіне ұқсас. Бұл материалдың қасиеттерінің ұқсас екенін көрсетеді және қолжетімділік пен құны сияқты басқа параметрлерге негізделіп ең қолайлы үлгіні таңдауға мүмкіндік береді.

Сынақ нәтижелері бойынша, одан әрі зерттеу үшін ең тиімді цемент ретінде М400 «Көкше-цемент» 2 үлгі таңдалды. Бұл таңдау бекітілген стандарттар мен әдістерге сәйкес жүргізілген беріктік сипаттамалары мен басқа да маңызды параметрлердің салыстырмалы талдауына негізделген.

2.2.3 Әртүрлі көздерден алынған құмның жарамдылығын бағалау

Зерттеу барысында Ақмола облысындағы бірнеше көздерден, атап айтқанда Елтоқ, Ильинское, Воздвиженское және Рождественское-ден алынған құм кейіннен салыстырмалы талдау үшін ерітінділер мен бетон қоспаларын дайындауда ұсақ агрегат ретінде пайдаланылды. Талдау нәтижелері зерттелген құмдардың бөлшектер мөлшерінің таралуын көрсететін график құру үшін пайдаланылды (2.9-сурет).



2.9-сурет - Құм түрі бойынша бөлшектердің мөлшерінің таралуы

2.1-кестеде құм үлгілерін физикалық және механикалық сынау нәтижелері көрсетілген, бұл бізге олардың негізгі сипаттамаларын бағалауға және ең тиімді ұсақ агрегатты таңдауға мүмкіндік берді.

2.1-кесте - Физикалық және механикалық сынау нәтижелері

№	Үлгі	Жаппай тығызды қ, кг/м ³	Шынайы тығызды қ, кг/м ³	Үлкенді к	Бос орын, %	Шаң және саз	Кесектердегі саздың мөлшері, %
---	------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------	-------------	--------------	--------------------------------

				модулі, М _к , бар		бөлшектеріні ң құрамы, %	
1	1 Үлгі	1472	2665	2,36	43,2	1,2	0,24
2	2 Үлгі	1480	2637	2,22	40,2	0,98	0,22
3	3 Үлгі	1485	2660	2,27	41,6	1,3	0,23
4	4 Үлгі	1490	2650	2,25	42,9	1,5	0,25

Елток кен орны II класты орташа түйіршікті құмға сәйкес келетін, бөлшектердің өлшем модулі 2,36 болатын 1-құм үлгісімен сипатталады. Бөлшектердің өлшемін талдау 0,63 мм електегі жалпы құм қалдығының 43,5% құрағанын көрсетті (стандартты 30-45% аралығында). Құмдағы шаң мен саздың мөлшері салмақ бойынша 1,2% құрады, бұл нормативтік талаптарға да сәйкес келеді (3%-дан аспайды). Сонымен қатар, құм түйіршіктеріндегі саздың мөлшері 0,24% құрады, бұл стандартты талаптарға да сәйкес келеді (0,5%-дан аспайды).

Ильиновское кен орны II класты орташа түйіршікті құмға сәйкес келетін, бөлшектердің өлшем модулі 2,22 болатын 2-құм үлгісінен тұрады. Бөлшектердің өлшемін талдау 0,63 мм електегі жалпы құм қалдығының 38,9% құрағанын көрсетті (стандартты 30-45% аралығында). Құмның шаң мен саздың мөлшері салмақ бойынша 0,98% құрайды, бұл да нормативтік талаптарға сәйкес келеді (3%-дан аспайды). Сонымен қатар, құм түйіршіктерінің саз мөлшері 0,22% құрайды, бұл да стандартты талаптарға сәйкес келеді (0,5%-дан аспайды).

Воздвиженское кен орны 2,27 бөлшектер өлшемі модулімен 3 үлгі құмымен сипатталады, бұл II класты орташа құмға сәйкес келеді. Бөлшек өлшемін талдау 0,63 мм електегі жалпы құм қалдығының 42,6% құрағанын көрсетті (стандартты 30-45% аралығында). Құмдағы шаң мен саздың мөлшері салмақ бойынша 1,3% құрады, бұл да нормативтік талапқа сәйкес келеді (3%-дан аспайды). Сонымен қатар, құм түйіндеріндегі саздың мөлшері 0,23% құрады, бұл да стандартты талапқа сәйкес келеді (0,5%-дан аспайды).

Рождественское кен орны 2,25 бөлшектер өлшемі модулімен 4 үлгі құмнан тұрады, бұл II класты орташа құмға сәйкес келеді. Бөлшек өлшемін талдау 0,63 мм електегі жалпы құм қалдығының 40,5% құрағанын көрсетті (стандартты 30-45% аралығында). Құмның шаң мен саздың мөлшері салмақ бойынша 1,5% құрайды, бұл да нормативтік талаптарға сәйкес келеді (3%-дан аспайды). Сонымен қатар, құм түйіршіктерінің саз мөлшері 0,25% құрайды, бұл да стандартты талаптарға сәйкес келеді (0,5%-дан аспайды).

Осылайша, Елток, Ильинское, Воздвиженское және Рождественское кен орындарынан алынған құмдар МЕМСТ 8736-2014 стандартының «Құрылыс жұмыстарына арналған құмдар. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкес келеді. Астанада қаласында оңтүстік-батысқа қарай 15 км жерде орналасқан Ильинское кен орнынан алынған құм (2 үлгі) одан әрі зерттеу үшін таңдалды. Құмның органикалық қоспа мөлшері МЕМСТ 8735-88 «Құрылыс жұмыстарына арналған құмдар. Сынау әдістері» стандартына сәйкес анықталды. Сілтілік натрий гидроксиді ерітіндісімен өңделген кезде құм ерітіндінің түсін өзгертпейді, бұл МЕМСТ талаптарына сәйкес келеді.

2.2.4 Әртүрлі кен орындарынан алынған қиыршақ тастардың сипаттамаларын бағалау

Астанада қаласында солтүстік-батысқа қарай 60 км жерде орналасқан Тастақ кен орны мен оңтүстік-шығысқа қарай 66 км жерде орналасқан Шоптікөл кен орнының гранит агрегаттары бетон өндірісі үшін ірі агрегаттар ретінде пайдаланылды. Бұл агрегаттардың бөлшектерінің өлшемі 5-тен 20 мм-ге дейін және МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған қиыршық тас және агрегаттар» талаптарына сәйкес келеді. Толық сипаттамалары 2.2 және 2.3 кестелерде келтірілген.

2.2 кесте - Агрегаттардың гранулометриялық құрамы

№	Електердегі қалдықтар, %	Тесіктердің мөлшері, мм					
		1,25Д	Д	0,5 (Д+d)	d	2,5	<2,5
1 Үлгі	Жеке қалдықтар	0,0	7,5	47,6	41,9	1,9	1,1
	Толық қалдықтар	0,0	7,5	55,1	97	98,9	100
2 Үлгі	Жеке қалдықтар	0,0	8,0	53,1	35,7	2,0	1,2
	Толық қалдықтар	0,0	8,0	61,1	96,8	98,8	100
Норма бойынша МЕМСТ 8267-93		дейін 0,5	дейін 10	30-60	90-100	95-100	-

2.3-кесте - Қиыршық тасты сынау нәтижелері

№	Атауы	Норма бойынша МЕМСТ 8267-93	Мағынасы	
			1 Үлгі	2 Үлгі
1	Жаппай тығыздық, кг/м ³	-	1482	1410
2	Шынайы тығыздық, кг/м ³	-	2717	2650
3	Орташа тығыздық, кг/м ³	-	2617	2590
4	Ұсақталған дәндрдің құрамы, %	кемінде 80	91,2	95,5
5	Пластиналлы және ине тәрізді дәндрдің құрамы, %	15-25	16,75 III топ	16,35 III топ
6	Әлсіз жыныстардың дәндрінің құрамы, %	5 артық емес	2	2,2

7	Кесектердегі саздың мөлшері, %	-	жоқ	жоқ
8	Шаң және саз бөлшектерінің құрамы, %	1 артық емес	0,80	0,85
9	Тозу маркасы, массаның жоғалуы, %	25 дейін	И1	И1
10	Бөлшек маркасы, массаның жоғалуы, %	11-13	1000	800
11	Бос орын, %	-	41,8	42,5
12	Аязға төзімділік	-	F300	F300

Алынған индикатор мәндерін және олардың МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған қиыршық тас пен қиыршық тас. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкестігін бағалағаннан кейін, қиыршық тасты талдау нәтижелеріне сүйене отырып, келесі сипаттамалар анықталды:

1. Гранулометриялық құрамы:

- 20 мм електегі (D) жалпы қалдық массасы 7,5% құрайды, бұл МЕМСТ талаптарына 10%-ға дейін сәйкес келеді.

- 5 мм електегі (D) жалпы қалдық массасы 97,0% құрайды, бұл МЕМСТ стандартының 90-100% диапазонында.

Шоптікөл кен орны:

- 20 мм електегі (D) жалпы қалдық массасы 8,0% құрайды, бұл МЕМСТ талаптарына 10%-ға дейін сәйкес келеді.

- Ұяшық өлшемі 5 мм (d) болатын електегі жалпы қалдық 96,8% құрайды, бұл МЕМСТ стандартының 90-100% шегінде.

2. Тамырлылық (жалпақ және тырнақ тәрізді бөлшектердің мөлшері):

Тастақ кен орны: Жазық және тырнақ тәрізді бөлшектердің мөлшері III топқа жатады және 16,75% құрайды, бұл Қазақстан Республикасының Мемлекеттік стандарты бойынша 15-25% стандарты шегінде.

Шоптікөл кен орны: Қабыршақты және тырнақ тәрізді бөлшектердің мөлшері III топқа жатады және 16,35% құрайды, бұл Қазақстан Республикасының Мемлекеттік стандарты бойынша 15-25% стандарты шегінде.

Талдау екі қиыршық тас кен орнының (Тастақ және Шоптікөл) тегістік бойынша МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан қиыршық тас және ұсақталған тас» техникалық сипаттамаларының талаптарына сәйкес келетінін көрсетті.

3. Сыну және тозу көрсеткіштері:

Тастақ кен орнының сыну көрсеткіші 1000, тозу көрсеткіші II, ал сыналған тастың массалық жоғалуы МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған ұсақталған тас пен қиыршық тас» талаптарына сәйкес келеді. «Техникалық сипаттамалар» оның қолдануға жарамдылығын растайды.

Шоптікөл агрегатының сыну көрсеткіші 800, абразия көрсеткіші 11, ал сынақ кезіндегі массалық жоғалуы МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған қиыршық тас пен ұсақталған тас» талаптарына сәйкес келеді. «Техникалық сипаттамалар» оны пайдалануға жарамдылығын растайды.

Талдау нәтижелеріне сәйкес, екі агрегат (Тастак және Шоптікөл) қысу беріктігі мен тозуға төзімділігі тұрғысынан қолайлы және сынақ кезіндегі массалық жоғалту талаптарына сәйкес келеді.

4. Шаң мен саздың құрамы:

Тастак агрегатының шаң мен саздың құрамы 0,80% құрайды, бұл МЕМСТ стандартына сәйкес келеді (1%-дан аспайды).

Шоптікөл агрегатының шаң мен саздың құрамы 0,85% құрайды, бұл МЕМСТ стандартына сәйкес келеді (1%-дан аспайды).

Алынған деректерге сүйене отырып, Ақмола облысының Целиноград ауданында Астана қаласындан солтүстік-батысқа қарай 60 км жерде орналасқан Тастак кен орнынан (1-үлгі) қиыршық тас одан әрі зерттеу үшін таңдалды. Бұл таңдау физикалық және механикалық қасиеттерді талдауға негізделген, ол МЕМСТ 8267-93 «Құрылыс жұмыстарына арналған тығыз жыныстардан алынған қиыршық тас және ұсақталған тас» талаптарына толық сәйкес келді.

3 МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫҢ КОМПОНЕНТТЕРІН ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

3.1 Қоспаның құрамдас бөліктерінің сипаттамалары

Модификацияланған қоспаны әзірлеуге арналған ингредиенттерді таңдаған кезде осы саладағы жетекші шетелдік және отандық зерттеушілердің тәжірибесі талданды және қоспа модификаторларына қойылатын талаптар, соның ішінде МЕМСТ 24211-2008 «Бетон мен ерітінділерге арналған қоспалар» нормативтік құжаты ескерілді.

Модификацияланған қоспаны әзірлеу кезінде бетонның жақсаруына және оның физикалық және механикалық қасиеттеріне әсер ететін негізгі қасиеттер мен қажетті сипаттамалар ескерілді. Модификацияланған қоспаға келесі компоненттер енгізілді:

1. Модификациялаушы қоспа - қоспаның негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын спирттен кейінгі барда (СКБ). СКБ - этанол өндірісінің қалдық өнімі.

2. СКБ үшін бейтарап ортаны қамтамасыз ету үшін жеткілікті мөлшерде NaOH пайдаланылды.

3. Бетонның қатаюын реттеуге мүмкіндік беретін гипс - беріктендіру реттегіші.

Бұл модификацияланған қоспаның құрамы бетон қасиеттерін жақсартуда оңтайлы нәтижелерге қол жеткізу үшін зерттеу талдауы мен нормативтік талаптар негізінде таңдалды. Модификацияланған қоспаның әрбір компонентінің сипаттамалары төменде келтірілген:

Пластификатор, яғни әзірленген қоспаның негізгі компоненті ретінде СКБ таңдалды. СКБ этил спиртінен өндіріс қалдықтарынан алынады және белгілі бір химиялық қасиеттерге, сондай-ақ бетонның қасиеттеріне әсер ету қабілетіне ие. Оны бетон қоспаларында қолдану бетон құрылымының жұмысқа қабілеттілігі мен тығыздығы арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз етуге бағытталған, бұл беріктік пен төзімділіктің артуына ықпал етеді. Бұл пластификатор 1110 ҚР 00393896 ОАО-01-2003 техникалық сипаттамаларының талаптарына сәйкес келеді. Пластификатор сұйық түрінде жеткізіледі және «АйдаБул спирт зауыты» АҚ шығарады.

Зерттеу цемент қоспасына СКБ пластификаторын қосудың оңтайлы қатынастары 2,5%, 5,0%, 7,5% және 10% екенін көрсетті, мөлшерлеу 2,5% қадаммен жүзеге асырылады. Бұл қатынас бетонның қажетті қасиеттерін ескере отырып және оның сипаттамаларын оңтайландыру арқылы таңдалды.

Шикізат ретінде пайдаланылатын СКБ өнеркәсіптік қалдықтарының құрамы келесідей: шикі ақуыз - 2,0%, майсыз заттар - 3,0%, май - 0,5%, целлюлоза - 0,5%. Қалған бөлігі негізінен судан және ақуыздар, целлюлоза, майлар, казеин және лигнин сияқты еріген заттардан тұратын сұйық фазадан тұрады. Өнеркәсіптік қалдықтардың негізгі сипаттамалары 3.1 кестеде келтірілген.

3.1 кесте - СКБ негізгі қасиеттері

№	Параметр атауы	Норма	Бақылау әдісі
1	Сыртқы түрі	Қоңыр түсті сұйықтық, бөгде қоспалардың болмауы	Көрнекі бағалау
2	Тұнбаның болуы	Шамалы тұнба делік	Көрнекі бағалау
3	Температурадағы тығыздық 20оС, г/см ³	1,05 - 1,10	Денсиметр
4	Сутегі көрсеткіші, рН 200С температурада	5	Кез келген түрдегі рН-метрмен өлшеу

Бетон қоспаларын өндіруде және бетон конструкцияларын өндіруде СКБ қолдану бірқатар маңызды артықшылықтарды ұсынады:

1. Су шығынын азайту: СКБ бетонды араластыру үшін қажетті су мөлшерін азайтады. Бұл бөлшектердің тығыз орналасуына ықпал етеді және бетон конструкциясының тығыздығын арттырады.

2. Ұсақталудың алдын алу: СКБ бетон қоспасының ұсақталуына жол бермейді және жеткілікті жұмысқа қабілеттілікті қамтамасыз етеді. Бұл біркелкі және тұрақты қоспа құрамын жасау үшін өте маңызды.

3. Өндіріс тиімділігін арттыру: СКБ пайдалану бетон өндірісі процесінің технологиялық тиімділігін арттырады және өнім сапасын жақсартады. Сонымен қатар, бетон бұйымдары мен конструкцияларын өндірумен байланысты энергия шығындарын азайтады.

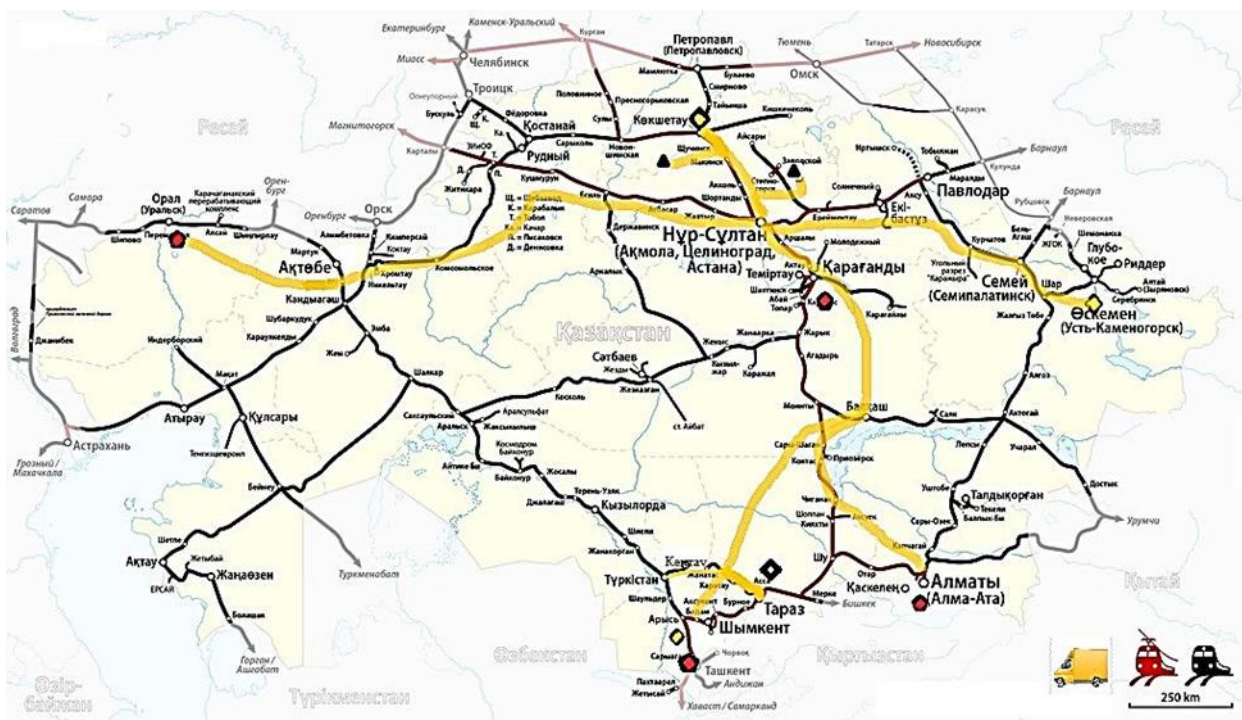
4. Беріктіктің артуы: СКБ жоғары беріктіктегі бұйымдар мен конструкцияларды, соның ішінде қатаудың алғашқы кезеңдерінде өндіруді жеңілдетеді. Бұл бетон элементтерін берік және сенімді етеді.

Каустикалық сода (NaOH) ұнтақ ретінде пайдаланылды, суда жақсы ериді (100 мл-ге 108,7 г). NaOH суда еріген кезде, оның оң зарядталған иондары гидратталып, аз мөлшерде жылу (10 ккал/моль) бөледі. Сумен әрекеттескенде, NaOH гидроксид иондарына (OH⁻) және натрий иондарына (Na⁺) ыдырайды, бұл оның сілтілік қасиеттерін және әртүрлі технологиялық процестерде кеңінен қолданылуын анықтайды. NaOH молекулалық салмағы 39,997 бірлік. Ол жанбайды. Бұл зерттеуде бейтарап ортаны қамтамасыз ету және СКБ рН тұрақтандыру үшін жеткілікті аз мөлшерде, атап айтқанда 5% NaOH қолданылды.

Құрылыс гипсі Тараз гипс зауытында, Жамбылгипс ЖШС-де өндірілген Г-7 құрылыс гипсі қолданылды. Тәжірибелер үшін гипстің цементке массалық қатынасы 1%, 1,5%, 2,0% және 2,5% болды. Тәжірибелер жүргізілген ортаның рН мәні 6 болды, бұл аздап қышқыл ортаға сәйкес келеді. Құрылыс гипсінің негізгі қасиеттері МЕМСТ 125-2018 «Гипс байланыстырғыштары».

3.1-суретте модификацияланған қоспаны өндіру үшін қажетті компоненттерді жеткізудің логистикалық бағыттары көрсетілген. NaOH Қазақстан Республикасының бірнеше қалаларында, соның ішінде Алматы, Орал,

Қарағанды және Шымкентте өндіріледі. Құрылыс гипсі Тараз, Шымкент және Көкшетауда өндіріледі. СКБ Ақмола облысында, Айдабул және Степногорск қалаларында өндіріледі. Компоненттердің нақты сандық қатынасын қамтитын бұл модификацияланған қоспаның тиімділігі және оның бетон қоспалары мен құрылымдарының қасиеттеріне әсері бұрын зерттелмегенін атап өту маңызды. Әдебиеттерге шолуда осы модификацияланған қоспаның әсерін оның компоненттерінің нақты сандық қатынасын ескере отырып, жан-жақты зерттеген ешқандай басылымдар немесе зерттеулер табылған жоқ.



3.1-сурет - Теміржол және автомобиль компоненттерін жеткізу бағыттары

3.2 Модификацияланған қоспаның технологиялық құрамы және өндіріс процесі

Бұл зерттеуде қоспа ретінде әзірленген кешенді модификацияланған қоспа (КМҚ) қолданылады. КМҚ гидрофобты және пластификациялаушы қасиеттерге ие, бұл оны бетон қасиеттерін жақсартуға ерекше қолайлы етеді. КМҚ келесі компоненттерден тұрады: NaOH, спирт өндірісінің қалдықтары (СКБ) және құрылыс гипсі. Бұл қоспаның компоненттерінің құрамы 3.2-суретте көрсетілген. Бұл сипаттамаларды және олардың өзара әрекеттесуін талдау арқылы синергетикалық әсерге қол жеткізіледі; яғни компоненттердің бірлескен әрекеті КМҚ оң қасиеттерін және оның бетон қасиеттеріне әсерін күшейтеді. Осы зерттеуде жасалған қоспа бірегей және оның компоненттерінің бірегей сандық құрамына ие. КМҚ формуласы үшін осы компоненттерді таңдау олардың бірегей қасиеттері мен өзара әрекеттесуіне негізделген.

Әзірленген қоспаның артықшылығы - оның көпфункционалды әсері, яғни бетон қоспасының бірнеше сипаттамаларына бір уақытта әсер ету мүмкіндігі.

Цемент массасының гидратациясы, қатаюы және қатаюы процестері кезінде жақсы үйлесімділік пен өзара әрекеттесу механизмдерін көрсететін КМҚ компоненттерін бірлесіп пайдалану қоспадағы әрбір ингредиенттің әсерін күшейтеді [190].



гипс



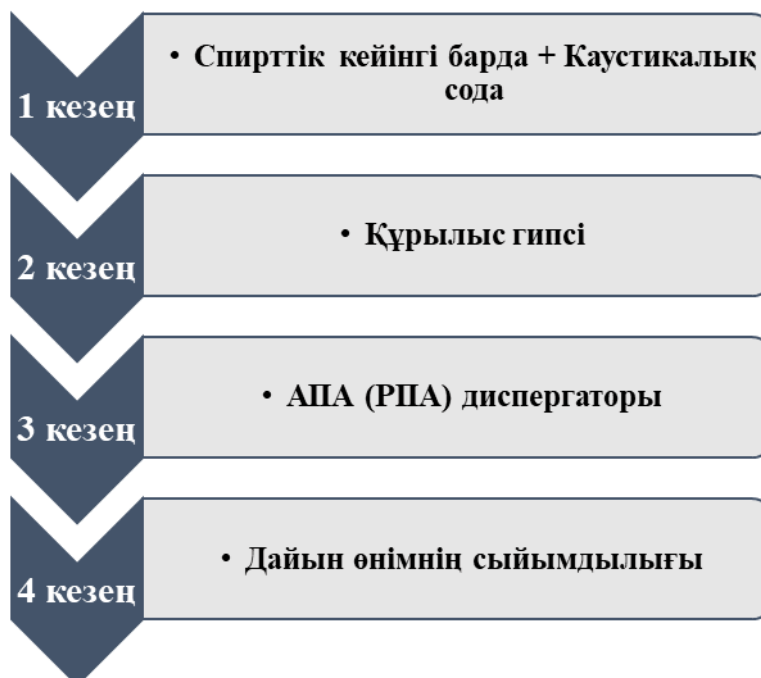
СКБ



каустикалық сода (NaOH)

3.2-сурет - КМҚ компоненттерінің әсері

Бұл физикалық және механикалық қасиеттері жақсартылған бетон өндіруге жағдай жасайды. Спирт өндірісінің қалдықтарын пайдалана отырып жасалған қоспа жоғары физикалық және механикалық қасиеттері бар ауыр бетон өндіруге арналған. КМҚ өндіріс технологиясын әзірлеу кезінде әрбір компоненттің қасиеттері ескерілді және қолданылған процесс тиімді нәтижелерге қол жеткізді. Сұйық эмульсия алу үшін СКБ айналмалы пульсация аппаратын (АПА) пайдаланып реакторда араластырылады. Бұл компонентпен - құрылыс гипсімен тиімді араластыруды қамтамасыз етеді.



3.3-сурет - Қоспаны өндіру процесі

СКБ-ның пластификациялаушы және гидрофобты қасиеттерінің үйлесімі гидрофильді-гидрофобты әсерді тудырады. Өндеу кезінде сілті (NaOH) қосу СКБ

pH-ын тұрақтандырады, бұл қоспаның қажетті қасиеттеріне қол жеткізу үшін өте маңызды. Бұл модификацияланған қоспаны алудың технологиялық схемасы 3.3-суретте көрсетілген, онда процесс кезеңдері мен операциялардың реттілігі көрсетілген. 3.3-суретте көрсетілген процесс компоненттерді жоғары сапалы араластыруды және тиімдірек нәтиже алуды қамтамасыз ету үшін белгілі бір операциялар тізбегін қажет етеді.

Компоненттерді араластыру үшін келесі тізбек ұсынылады:

1. Каустикалық соданы СКБ-мен араластыру: Бірінші қадамда NaOH СКБ-мен араластырылады және олар бірге ерітіледі. Бұл компоненттердің толық еруін қамтамасыз ету үшін белгілі бір температурада, мысалы, 50°C температурада жасалады.

2. Гипсті қосу: Екінші қадамда алынған СКБ және күйдіргіш сода эмульсиясы гипспен араластырылады. Бұл қадам біртекті қоспаны қалыптастыру үшін компоненттерді араластыруды қамтиды.

3. Қоспаны дисперсиялау: Үшінші қадамда қоспа АПА диспергаторын пайдаланып дисперсияланады. АПА диспергаторы химиялық реакцияны жеделдетеді, компоненттердің қарқынды араласуына ықпал етеді және қоспаның қажетті қасиеттерін қамтамасыз етеді.

4. Вакуумдық қаптама: Төртінші кезеңде барлық компоненттерді біртекті паста ретінде сақтау және жоғары сапаны қамтамасыз ету үшін вакуумдық қаптама қолданылады. Ол ауа көпіршіктерінің пайда болуына немесе компоненттердің бөлінуіне жол бермейді, олардың тұтастығы мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Құрамында СКБ, NaOH және гипс бар алынған қоспа pH 7-ден аспауын қамтамасыз ету үшін бақылауды қажет етеді. Егер бұл мән асып кетсе, тиісті компоненттерді қосу арқылы бейтараптандыру қажет. Реакция кезінде pH өзгерістерін мұқият бақылау маңызды. Қоспадан ең жақсы әсерге қол жеткізу үшін бейтараптандыру процедурасы өте маңызды. КМҚ өндіру кезінде барлық компоненттердің сипаттамаларын және ауыр бетонның сапасына әсерін ескере отырып, олардың рационалды қатынасын қамтамасыз ету маңызды. Бұл әрбір компоненттің өзара әрекеттесуін және оның бетонның соңғы қасиеттеріне әсерін ескеруді білдіреді. Компоненттердің сипаттамалары мен бетонның сапа талаптарын ескере отырып, тек мұқият таңдалған қатынас модификацияланған қоспаның қажетті нәтижелері мен оңтайлы қасиеттерін қамтамасыз етеді.

КМҚ өндіріс процесінде келесі технологиялық параметрлер мұқият бақыланады:

1. Шикізатты мөлшерлеудің дәлдігі өте маңызды және қолданылатын шкалалардың дәлдігіне байланысты. Әрбір компоненттің дәл және біркелкі мөлшерленуін қамтамасыз ету өте маңызды.

2. Соңғы қоспада аспалы қатты заттардың болуын болдырмау үшін СКБ тазартылуы керек. Алынған қоспаның тығыздығы да маңызды параметр болып табылады және 1,05-1,10 г/см³ аралығында болуы керек.

3. Алынған эмульсияның pH мәні оңтайлы мәнді бақылау және сақтау үшін екі ондық таңбаға дейін жоғары дәлдікпен өлшенеді.

4. Біркелкі қоспа құрылымы өте маңызды. Егер аздап бөліну орын алса, біркелкілігін қалпына келтіру үшін қолданар алдында қоспаны мұқият араластырыңыз.

5. Қаптау, тасымалдау және сақтау қоспаның қауіпсіздік және сапа талаптарына сәйкес келуі керек.

6. Ұзақ мерзімді сақтау үшін қоспаны ылғалдың әсеріне жол бермеу және оның қасиеттерін сақтау үшін герметикалық жабық полиэтилен контейнерлерге салу керек.

КМҚ әзірлеу процесі суда оңай еритін біркелкі эмульсияның түзілуін қамтамасыз етеді. Бұл гидрофобизация және пластификацияны қоса алғанда бірқатар қасиеттерге қол жеткізеді. КМҚ-нің суда толық ерігіштігі микрокеуектерді түзбей цемент байланыстырғышымен тиімді әрекеттесуді жеңілдетеді, нәтижесінде су мен цементтің арақатынасы төмендейді. Бұл бетонның физикалық, механикалық және құрылымдық қасиеттерін жақсартады. Бұл процесс оңтайлы сипаттамалары бар бетон жасауға мүмкіндік береді, оның сапасы мен беріктігін арттырады.

3.3 Зерттеу әдістері

3.3.1 Цемент тасының рентгендік дифракциялық талдауы

Бұл зерттеуде цемент тасындағы гидратталған элементтердің құрамын бағалау және үлгілердің құрамын сандық талдау үшін рентгендік дифракция (XRD) талдауы қолданылды. Талдаудың мақсаты үлгідегі фазаларды (минералдарды) анықтау және олардың құрамындағы салыстырмалы өзгерістерді бағалау болды. Зерттеліп отырған фазалардағы сапалық және сандық өзгерістерді анықтау үшін дифракциялық үлгілер алынды.



3.4-сурет - Рентгендік зонд және рентгендік фазалық талдауға арналған үлгілер

Қоспа компоненттерінің біреуінің құрамын өзгертудің әсері эталондық үлгінің және қоспаны әртүрлі қатынастарда (цемент массасының 2,5%, 5,0%, 7,5% және 10,0%) қамтитын үлгінің рентгендік дифракциялық талдауын қолдану арқылы зерттелді. Рентгендік дифракциялық талдау $\text{CuK}\alpha$ сәулеленуін қолдана отырып, автоматты дифрактометрде (DRON-3 жабдығы) жүргізілді. Өлшеулер келесі жағдайларда жүргізілді: 35 кВ, 20 мА, θ -2 θ ; детектор жылдамдығы 2 град/мин. Тең пропорциялар мен жасанды қоспаларды қолдану арқылы алынған

үлгілердің ұнтақтарының дифракциялық үлгілері жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдауға ұшырады. Бұл кристалдық фазалардың сандық қатынастарын анықтауға мүмкіндік берді.

Талдау үшін стандартты цемент тасының үлгілері және қоспалары бар үлгілер дайындалды. Үлгілер ұсақ ұнтақ алу үшін ағат ерітіндісінде қолмен ұнтақталды, содан кейін 105-110°C температурада кептіріліп, 3.4-суретте көрсетілгендей, кейінгі рентгендік дифракциялық талдау үшін торлы електен (№ 008) өткізілді.

3.3.2 Цемент қоспасының ұстасу мерзімін анықтау

Бұл зерттеуде цемент қамырының қалыпты қалыңдығы мен ұстасу мерзімін әртүрлі қоспа құрамдарының әсері зерттелді. Қалыпты қалыңдықты пен ұстасу мерзімін МЕМСТ 310.3-76 «Цементтер. Қалыпты қалыңдықты, қату уақытын және көлем өзгерісінің біркелкілігін анықтау әдістері» талаптарына сәйкес анықталды. Әрбір құрам үшін қалыпты қалыңдық мәндері өлшенді, сондай-ақ қамырдың бастапқы және соңғы қату уақыттары анықталды (3.5-сурет).



3.5-сурет - Сынақ нәтижелері

3.4 Цемент тасының қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері

3.4.1 Цемент тасының рентгендік дифракциялық талдауы

Бұл зерттеуде қоспаның қатысуымен цемент тасындағы құрылымдық өзгерістерді зерттеу үшін рентгендік дифракциялық талдау қолданылды. Бұл ерітінділерді талдау цемент қоспасының физикалық және химиялық қасиеттеріне әртүрлі СКБ концентрацияларының әсерін анықтауға мүмкіндік береді. 3.2-кестеде рентгендік дифракция және рентгендік фазалық талдауға ұшыраған әртүрлі үлгілердің құрамы көрсетілген.

3.2-кесте - Салыстырылған үлгілердің құрамы

№	Үлгілер	Цемент, г	Су, г	СКБ, г	NaOH, г	с/ц
1	1 Үлгі	100	28	-	-	0,28
2	2 Үлгі	100	25,5	2,5 (2,5%)	0,12	0,25
3	3 Үлгі	100	23	5,0 (5,0%)	0,25	0,23
4	4 Үлгі	100	20,5	7,5 (7,5%)	0,37	0,20
5	5 Үлгі	100	18	10,0 (10,0%)	0,5	0,18

Үлгілердің орташа элементтік құрамын анықтау үшін Super Probe 733 жүйесін пайдалана отырып, рентгендік иондау зондының микроталдауы қолданылды. Рентгендік иондау зондының микроталдауы үлгілердегі әртүрлі элементтердің болуы мен концентрациясы туралы ақпарат береді, бұл осы материалдардың қасиеттері мен мінез-құлқын одан әрі түсіну және түсіндіру үшін маңызды. Әрбір кестеде нақты үлгінің талдау нәтижелері бар және сәйкес концентрация мәндері бар элементтік құрам көрсетілген.

Кристалдық фазалардың жартылай сандық рентгендік фазалық талдау нәтижелері:

№	Үлгілер	Минерал	Формула	Концентрация, %
1	Үлгі 1	Hatrurite	Ca_3SiO_5	62.1
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	15.7
		Ilvaite	$\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$	9.3
		кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	7.1
		кварц	SiO_2	5.8
2	Үлгі 2	Hatrurite	Ca_3SiO_5	41.9
		кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	18.1
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	11.7
		Laihunite	$\text{Fe}_{1.58}(\text{SiO}_4)$	10.3
		Ilvaite	$\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$	10.3
		кварц	SiO_2	7.8
3	Үлгі 3	Hatrurite	Ca_3SiO_5	64.7
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	25.6
		кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	9.8
4	Үлгі 4	Hatrurite	Ca_3SiO_5	56.3
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	17.6
		Ilvaite	$\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$	10.0
		кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	10.9
		кварц	SiO_2	5.1
5	Үлгі 5	Hatrurite	Ca_3SiO_5	41.9
		кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	18.1
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	11.7

	Laihunite	Fe _{1.58} (SiO ₄)	10.3
	Ilvaite	CaFe ₃ Si ₂ O ₈ (OH)	10.3
	кварц	SiO ₂	7.8

Кестелерде келтірілген деректерге сүйене отырып, рентгендік дифракциялық талдау арқылы алынған үлгілерде келесі элементтер басым деген қорытынды жасауға болады: кремний (Si), кальций (Ca) және оттегі (O). Бұл үлгі құрамының негізгі бөлігі осы элементтерді қамтитын қосылыстардан тұратынын көрсетеді. Рентгендік дифракциялық талдаудан басқа, үлгілердің сандық элементтік құрамы туралы толығырақ ақпарат алу үшін рентгендік дифракциялық талдау жүргізілді [186].

Үлгілер: 1 үлгі

Өңдеу параметрлері: Барлық элементтер талданды (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер салмақ %-мен

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	48,30	0,14	0,56	1,75	7,94	1,09	0,61	37,09	0,16	0,11	2,25	100,00
Спектр 2	48,53	0,12	0,50	1,66	8,19	1,09	0,48	37,08	0,05	0,08	2,22	100,00
Спектр 3	49,43	-	0,48	1,46	8,09	1,02	0,51	36,59	0,14	0,25	2,05	100,00
Среднее	48,75	0,08	0,52	1,62	8,07	1,07	0,53	36,92	0,12	0,15	2,17	100,00
Станд. отклонение	0,60	0,09	0,04	0,15	0,12	0,04	0,07	0,28	0,06	0,09	0,11	
Макс.	49,43	0,14	0,56	1,75	8,19	1,09	0,61	37,09	0,16	0,25	2,25	
Мин.	48,30	0,03	0,48	1,46	7,94	1,02	0,48	36,59	0,05	0,08	2,05	

Өңдеу параметрлері: Стехиометрия арқылы оттегі (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер қосылыстармен %

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итог
Спектр 1	0,23	1,14	4,07	21,10	3,42	0,90	64,95	0,34	0,18	3,65	100,00
Спектр 2	0,20	1,02	3,86	21,80	3,44	0,72	65,11	0,11	0,12	3,62	100,00
Спектр 3	-0,05	1,00	3,47	21,91	3,30	0,78	65,48	0,31	0,42	3,39	100,00
Среднее	0,12	1,05	3,80	21,60	3,39	0,80	65,18	0,25	0,24	3,56	100,00
Станд. отклонение	0,16	0,08	0,30	0,44	0,08	0,10	0,27	0,13	0,15	0,14	
Макс.	0,23	1,14	4,07	21,91	3,44	0,90	65,48	0,34	0,42	3,65	
Мин.	-0,05	1,00	3,47	21,10	3,30	0,72	64,95	0,11	0,12	3,39	

Үлгілер: 2 үлгі

Өңдеу параметрлері: Барлық элементтер талданды (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер салмақ %-мен

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	50,31	0,27	0,52	1,64	15,23	0,88	0,59	28,43	0,08	0,21	1,84	100,00
Спектр 2	49,38	0,26	0,64	2,11	13,78	0,96	0,61	29,75	0,08	0,11	2,32	100,00
Спектр 3	48,84	0,24	0,65	1,83	13,06	0,95	0,70	30,71	0,28	0,31	2,43	100,00
Среднее	49,51	0,25	0,60	1,86	14,02	0,93	0,64	29,63	0,15	0,21	2,19	100,00

Станд. отклонение	0,74	0,01	0,07	0,24	1,11	0,04	0,06	1,14	0,12	0,10	0,32	
Макс.	50,31	0,27	0,65	2,11	15,23	0,96	0,70	30,71	0,28	0,31	2,43	
Мин.	48,84	0,24	0,52	1,64	13,06	0,88	0,59	28,43	0,08	0,11	1,84	

Өңдеу параметрлері: Стехиометрия арқылы оттегі (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер қосылыстармен %

Спектр	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	Итог
Спектр 1	0,42	1,03	3,68	39,21	2,73	0,87	48,68	0,17	0,33	2,89	100,00
Спектр 2	0,40	1,26	4,73	35,29	2,96	0,89	50,51	0,16	0,17	3,62	100,00
Спектр 3	0,38	1,26	4,11	33,42	2,90	1,02	52,04	0,59	0,49	3,79	100,00
Среднее	0,40	1,18	4,18	35,98	2,86	0,93	50,41	0,31	0,33	3,43	100,00
Станд. отклонение	0,02	0,14	0,53	2,95	0,12	0,08	1,68	0,24	0,16	0,48	
Макс.	0,42	1,26	4,73	39,21	2,96	1,02	52,04	0,59	0,49	3,79	
Мин.	0,38	1,03	3,68	33,42	2,73	0,87	48,68	0,16	0,17	2,89	

Үлгілер: 3 үлгі

Өңдеу параметрлері: Барлық элементтер талданды (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер салмақ %-мен

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	51,31	0,10	0,51	1,17	21,14	0,60	0,61	23,10	0,05	0,14	1,28	100,00
Спектр 2	51,72	0,32	0,40	1,15	21,71	0,58	0,57	22,25	0,01	0,09	1,21	100,00
Спектр 3	50,42	0,23	0,47	1,04	23,09	0,69	0,66	21,85	0,03	0,08	1,44	100,00
Среднее	51,15	0,21	0,46	1,12	21,98	0,63	0,62	22,40	0,02	0,10	1,31	100,00
Станд. отклонение	0,67	0,11	0,06	0,07	1,00	0,06	0,05	0,64	0,03	0,03	0,12	
Макс.	51,72	0,32	0,51	1,17	23,09	0,69	0,66	23,10	0,05	0,14	1,44	
Мин.	50,42	0,10	0,40	1,04	21,14	0,58	0,57	21,85	0,01	0,08	1,21	

Өңдеу параметрлері: Стехиометрия арқылы оттегі (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер қосылыстармен %

Спектр	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	Итог
Спектр 1	0,15	0,96	2,55	52,79	1,83	0,88	38,57	0,09	0,21	1,96	100,00
Спектр 2	0,49	0,75	2,52	54,37	1,78	0,82	37,28	0,01	0,14	1,86	100,00
Спектр 3	0,34	0,87	2,22	55,98	2,03	0,92	35,32	0,06	0,12	2,14	100,00
Среднее	0,33	0,86	2,43	54,38	1,88	0,87	37,06	0,05	0,16	1,99	100,00
Станд. отклонение	0,17	0,10	0,18	1,59	0,13	0,05	1,63	0,05	0,05	0,14	
Макс.	0,49	0,96	2,55	55,98	2,03	0,92	38,57	0,09	0,21	2,14	
Мин.	0,15	0,75	2,22	52,79	1,78	0,82	35,32	0,01	0,12	1,86	

Үлгілер: 4 үлгі

Өңдеу параметрлері: Барлық элементтер талданды (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер салмақ %-мен

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	51,03	0,19	0,53	1,28	17,79	0,75	0,54	25,70	0,20	0,22	1,77	100,00
Спектр 2	49,97	0,03	0,59	1,29	16,20	0,74	0,47	28,88	0,17	0,07	1,59	100,00
Спектр 3	50,68	0,20	0,48	1,34	15,98	0,69	0,49	28,12	0,06	0,08	1,88	100,00
Среднее	50,56	0,14	0,53	1,31	16,65	0,73	0,50	27,57	0,14	0,12	1,75	100,00

Станд. отклонение	0,54	0,09	0,06	0,03	0,99	0,03	0,03	1,66	0,07	0,09	0,14	
Макс.	51,03	0,20	0,59	1,34	17,79	0,75	0,54	28,88	0,20	0,22	1,88	
Мин.	49,97	0,03	0,48	1,28	15,98	0,69	0,47	25,70	0,06	0,07	1,59	

Өңдеу параметрлері: Стехиометрия арқылы оттегі (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер қосылыстармен %

Спектр	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	Итог
Спектр 1	0,29	1,03	2,86	45,41	2,31	0,79	43,78	0,41	0,35	2,78	100,00
Спектр 2	0,05	1,14	2,88	41,18	2,26	0,69	48,86	0,34	0,11	2,48	100,00
Спектр 3	0,32	0,94	3,03	41,25	2,16	0,72	48,36	0,12	0,12	2,98	100,00
Среднее	0,22	1,04	2,92	42,61	2,24	0,73	47,00	0,29	0,19	2,74	100,00
Станд. отклонение	0,15	0,10	0,09	2,42	0,07	0,05	2,80	0,15	0,13	0,25	
Макс.	0,32	1,14	3,03	45,41	2,31	0,79	48,86	0,41	0,35	2,98	
Мин.	0,05	0,94	2,86	41,18	2,16	0,69	43,78	0,12	0,11	2,48	

Үлгілер: 5 үлгі

Өңдеу параметрлері: Барлық элементтер талданды (қалыпқа келтірілген)

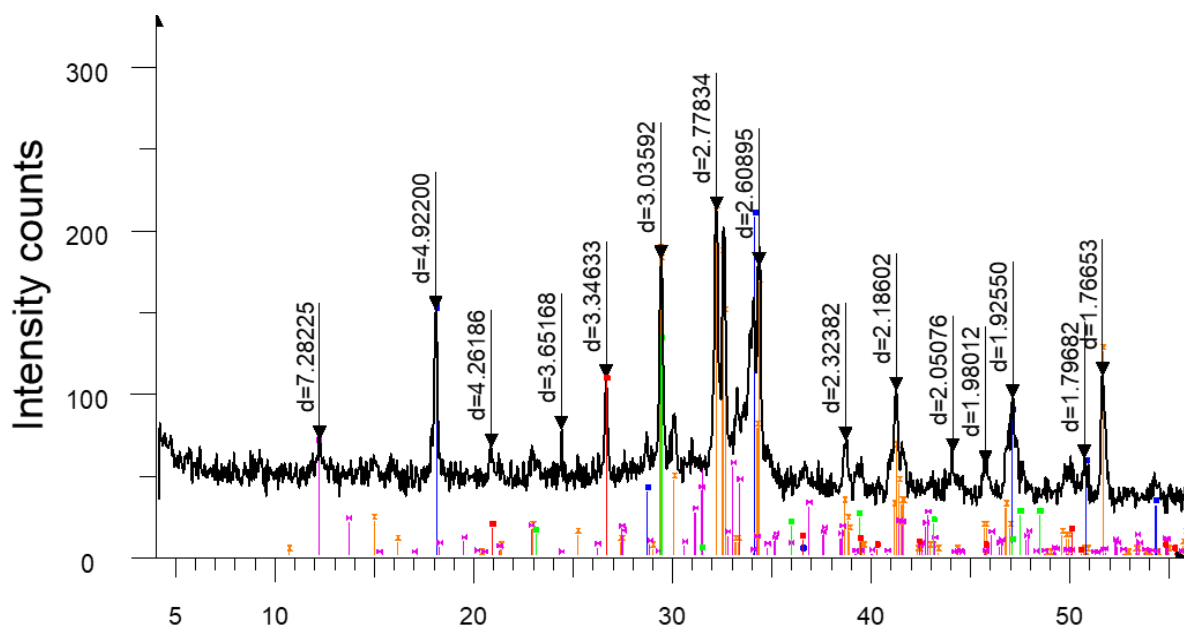
Барлық нәтижелер салмақ %-мен

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	51,31	0,10	0,51	1,17	21,14	0,60	0,61	23,10	0,05	0,14	1,28	100,00
Спектр 2	51,72	0,32	0,40	1,15	21,71	0,58	0,57	22,25	0,01	0,09	1,21	100,00
Спектр 3	50,42	0,23	0,47	1,04	23,09	0,69	0,66	21,85	0,03	0,08	1,44	100,00
Среднее	51,15	0,21	0,46	1,12	21,98	0,63	0,62	22,40	0,02	0,10	1,31	100,00
Станд. отклонение	0,67	0,11	0,06	0,07	1,00	0,06	0,05	0,64	0,03	0,03	0,12	
Макс.	51,72	0,32	0,51	1,17	23,09	0,69	0,66	23,10	0,05	0,14	1,44	
Мин.	50,42	0,10	0,40	1,04	21,14	0,58	0,57	21,85	0,01	0,08	1,21	

Өңдеу параметрлері: Стехиометрия арқылы оттегі (қалыпқа келтірілген)

Барлық нәтижелер қосылыстармен %

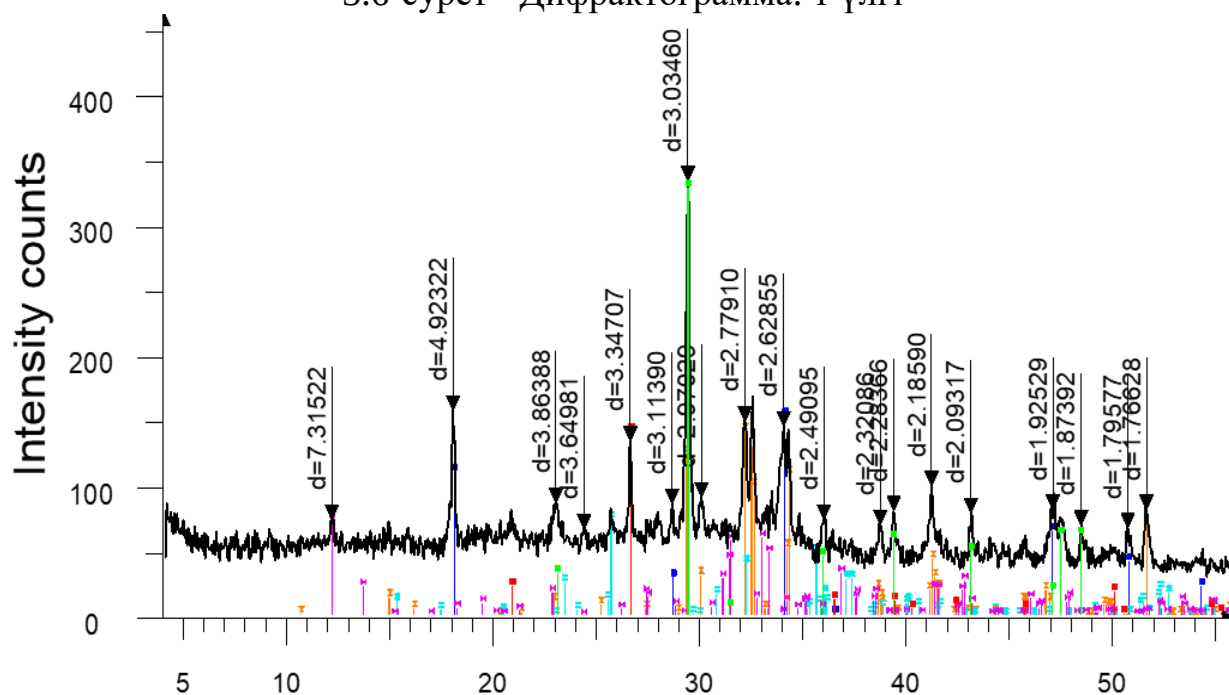
Спектр	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	Итог
Спектр 1	0,15	0,96	2,55	52,79	1,83	0,88	38,57	0,09	0,21	1,96	100,00
Спектр 2	0,49	0,75	2,52	54,37	1,78	0,82	37,28	0,01	0,14	1,86	100,00
Спектр 3	0,34	0,87	2,22	55,98	2,03	0,92	35,32	0,06	0,12	2,14	100,00
Среднее	0,33	0,86	2,43	54,38	1,88	0,87	37,06	0,05	0,16	1,99	100,00
Станд. отклонение	0,17	0,10	0,18	1,59	0,13	0,05	1,63	0,05	0,05	0,14	
Макс.	0,49	0,96	2,55	55,98	2,03	0,92	38,57	0,09	0,21	2,14	
Мин.	0,15	0,75	2,22	52,79	1,78	0,82	35,32	0,01	0,12	1,86	



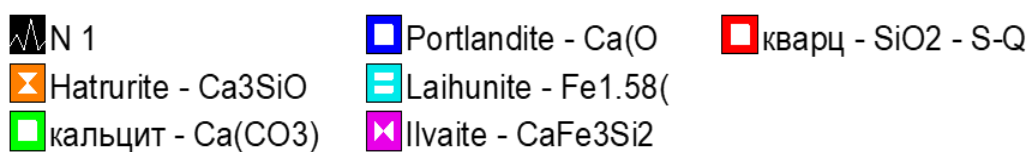
2-Theta - Scale



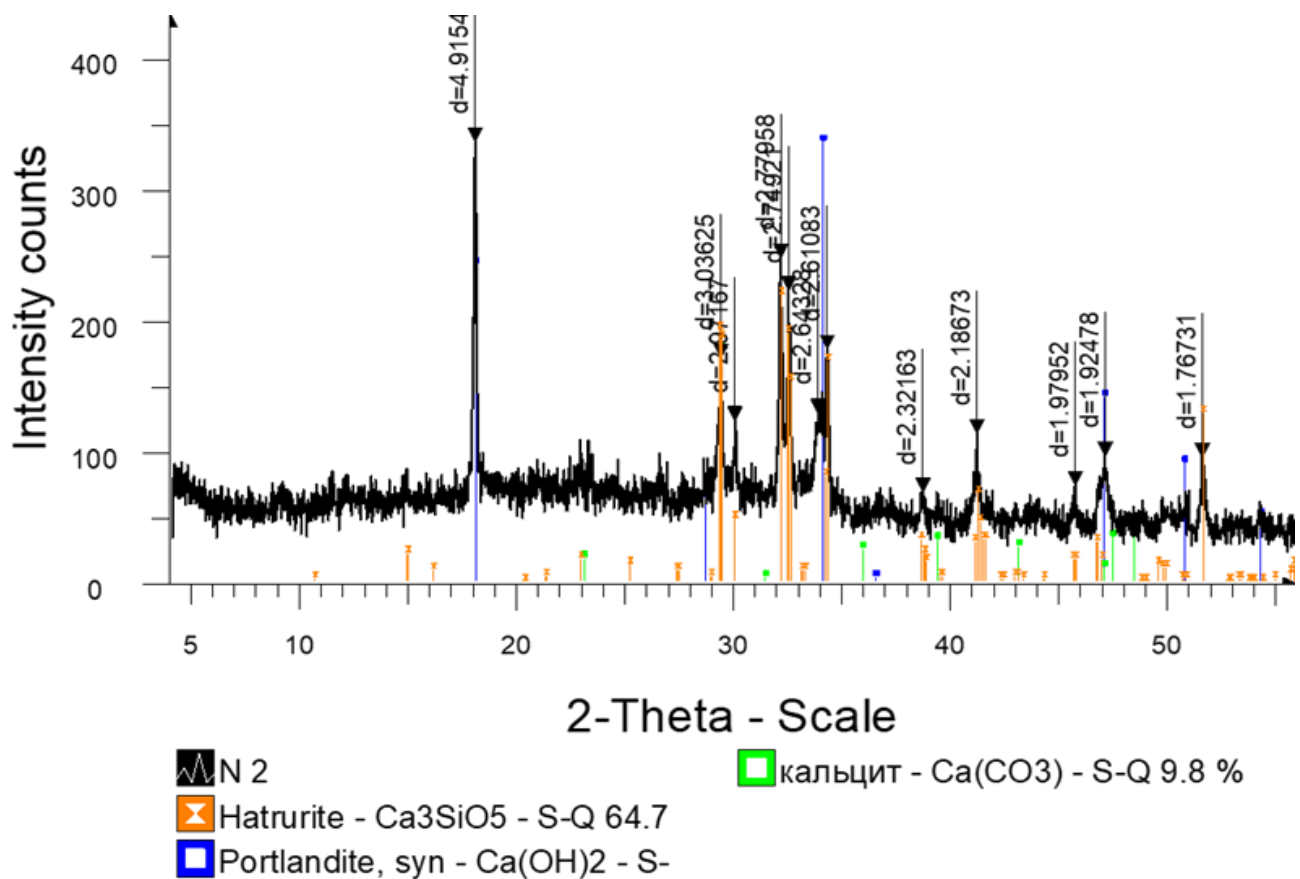
3.6-сурет - Дифрактограмма: 1 үлгі



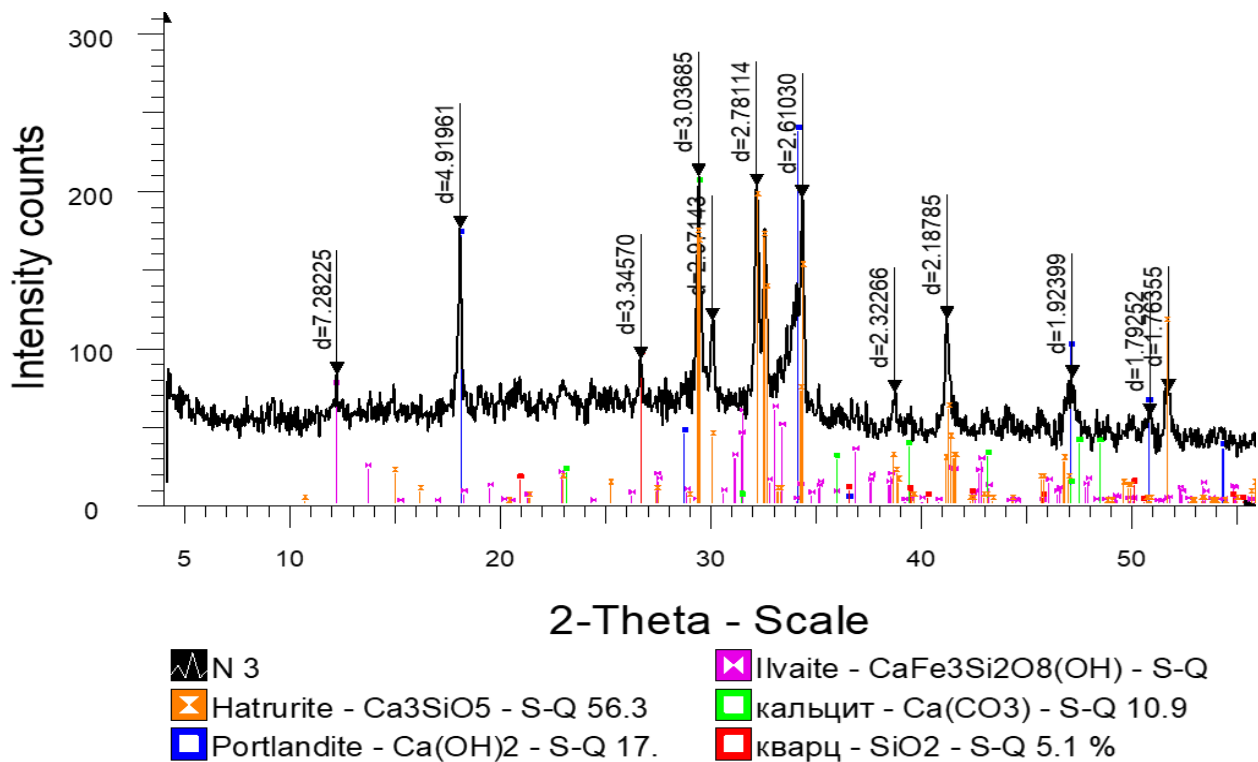
2-Theta - Scale



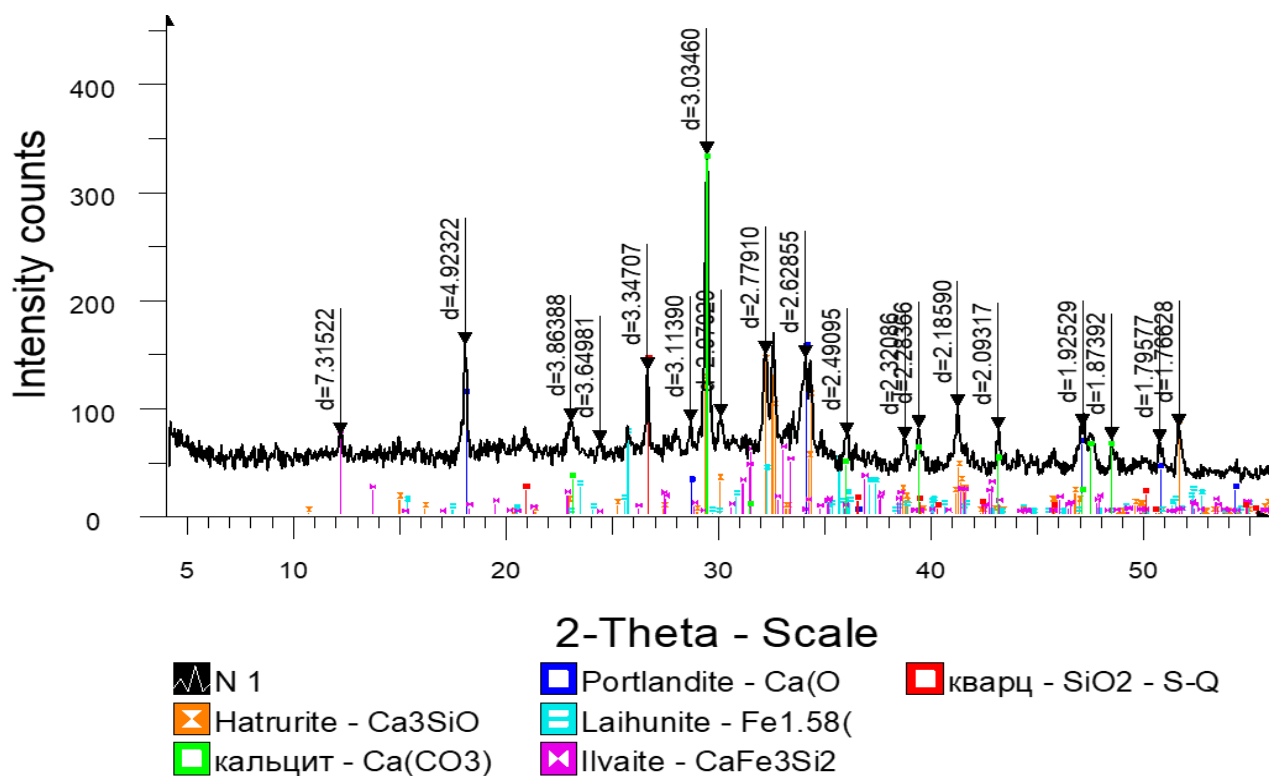
3.7-сурет - Дифрактограмма: 2 үлгі



3.8-сурет - Дифрактограмма: 3 үлгі



3.9-сурет - Дифрактограмма: 4 үлгі



3.10-сурет - Дифрактограмма: 5 үлгі

Калибрлеу қисықтары мен дифракциялық үлгілер шағылысу қарқындылығы әдісін қолдану арқылы құрастырылды. Бұл қисықтардың абсцисса осі минералдардың аналитикалық сызықтарының қарқындылық қатынасын, ал ординаталық осі сәйкес минералдардың массалық үлестерін білдіреді. Бұл қисықтар минералды құрамды сандық талдаудың маңызды құралы болып табылады және үлгідегі әртүрлі минералдардың пропорцияларын анықтауға мүмкіндік береді (3.6-3.11 суреттерде көрсетілген).

3.6-3.10 суреттерде көрсетілген үлгілердің дифрактограммалар талдау келесі қосылыстардың бар екенін көрсетті:

1. 1 үлгі: ақ $\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$ ($\text{\AA}$ 7.28225, 4.92200, 4.26186, 3.65168 параметрлерімен), кварц SiO_2 ($\text{\AA}$ 3.34633 параметрлерімен), кальцит $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ ($\text{\AA}$ 3.03592, 2.97138 параметрлерімен) және хатрурит Ca_3SiO_5 ($\text{\AA}$ 2.77834, 2.74688, 2.69319, 2.63180, 2.60895, 2.32382, 2.20161, 2.18602 параметрлерімен, 2.17039, 2.05076, 1.98012, 1.93646, 1.92550, 1.79682, 1.76653).

3.6-суретте көрсетілген портландцементтің кристалдық фазаларының жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері үлгі құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Компоненттердің құрамының кему ретімен портландцементтегі негізгі фазалар: құрамында 62,1% болатын хатрурит (Ca_3SiO_5), құрамында 15,7% болатын портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), құрамында 9,3% болатын илвит ($\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$), құрамында 7,1% болатын кальцит ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) және құрамында 5,8% болатын кварц (SiO_2) болып табылады.

Портландцементтің рентгендік дифракциялық талдауы кальций карбонатының айтарлықтай жоғары мөлшерін анықтады. Бұл бақылауды цемент

гидратациясы кезінде түзілген бос кальций гидроксидінің карбонизациясымен түсіндіруге болады.

2. 2 үлгі: кальций-алюминий силикаты Ca-Al-Si-O (параметрлері 9,69674 Å), илваитит CaFe₃Si₂O₈(OH) (параметрлері 7,31601), Ca-Al-Si-O (параметрлері 7,31601), Ca-Al-Si-O (параметрлері 7,31601) 4,92846 Å), кальцит Ca(CO₃) (параметрлері 3,03690 Å; 2,97104 Å) және хатрурит Ca₃SiO₅ (2,77931 Å; 2,74854 Å; 2,74854 Å; 56,Å4; 56,03; 56,02. 2,61132 Å 2,18640 Å; 1.93582 Å; 1.76566 Å).

3.7-суретте көрсетілген портландцементтің кристалдық фазаларының жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері үлгінің құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Үлгідегі негізгі фазалар, құрамдас бөліктердің кему ретімен, келесідей: 67,7% хатрурит (Ca₃SiO₅), 9,5% илваитит (CaFe₃Si₂O₈(OH)), 9,1% портландит (Ca(OH)₂), 5,5% кальцит (Ca(CO₃)), 4,6% кальций-алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) және 3,6% кварц (SiO₂).

3. 3 үлгі: кальций алюминий силикаты Ca-Al-Si-O (параметрлері 9,74427 Å), ильваитит CaFe₃Si₂O₈(OH) (7,31522 Å² параметрлерімен), Ca-Al-Si-O₈(OH) (7,31522 Å²), портландит 139(Å⁵); 5. параметрлері 4,92913 Å 3,88441 Å; 3,11004 Å), кальцит Ca(CO₃) (параметрлері 3,03990 Å; 2,97257 Å) және хатрурит Ca₃SiO₅ (Å784; Å 2,69621 Å; 2,61228 Å; 2.32079 Å); 2.18843; 2.04862; 1.93799; 1.92864; 1.79720; 1.76748).

3.8-суретте көрсетілген портландцементтің кристалдық фазаларының жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері үлгінің құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Үлгідегі негізгі фазалар, құрамдас бөліктердің кему ретімен, мыналар: құрамында 61,9% болатын хатрурит (Ca₃SiO₅), құрамында 14,5% болатын портландит (Ca(OH)₂), құрамында 9,4% болатын илваитит (CaFe₃Si₂O₈(OH)), құрамында 5,0% болатын кальцит (Ca(CO₃)), құрамында 6,0% болатын кальций алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) және құрамында 3,2% болатын кварц (SiO₂).

4. 4 үлгі: ильвит CaFe₃Si₂O₈(OH) (параметрлері 7,31522 Å), портландит Ca(OH)₂ (параметрлері 4,92118 Å; 3,87664 Å²³, кварт 23,33) Å), кальцит Ca(CO₃) (параметрлері 3,03588 Å; 2,97133 Å) және хатрурит Ca₃SiO₅ (2,77722 Å; 2,74802 Å; 2,69303 Å^{02.Å2;Å3;Å7;Å21}; 2,77722 параметрлермен); Å 2,18700 Å; 1,79720 Å;

3.9-суретте көрсетілген портландцементтің кристалдық фазаларының жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері үлгі құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Үлгідегі негізгі фазалар, компоненттік құрамының кему ретімен, келесідей: құрамында 56,2% болатын хатрурит (Ca₃SiO₅), құрамында 15,3% болатын портландит (Ca(OH)₂), құрамында 9,9% болатын илваитит (CaFe₃Si₂O₈(OH)), құрамында 5,2% болатын кальцит (Ca(CO₃)), құрамында 6,3% болатын кальций-алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) және құрамында 7,1% болатын кварц (SiO₂).

5. 5 үлгі: кальций алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) (параметрлері 9,70743 Å), ильваитит CaFe₃Si₂O₈(OH) (параметрлері 7,31522 Å(OH)), portlandite (параметрі 7,31522 Å), portlandite₂₉. Å; 3,87751 Å 3,10988 Å), кальцит Ca(CO₃) (параметрлері 3,03638 Å; 2,97136 Å) және хатрурит Ca₃SiO₅ (2,77963 Å^{2,2;2,28}

параметрлері бар); $\text{\AA}$ 2,62739 $\text{\AA}$; 2,32332 $\text{\AA}$; 1,98024 $\text{\AA}$); 1,93568; 1,92968; 1,79638; 1.76690).

3.10-суретте көрсетілген портландцементтің кристалдық фазаларының жартылай сандық рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері үлгінің құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Үлгідегі негізгі фазалар, құрамдас бөліктердің құрамының кему ретімен, келесідей: құрамында 10,1% болатын хатрурит (Ca_3SiO_5), құрамында 15,6% болатын портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), құрамында 9,4% болатын ильваит ($\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$), құрамында 5,3% болатын кальцит ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$), құрамында 6,4% болатын кальций алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) және құрамында 3,4% болатын кварц (SiO_2).

Салыстырылған үлгілердің дифракциялық үлгілерін талдау бірнеше қосылыстардың бар екенін көрсетті. 1. Бақылау (тасымалдаушы) үлгісінде иллюит ($\text{CaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})$), кварц (SiO_2), кальцит ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) және гатрурит (Ca_3SiO_5) бар екені анықталды. Әртүрлі пайызбен қосылған 2, 3, 4 және 5 үлгілерде де осы қосылыстар, сондай-ақ кальций алюминий силикаты (Ca-Al-Si-O) болды. Қосылған үлгілерде әр фазаның құрамы кейбір өзгерістерді көрсетті (2, 3, 4 және 5 үлгілер), бірақ жалпы үрдіс шамамен бірдей болып қалды. Осылайша, талдау үлгілерде әртүрлі фазалардың бар екенін растайды, гатрурит, портландит және иллюит негізгі фазалар болып табылады, олар әр үлгіде айтарлықтай үлесті құрайды. Кальций алюминий силикаты, кальцит және кварц та болды, бірақ олардың құрамы үлгі түріне және қоспаның пайызына байланысты өзгеріп отырды. Бұл нәтижелер үлгілердің құрамы мен құрылымын түсіну үшін маңызды, бұл жаңа материалдарды әзірлеуде және цемент өнімдерінің қасиеттерін жақсартуда пайдалы болуы мүмкін.

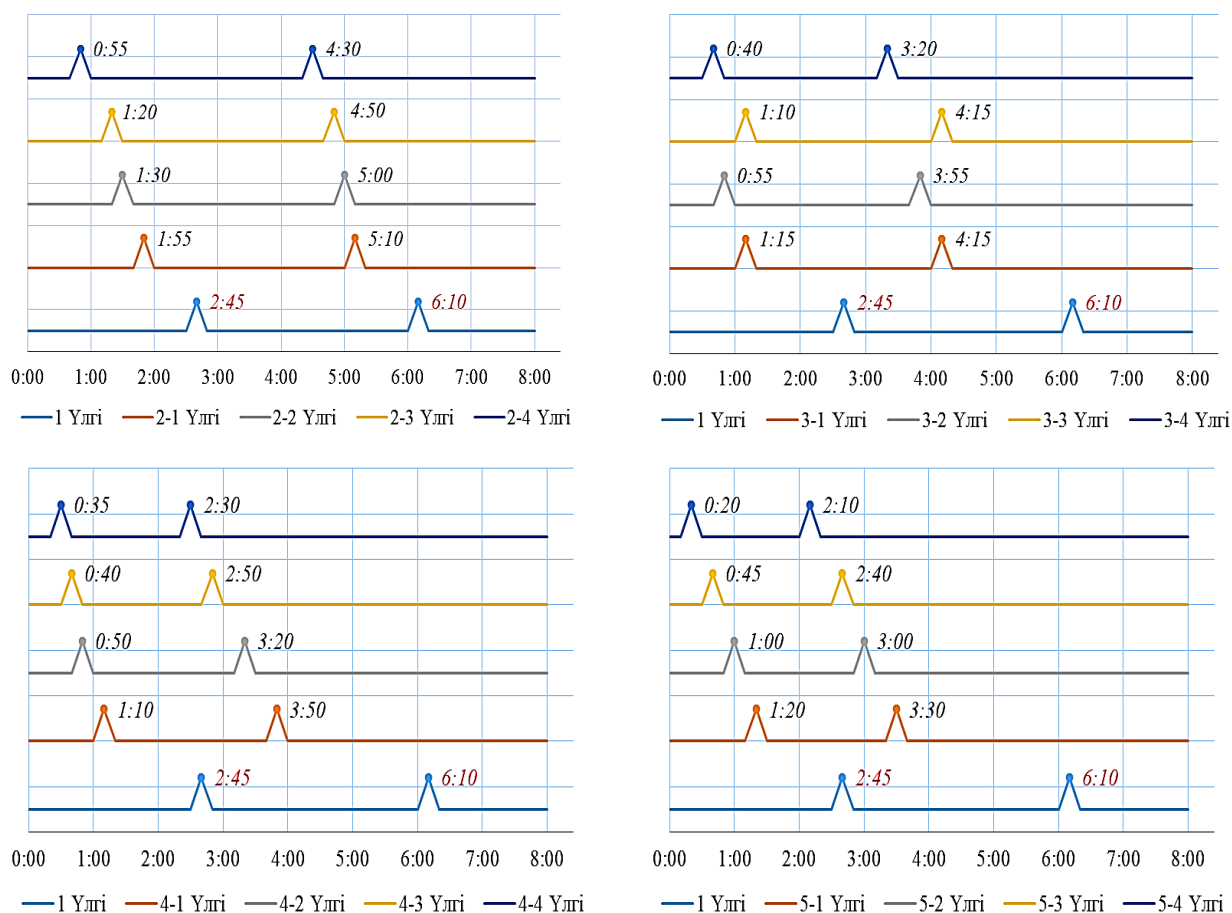
Талдау көрсеткендей, қоспасы бар үлгілердегі кальций гидроксиді мөлшері 9,5%-дан 15,6%-ға дейін өзгеріп отырды, ең жоғары мөлшері (15,6%) 5-үлгіде байқалды. Цементтің гидратациясы беріктену процесінде және материалдың берік құрылымының қалыптасуында маңызды рөл атқарады. Қатайтатын таста клинкер минералдарының гидролизі нәтижесінде пайда болған кальций гидроксиді ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) мөлшерінің артуы цементтің гидратациясының жеделдетілгенін көрсетеді. Осылайша, қоспа қатаю тасындағы кальций гидроксиді мөлшерінің артуына ықпал етеді, бұл цементтің гидратация процесінің белсендірілгенін көрсетеді. Сонымен қатар, қоспа болған кезде Ca_3SiO_5 фазасының мөлшері 1,5 есе азаяды. Бұл осы қоспаны қолданған кезде Ca_3SiO_5 фазасының толық гидратацияланғанын көрсетеді. Қоспаның бастапқы клинкер минералдарымен әрекеттесуі бұл фазаның тиімдірек гидратациялануына ықпал ете алады, бұл өз кезегінде материалдың физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартады.

3.4.2 Цемент қоспасының ұстасу мерзімін әсері

Бұл зерттеуде цемент қоспасының қалыпты консистенциясы мен ұстасу мерзімін әсерін, сондай-ақ оның өнімділік қасиеттеріне әсер ететін бетон қоспасының негізгі параметрлерін бағалау жүргізілді. Бастапқыда тәжірибелер

қоспаның цемент қоспасының қалыпты консистенциясына әсерін талдады, содан кейін оның ұстасу мерзімін әсерін зерттеді. Тәжірибелік нәтижелер қоспаны қолданған кезде қоспаның реологиялық қасиеттері мен оның ұстасу мерзімін жылдамдығындағы мүмкін өзгерістер туралы түсінік берді [185-187].

Тәжірибеде цемент, қоспа және судың 17 араластыру қатынасы қолданылды. Бақылау үлгісі (1-үлгі) тек цемент пен судан тұрды. Бақылау үлгісіндегі цемент пен судың мөлшері сәйкесінше 350 г және шамамен 98 г болды. Қоспаның үлесін біртіндеп арттыру арқылы цемент пен су көлемі азайды, ал қоспа көлемі артты, бұл қоспалардың цемент қоспасының қасиеттеріне әсерін зерттеуге мүмкіндік берді. Қоспа мөлшерінің артуымен қалыпты консистенцияның тұрақты төмендеуі байқалды, 25,3%-дан 17,5%-ға дейін. Цемент қоспасы үлгісінің қалыпты консистенциясы 28,0%-ды құрағанын атап өткен жөн. Сонымен қатар, су шығынының 9,6%-дан 37,5%-ға дейін төмендегені байқалды. Бұл нәтижелер әзірленген қоспаның жоғары су өткізбейтін қасиеттері бар екенін көрсетеді, бұл су-цемент қатынасына айтарлықтай әсер етпестен су шығынын азайтуға мүмкіндік береді.



3.11-сурет - Цемент қоспаларын ұстасу мерзімін нәтижелері

Қоспаларды пайдалану цемент қоспасының кату уақытын өзгертеді, бұл 3.11-суретте көрсетілген. 3.11-суретте кату уақытының диаграммасы көрсетілген, мұнда бірінші шың қатаюдың басталуына, ал екіншісі оның соңына

сәйкес келеді. Салыстырылған құрамдар төменнен жоғары қарай өсу ретімен орналастырылған, қызыл түс қоспасыз бақылау үлгісін білдіреді (стандартты). Қоспаларды қосу қатаюдың басталу және аяқталу уақытын азайтады, бұл бетон бұйымдарын өндіруді жеделдету үшін практикалық маңызды.

Деректерді салыстырмалы талдау келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік береді:

№	Үлгілер	Басталуы	Аяқталуы
1.	Қоспасыз 1 үлгі	2 сағат 45 минут	6 сағат 10 минут
2.	Құрамында 1% гипс және 2,5% қоспасы (СКБ) бар 2-1 үлгі	1 сағат 55 минут	5 сағат 10 минут
3.	Құрамында 1% гипс және 5,0% қоспасы (СКБ) бар 2-2 үлгі	1 сағат 30 минут	5 сағат 00 минут
4.	Құрамында 1% гипс және 7,5% қоспасы (СКБ) бар 2-3 үлгі	1 сағат 20 минут	4 сағат 50 минут
5.	Құрамында 1% гипс және 10,0% қоспа (СКБ) бар 2-4 үлгі	55 минут	4 сағат 30 минут
6.	Құрамында 1,5% гипс және 2,5% қоспа (СКБ) бар 3-1 үлгі	1 сағат 15 минут	4 сағат 15 минут
7.	Құрамында 1,5% гипс және 5,0% қоспа (СКБ) бар 3-2 үлгі	55 минут	3 сағат 55 минут
8.	Құрамында 1,5% гипс және 7,5% қоспа (СКБ) бар 3-3 үлгі	1 сағат 10 минут	4 сағат 15 минут
9.	Құрамында 1,5% гипс және 10,0% қоспа (СКБ) бар 3-4 үлгі	40 минут	3 сағат 20 минут
10.	Құрамында 2,0% гипс және 2,5% қоспа (СКБ) бар 4-1 үлгі	1 сағат 10 минут	3 сағат 50 минут
11.	Құрамында 2,0% гипс және 5,0% қоспа (СКБ) бар 4-2 үлгі	50 минут	3 сағат 20 минут
12.	Құрамында 2,0% гипс және 7,5% қоспа (СКБ) бар 4-3 үлгі	40 минут	2 сағат 50 минут
13.	Құрамында 2,0% гипс және 10,0% қоспа (СКБ) бар 4-4 үлгі	35 минут	2 сағат 30 минут
14.	Құрамында 2,5% гипс және 2,5% қоспа (СКБ) бар 5-1 үлгі	2 сағат 45 минут	6 сағат 10 минут
15.	Құрамында 2,5% гипс және 5,0% қоспа (СКБ) бар 5-2 үлгі	55 минут	3 сағат 55 минут
16.	Құрамында 2,5% гипс және 7,5% қоспа (СКБ) бар 5-3 үлгі	1 сағат 00 минут	3 сағат 00 минут
17.	Құрамында 2,5% гипс және 10,0% қоспа (СКБ) бар 5-4 үлгі	20 минут	2 сағат 10 минут

3.12-суреттегі графиктерді талдау цементті композиттердің қатуына қоспалардың әртүрлі әсер ететінін көрсетеді. Қоспаларды қосу ертерек қату

уақытына әкеледі, 20 минуттан 1 сағат 55 минутқа дейін, ал қоспасыз композитте (1-үлгі) қату 2 сағат 45 минуттан кейін басталады. Цемент композитіне қосылған қоспалар қату процесіне ұқсас әсер етеді, бірақ олардың тиімділігі әртүрлі. Қату уақытының 40%-ға қысқаруы құрылыс жұмыстарын жеделдетеді, себебі цемент композиттері қажетті беріктік пен тұрақтылыққа тезірек жетеді. Қату уақытының бұл айтарлықтай қысқаруы цемент пастасы жұмыс істеу мерзімін сақтай отырып, соңғы қату уақытын қысқарту арқылы жүзеге асырылады. Бұл қоспалары бар цемент композиттері қоспалардың құрамына байланысты сумен араластырғаннан кейін бақыланатын уақыт ішінде пластиктенген күйді сақтай алатынын және қолданғаннан кейін тез қата алатынын білдіреді [185-187].

Алынған нәтижелерді талдай отырып, цемент-ерітінді қоспасындағы қоспаның максималды пластификациялау әсері цемент массасының 5-7,5% (СКБ) және 1,5-2% (гипс) концентрациясында қол жеткізіледі деген қорытынды жасауға болады. Қоспаны ерітінді қоспасына қосу пластификациялау әсеріне әкеледі, бұл су-цемент қатынасын бақылау құрамымен салыстырғанда 10,71-39,28%-ға төмендетуге мүмкіндік береді. Қоспа концентрациясы артқан сайын суды тотықсыздандыратын әсердің артуы байқалады, бұл ΔV мәнінің 0,28-ден 0,17-ге дейін артуында көрінеді.

Цемент пастасы пластификациясының әсері дисперсті цемент бөлшектерінің бетіне гидрофобты молекулалардың адсорбциясымен түсіндіріледі. Бұл бөлшектердің қозғалғыштығының жақсаруына, ішкі үйкелістің төмендеуіне және ерітіндінің сұйықтығының артуына әкеледі. Осылайша, қоспалар қоспадағы судың тиімдірек таралуын қамтамасыз етеді, бұл материалдың жұмысқа қабілеттілігі мен өнімділігінің артуына ықпал етеді. Әзірленген КМҚ пайдалану материалдың қатаю процесін айтарлықтай жеделдете алады, бұл өз кезегінде қалыптарды алу уақытын қысқартады және бұрғыланған қада құрылысының тиімділігін арттырады. Алынған деректер бұл тәсілдің тиімділігін және оны құрылыс тәжірибесінде қолдану мүмкіндігін растайды. Сонымен қатар, ерітінді қоспаларының қатаю уақыты қоспаның концентрациясына айтарлықтай байланысты. Қоспаның цемент массасына қатысты концентрациясының артуымен цемент ерітіндісінің сұйылту процесінде өзгерістер болады, бұл цемент пастасы қатайту және қатайту уақытына әсер етеді. Қоспаның жоғары концентрациясы цементтің жылдам қатаюына және қатайуына әкеледі. Қоспаның концентрациясының артуы цемент тасының сығылу беріктігінің артуына да ықпал ететінін атап өту маңызды [185-187].

4 МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

4.1 Зерттеу әдістері

4.1.1 Бетонның сығылу беріктігін анықтау

Бұл зерттеуде бетон қоспасының беріктік критерийлері MEMСТ 10180-2012 «Бетон. Бақылау үлгілерін пайдаланып беріктікті анықтау әдістері» талаптарына сәйкес 100 x 100 x 100 мм текше үлгілерді сығылу сынағы арқылы анықталды. Әрбір үлгі түрі үшін алты үлгі дайындалды. Үлгілер әртүрлі катаю кезеңдерінен кейін, соның ішінде 3, 7, 14, 21 және 28 күн сыналды. Беріктік сынақтары 4.1-суретте көрсетілгендей, автоматтандырылған ұшқыш масштабты прес жабдығын пайдаланып зертханалық жағдайда жүргізілді.



4.1-сурет - Бетонның сығылу беріктігі сынағы

4.1.2 Бетонның су сіңіруін анықтау

Бұл зерттеуде бетон үлгілерінің су сіңіруі MEMСТ12730.3-2020 «Бетон. Су сіңіруін анықтау әдісі» (4.2-сурет) талаптарына сәйкес үлгі массасын өлшеу арқылы бағаланды.



4.2-сурет - Бетонның су сіңіру сынағы

4.1.3 Бетонның аязға төзімділігін анықтау

Бұл зерттеуде бетон үлгілерінің аязға төзімділігі (F) МЕМСТ 10060-2012 «Бетон. Аязға төзімділікті анықтау әдістері» (4.3-сурет) стандартына сәйкес сыйымдылығы 550 литр болатын 10-D1429/A «Басқару» климаттық камерасын пайдаланып бағаланды.



4.3-сурет - Бетонның аязға төзімділігін тексеру

4.1.4 Бетонның коррозияға төзімділігін анықтау

Бұл зерттеуде агрессивті ортадағы бетонның коррозияға төзімділігі дайындалған бетон үлгілерін сынау арқылы бағаланды. Беріктік сынақтары Press Automatic Pilot жабдығын пайдаланып, 14, 28 және 60 күнді қоса алғанда, әртүрлі уақыт аралықтарында жүргізілді (4.4-сурет).

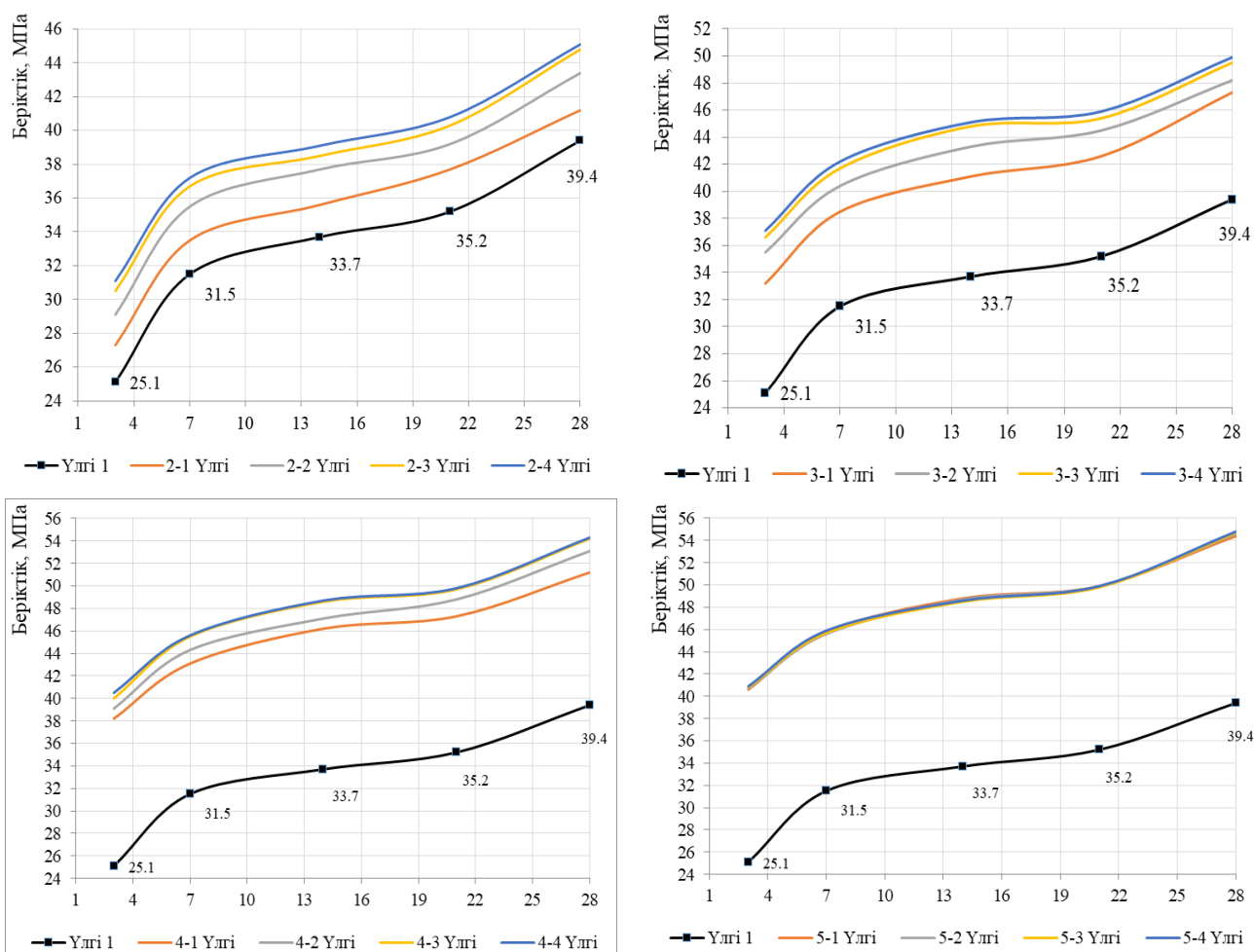


4.4-сурет - Сынақ үлгілері

4.2 Бетон құрамының әсерін зерттеу нәтижелері

4.2.1 Бетон қоспаларының беріктік сипаттамалары

Зерттеулер барысында [185, 188, 192] цемент шығыны әртүрлі екі түрлі бетон үлгілері алынды. Бірінші түрі қоспасыз эталондық үлгі болды (1-үлгі), ал екінші түрі қоспалары бар 16 түрлі құрамды қамтыды (2-1...5-4 үлгілері ретінде белгіленген). Әзірленген құрамдар бетон қоспасына қосылған қоспаның пайыздық үлесі бойынша ерекшеленді. Бетонның жоғары беріктік класына қол жеткізуге бағытталған құрамдарды әзірлеу кезінде қоспа енгізу арқылы су шығыны азайтылды. Бұл әсерге су-цемент қатынасын төмендету арқылы қол жеткізілді ($c/c = 0,56$). Әзірленген бетон құрамдары үшін есептелген беріктік класы B35 (M450) болды, ал қажетті ең аз беріктік 39,4 МПа болды. 4.5-суретте бетон үлгілерінің сығылу беріктігінің катаю уақытына қатысты график көрсетілген.



4.5-сурет - Бетон үлгілерінің 3, 7, 14 және 28 күннен кейінгі сығылу беріктігі

Зерттеуде қоспа қосылған үлгілердің беріктігі 3, 7, 14 және 28 күннен кейін зерттелді:

№	Үлгілер	3 күннен кейінгі қысу беріктігі	7 күннен кейінгі қысу беріктігі	14 күннен кейінгі қысу беріктігі	21 күннен кейінгі қысу беріктігі	28 күннен кейінгі қысу беріктігі
1.	Қоспасы з 1 үлгі	$R_{сж} = 25,1$ МПа	$R_{сж} = 31,5$ МПа	$R_{сж} = 33,7$ МПа	$R_{сж} = 35,2$ МПа	$R_{сж} = 39,4$ МПа
2.	2-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 27,3$ МПа $\Delta R = 8,76\%$	$R_{сж} = 33,5$ МПа $\Delta R = 6,34\%$	$R_{сж} = 35,6$ МПа $\Delta R = 5,63\%$	$R_{сж} = 37,7$ МПа $\Delta R = 7,11\%$	$R_{сж} = 41,2$ МПа $\Delta R = 4,56\%$
3.	2-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 29,1$ МПа $\Delta R = 15,93$ %	$R_{сж} = 35,5$ МПа $\Delta R = 12,69\%$	$R_{сж} = 37,7$ МПа $\Delta R = 11,86\%$	$R_{сж} = 39,2$ МПа $\Delta R = 11,36\%$	$R_{сж} = 43,4$ МПа $\Delta R = 10,15$ %
4.	2-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 30,5$ МПа $\Delta R = 21,51$ %	$R_{сж} = 36,7$ МПа $\Delta R = 12,74$ %	$R_{сж} = 38,5$ МПа $\Delta R = 14,24$ %	$R_{сж} = 40,3$ МПа $\Delta R = 14,48$ %	$R_{сж} = 44,8$ МПа $\Delta R = 13,7\%$
5.	2-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 31,1$ МПа $\Delta R = 23,9\%$	$R_{сж} = 37,2$ МПа $\Delta R = 18,09$ %	$R_{сж} = 39,1$ МПа $\Delta R = 16,02$ %	$R_{сж} = 40,8$ МПа $\Delta R = 15,9\%$	$R_{сж} = 45,1$ МПа $\Delta R = 14,46$ %
6.	3-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 33,2$ МПа $\Delta R = 32,27$ %	$R_{сж} = 38,5$ МПа $\Delta R = 22,22$ %	$R_{сж} = 41,1$ МПа $\Delta R = 21,95$ %	$R_{сж} = 42,6$ МПа $\Delta R = 21,02$ %	$R_{сж} = 47,3$ МПа $\Delta R = 20,05$ %
7.	3-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 35,5$ МПа $\Delta R = 41,43$ %	$R_{сж} = 40,4$ МПа $\Delta R = 28,25$ %	$R_{сж} = 43,3$ МПа $\Delta R = 28,48$ %	$R_{сж} = 44,5$ МПа $\Delta R = 26,42$ %	$R_{сж} = 48,2$ МПа $\Delta R = 22,33$ %
8.	3-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 36,6$ МПа $\Delta R = 45,81$ %	$R_{сж} = 41,7$ МПа $\Delta R = 32,8\%$	$R_{сж} = 44,8$ МПа $\Delta R = 32,93$ %	$R_{сж} = 45,4$ МПа $\Delta R = 28,97$ %	$R_{сж} = 49,5$ МПа $\Delta R = 25,63$ %
9.	3-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 37,1$ МПа $\Delta R = 47,8\%$	$R_{сж} = 42,2$ МПа $\Delta R = 33,96$ %	$R_{сж} = 45,1$ МПа $\Delta R = 33,82$ %	$R_{сж} = 45,9$ МПа $\Delta R = 30,39$ %	$R_{сж} = 49,9$ МПа $\Delta R = 26,64$ %
10.	4-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 38,2$ МПа $\Delta R = 52,19$ %	$R_{сж} = 43,1$ МПа $\Delta R = 36,82$ %	$R_{сж} = 46,2$ МПа $\Delta R = 37,09$ %	$R_{сж} = 47,3$ МПа $\Delta R = 34,37$ %	$R_{сж} = 51,2$ МПа $\Delta R = 29,94$ %

11.	4-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 39,1$ МПа $\Delta R=55,77$ %	$R_{сж} = 44,3$ МПа $\Delta R=40,63$ %	$R_{сж} = 47,1$ МПа $\Delta R=39,76$ %	$R_{сж} = 48,8$ МПа $\Delta R=38,63$ %	$R_{сж} = 53,1$ МПа $\Delta R=34,77$ %
12.	4-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40$ МПа $\Delta R=59,36$ %	$R_{сж} = 45,5$ МПа $\Delta R=44,44$ %	$R_{сж} = 48,6$ МПа $\Delta R=44,21$ %	$R_{сж} = 49,7$ МПа $\Delta R=41,19$ %	$R_{сж} = 54,2$ МПа $\Delta R=37,56$ %
13.	4-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,5$ МПа $\Delta R=61,35$ %	$R_{сж} = 45,6$ МПа $\Delta R=44,76$ %	$R_{сж} = 48,7$ МПа $\Delta R=44,51$ %	$R_{сж} = 49,8$ МПа $\Delta R=41,47$ %	$R_{сж} = 54,3$ МПа $\Delta R=37,81$ %
14.	5-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,6$ МПа $\Delta R=61,75$ %	$R_{сж} = 45,8$ МПа $\Delta R=45,39$ %	$R_{сж} = 48,8$ МПа $\Delta R=44,8\%$	$R_{сж} = 49,9$ МПа $\Delta R=41,76$ %	$R_{сж} = 54,4$ МПа $\Delta R=38,07$ %
15.	5-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,7$ МПа $\Delta R=62,15$ %	$R_{сж} = 45,6$ МПа $\Delta R=44,76$ %	$R_{сж} = 48,7$ МПа $\Delta R=44,5\%$	$R_{сж} = 49,9$ МПа $\Delta R=41,76$ %	$R_{сж} = 54,6$ МПа $\Delta R=38,57$ %
16.	5-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,8$ МПа $\Delta R=62,54$ %	$R_{сж} = 45,7$ МПа $\Delta R=45,07$ %	$R_{сж} = 48,5$ МПа $\Delta R=43,91$ %	$R_{сж} = 49,8$ МПа $\Delta R=41,47$ %	$R_{сж} = 54,7$ МПа $\Delta R=38,83$ %
17.	5-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,9$ МПа $\Delta R=62,94$ %	$R_{сж} = 45,9$ МПа $\Delta R=45,71$ %	$R_{сж} = 48,6$ МПа $\Delta R=44,21$ %	$R_{сж} = 49,9$ МПа $\Delta R=41,76$ %	$R_{сж} = 54,8$ МПа $\Delta R=39,08$ %

Зерттеу нәтижелері қоспасыз бақылау үлгілерінің беріктік мәндерінің қатаюдың барлық кезеңдерінде (3, 7, 14, 21 және 28 күн) төмен екенін көрсетті. Бақылау үлгілерінің орташа беріктік мәндері 25,1-ден 39,4 МПа-ға дейін болды. Сонымен қатар, қоспасы бар үлгілер қатаюдың барлық кезеңдерінде (3, 7, 14, 21 және 28 күн) жоғары беріктік көрсетті. Қоспасы бар үлгілердің орташа беріктік мәндері 27,9-дан 54,8 МПа-ға дейін болды. Бұл нәтижелер бетонның беріктік қасиеттері қоспа қосу арқылы айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді [185, 188, 192].

Салыстырмалы талдау қоспасы бар бетонның беріктігінің қоспасы жоқ бақылау үлгісімен салыстырғанда әртүрлі уақыт кезеңдерінде артқанын көрсетеді. 3-ші күні беріктік 8,7-ден 62,94%-ға дейін, 7-ші күні 6,34-тен 45,7%-ға дейін, 14-ші күні 5,63-тен 44,21%-ға дейін, 21-ші күні 7,1-ден 44,76%-ға дейін, ал 28-ші күні 4,56-дан 39,08%-ға дейін артады. Сонымен қатар, 2-1-5-4 үлгілері үшін қоспа мөлшерінің жоғарылауымен беріктіктің біртіндеп артуы байқалады. Атап айтқанда, 5-4 үлгісі 3 күннен кейін беріктіктің 62,94%-ға және 28 күннен

кейін 39,08%-ға артуын қамтамасыз етеді. Цемент салмағының 2,5-10% мөлшерінде (құрғақ зат негізінде есептелген) СКБ (компоненттердің бірі) қосу арқылы алынған бетонның беріктік мәндері әртүрлі болады, бұл оңтайлы мөлшерді мұқият таңдау қажеттілігін көрсетеді. Бұл қоспаның артық немесе жетіспеушілігі қажетті нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік бермейді [185, 188, 192].

Жүргізілген тәжірибелер қоспадағы су мөлшерін азайту стандартты жағдайларда қатаюдың 7 және 28-ші күндерінде бетонның беріктігін айтарлықтай арттыратыны туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Ең тиімді нәтижелерге 5-10% цемент пастасын және 1,5-2,5% гипсті қосу арқылы қол жеткізілді. Дегенмен, қоспа мөлшерінің одан әрі артуы болжамды беріктіктің төмендеуіне және беріктіктің арту жылдамдығының баяулауына әкеледі. Бетон қоспасына қоспа компоненттерінің бірін қосу су шығынын 8,75-35%-ға азайтады. Сонымен қатар, бұл қоспаны қолдану қоспаға гипс қосылған кезде цемент шығынын 1,5-2,5%-ға азайтады. Бұл нәтижелер қоспаның технологиялық тиімділігін және оның бетонның жұмысқа қабілеттілігі мен үнемділігін жақсарту қабілетін көрсетеді. Зерттеу қоспаның бұл түрін қолдану бетонның беріктігін барлық кезеңдерінде арттыратынын, оның гидратация және қатаю процестерін үдеткіш ретіндегі тиімділігін көрсететінін көрсетті. Бақылау беріктігі 39,4 МПа болатын үлгінің беріктік көрсеткіштерін 41,2-54,8 МПа диапазонындағы беріктігі бар ұсынылған құрамдармен салыстыру 2-1-5-4 үлгілерінің сапалық сипаттамалары жоғарырақ деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді [185, 188, 192].

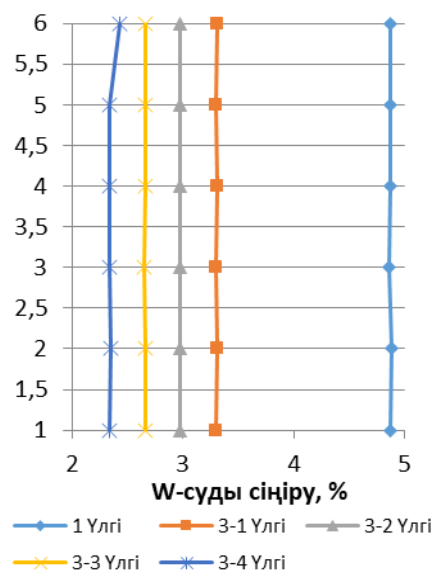
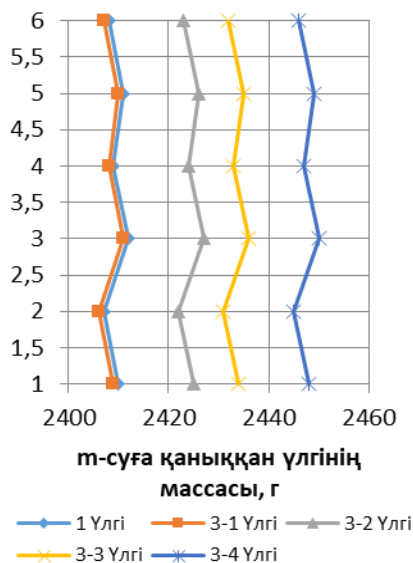
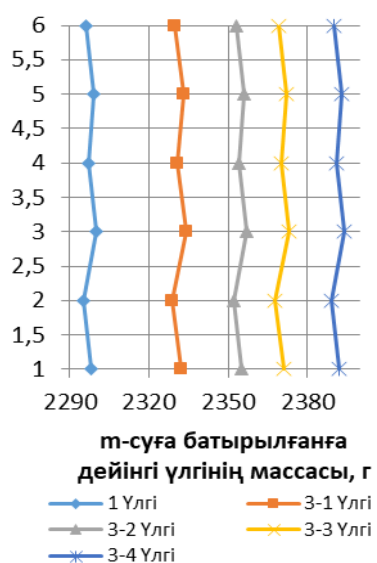
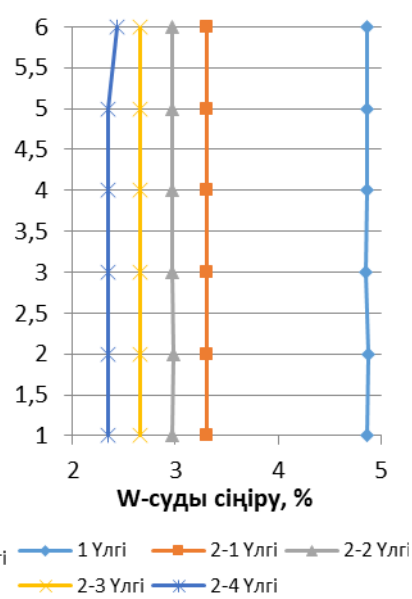
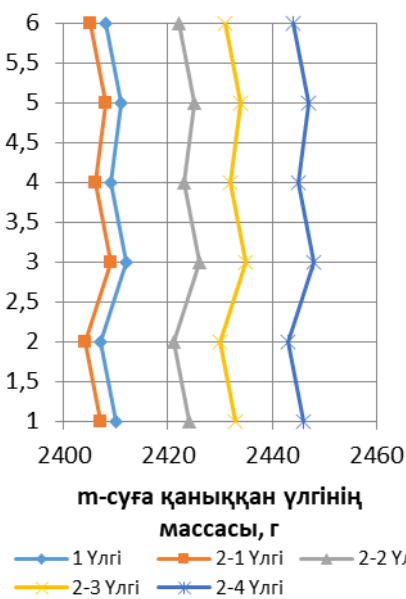
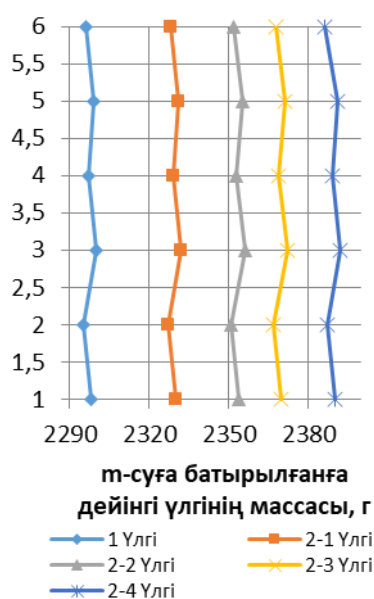
4.2.2 Бетонның су сіңіруі

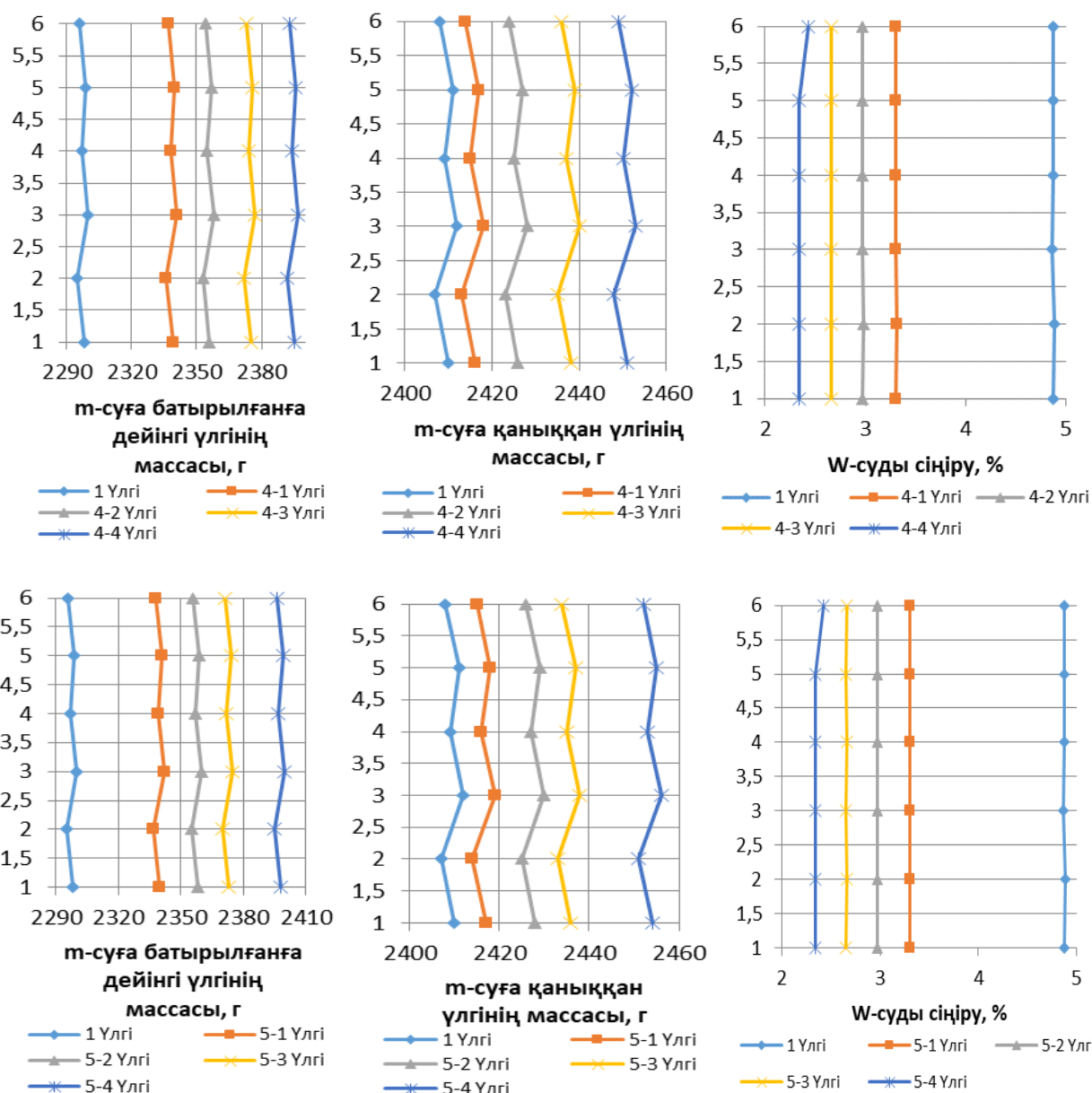
Монолитті қадалардың тұрақтылығын анықтайтын негізгі параметрлердің бірі - бетонның су сіңіруі [185, 192]. Бетон үлгілерінің салмағы бойынша су сіңіру зерттеулерінің нәтижелері материал құрылымында қолданылатын қоспаның тиімді гидрофобтығын растайды. Материалдың кеуектілігін төмендету оның беріктігі мен ылғалға төзімділігіне оң әсер етеді.

Зерттеу барысында әртүрлі үлгілердің су сіңіруі өлшенді, оның нәтижелері 4.6 суреттерде көрсетілген:

№	Үлгілер	m- сұға батырылғанға дейінгі үлгінің массасы, г	m- сұға қаныққан үлгінің массасы, г	W-сұды сіңіру, %
1.	Қоспасыз 1 үлгі	2298	2410	4,87
2.	2-1 қоспасы бар үлгі	2330	2407	3,30
3.	2-2 қоспасы бар үлгі	2354	2424	2,97
4.	2-3 қоспасы бар үлгі	2370	2433	2,66
5.	2-4 қоспасы бар үлгі	2390	2446	2,34
6.	3-1 қоспасы бар үлгі	2332	2409	3,29

7.	3-2 қоспасы бар үлгі	2355	2425	2,34
8.	3-3 қоспасы бар үлгі	2371	2434	2,65
9.	3-4 қоспасы бар үлгі	2392	2448	2,33
10.	4-1 қоспасы бар үлгі	2339	2416	3,30
11.	4-2 қоспасы бар үлгі	2356	2426	2,97
12.	4-3 қоспасы бар үлгі	2375	2438	2,65
13.	4-4 қоспасы бар үлгі	2395	2451	2,34
14.	5-1 қоспасы бар үлгі	2340	2417	3,29
15.	5-2 қоспасы бар үлгі	2358	2428	2,96
16.	5-3 қоспасы бар үлгі	2373	2436	2,64
17.	5-4 қоспасы бар үлгі	2398	2454	2,33





4.6 -сурет - Бетонның су сіңіруі

Қоспамен жасалған тығыз бетон құрылымы материалға судың енуін шектейді және мұздату немесе арматура коррозиясы сияқты ылғалға байланысты зақымдану қаупін азайтады. 4.5 суреттердегі графиктерде бетон үлгілерінің қалыпты қатаюдан 28 күн өткеннен кейінгі су сіңіру деректері көрсетілген.

Деректерді талдау бетондағы қоспаның болуы су сіңірілуінің 2-4 есеге айтарлықтай төмендеуіне әкелетінін көрсетеді, бұл материалдың кеуектілігінің төмендегенін көрсетеді. Бұл қоспамен бетонның өткізгіштігі мен су сіңіру қабілетінің сәтті төмендегенін көрсетеді.

1-үлгі ең жоғары су сіңіру мәнін көрсетті, 4,86-дан 4,88% дейін. Екінші жағынан, 3-4 және 5-4 үлгілерінде су сіңірілуі ең төмен болды, ол 2,33% болды. 2-1 үлгілерінің су сіңіруі 3,30-3,31% аралығында болды. 3-4 және 5-4 үлгілері де ең төмен су сіңіруіне ие болды, 2,33% құрады. 2-2 үлгілерінің су сіңіруі 2,97-

2,98% аралығында болды. 3-4 және 5-4 үлгілері де ең төмен су сіңіруіне ие болды, 2,33% құрады. 2-3 үлгілердің су сіңіруі 2,65-2,66% аралығында болды. 3-4 және 5-4 үлгілері, яғни ескі үлгілер, ең төмен су сіңіру деңгейіне ие болды, 2,33% құрады. 2-4 үлгілерінің су сіңіруі 2,34-2,43% аралығында болды. 3-4 және 5-4 жастағы үлкен топтардан алынған үлгілерде де су сіңіру ең төмен болды, 2,33% құрады.

3-1 үлгілерінің су сіңіруі 3,30-3,31% аралығында болды. 3-4 және 5-4 жастағы ересек топтардан алынған үлгілерде де су сіңіру ең төмен болды, 2,33%. 3-2 үлгілерінің су сіңіруі 2,96-2,97% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды - 2,33%. 3-3 үлгілерінің су сіңіруі 2,65-2,66% аралығында болды. Ескі 3-4 және 5-4 сыныптарының үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды, ол 2,33% құрады. 3-4 үлгілерінің су сіңіруі 2,32-2,33% аралығында ең төмен мәнге ие. 5-4 үлгілері де су сіңіруінің ең төмен деңгейін көрсетеді, ол 2,33% құрайды.

4-1 үлгілерінің су сіңіруі 3,29-3,30% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілері де ең төмен су сіңіру көрсеткішіне ие болды, ол 2,33% құрады. 4-2 үлгілерінің су сіңіруі 2,96-2,97% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды - 2,33%. 4-3 үлгілерінің су сіңіруі 2,65-2,66% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды - 2,33%. 4-4 үлгілерінің су сіңіруі 2,33-2,34% аралығында болды. Ескі үлгілердің 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды - 2,33%.

5-1 үлгілерінің су сіңіруі 3,29-3,30% аралығында болды. 3-4 және 5-4 үлгілері (ересектерде) де су сіңіруі ең төмен болды, 2,33% құрады. 5-2 үлгілерінің су сіңіруі 2,96-2,97% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды, 2,33%. 5-3 үлгілерінің су сіңіруі 2,64-2,66% аралығында болды. Ересектерге арналған 3-4 және 5-4 үлгілерінде де су сіңіру ең төмен болды, 2,33%. 5-4 үлгілерінде су сіңіру ең төмен, 2,33-2,34% аралығында. Сондай-ақ, судың ең төмен сіңірілуі (2,33%) 3-4 үлгілерде байқалады.

Алынған тәжірибелік деректерге сүйене отырып, бетонды СКБ-мен модификациялау су сіңірілуін айтарлықтай төмендететіні анықталды. Бұл төмендеу СКБ-ның пластикаландыру әсеріне байланысты, оның құрамында пластикалықты арттыратын және бетон кеуектеріне судың енуін азайтатын компоненттер бар. Бұл СКБ модификацияланған қоспаның құрамында бетон құрылымында гидрофобты қабықша түзіп, судың енуіне кедергі келтіретіндігімен түсіндіріледі [185, 192].

Салыстырмалы талдау қоспаны қосқанда су сіңірілуінің айтарлықтай төмендегенін көрсетеді. Мысалы, қоспасы бар 2-1 үлгілері су сіңірілуінің 32,23%-ға төмендегенін көрсетті, ал 5-4 үлгілері 52,15%-ға төмендегенін көрсетті. Бұл қоспаның бетон өткізгіштігін төмендетудегі тиімділігін көрсетеді. Қоспа компоненттерінің пайызының артуымен су сіңірілуінің біртіндеп төмендеуі де байқалады. Мысалы, қоспасы бар екі үлгі үшін су сіңірілуінің 32,23%-дан (2-1 үлгі) 51,95%-ға дейін (2-4 үлгі) төмендегені байқалды. Бұл

нәтижелер қоспаның бетонның су сіңіруін төмендетуге айтарлықтай әсерін растайды, бұл өз кезегінде осы материалдың гидрофобтығы мен аязға төзімділігінің артуына әкелуі мүмкін [185, 192].

Нәтижелерді талдау бетон үлгілерінің су сіңіруі бетон құрамы мен қоспа шығынына байланысты 2,33%-дан 4,87%-ға дейін өзгеретінін көрсетеді. 1-үлгі ең жоғары су сіңіруін көрсетті - 4,87%, ал 3-4 және 5-4 үлгілері ең төмен су қанықтылығын көрсетті - 2,33%. Қосылған қоспа мөлшерінің артуы бетонның су сіңіруінің 32,23%-дан 52,15%-ға дейін төмендеуіне әкелетіні анықталды. Бұл қоспаның әсерінен бетонның макро және микрокеуектілігінің төмендеуіне байланысты. Қоспаның максималды тұтынуында бетонның массалық су сіңіруі стандартты мәндерден (ірі агрегат $W_m \leq 5\%$) аспайды және қоспасыз бақылау үлгілерінің су сіңіруінен аспайды. Бұл нәтижелер қоспаның бетонның су сіңіруін азайтуға айтарлықтай әсерін көрсетеді және қоспаның материалдың құрылымдық қасиеттерін жақсартуға ықпал ететінін растайды.

4.2.3 Бетонның аязға төзімділігі

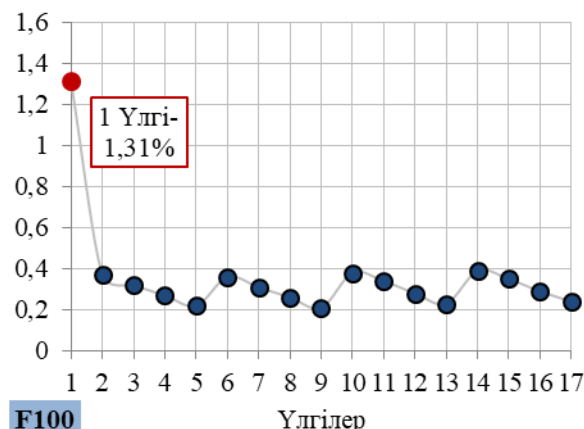
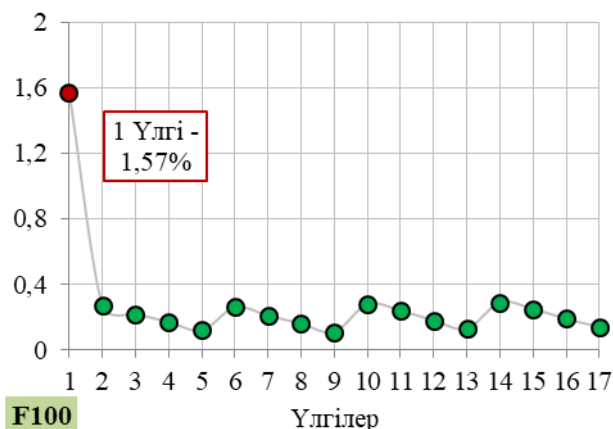
Ұсынылған экспериментте 150 қалыпты қатайтылған бетон үлгілерінде аязға төзімділік сынақтары жүргізілді. Бірнеше мұздату-еріту циклдеріндегі әртүрлі құрамдағы бетон үлгілерінің массасы мен беріктігінің өзгеру динамикасын зерттеу олардың аязға төзімділігі мен зақымдануға төзімділігін анықтауға және бағалауға мүмкіндік береді [191, 192].

4.7-суретте 100 мұздату-еріту циклінен кейінгі бетон үлгілерінің сынақ нәтижелері көрсетілген, бұл экстремалды температура жағдайында материалдың қасиеттерінің өзгеруін көрсетеді. 4.7-4.10 графиктерінде мұздату-еріту циклдерінің санына байланысты әртүрлі құрамдағы бетон үлгілерінің орташа массасы мен беріктігінің өзгеруі көрсетілген.

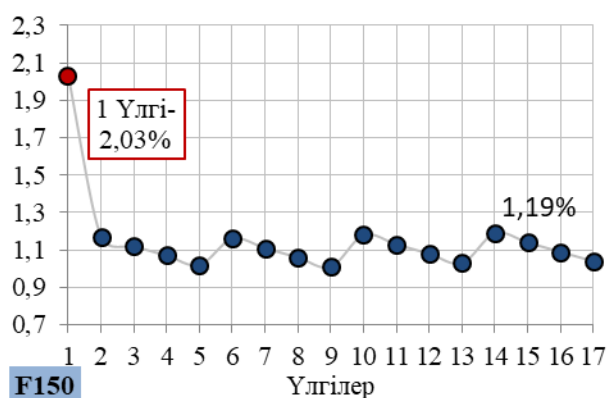
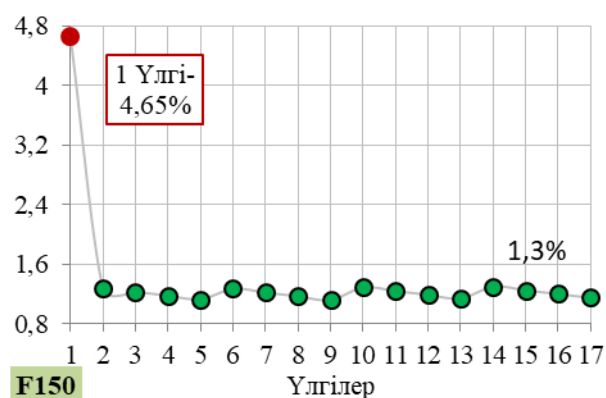
Аязға төзімділікті бағалау нәтижелері:

Бірінші үлгіде орташа масса жоғалуы $\Delta m = 1,31\%$ және беріктік жоғалуы $\Delta R = 1,57\%$ болды. Үлгілерде сыртқы өзгерістер анықталмады. 100 мұздату-еріту циклінің графикалық көрінісі (4.15-сурет) бірінші үлгі үшін максималды беріктік пен масса жоғалуын сипаттайтын маңызды нүктелерді көрсетеді. Беріктік жоғалуы 1,57%, ал масса жоғалуы 1,31% болды. Бұл ақпарат материалдың аязға төзімділігі үшін осы мәндердің маңыздылығын көрсетеді. Бірінші үлгі анықтамалық ретінде қызмет етеді және басқа үлгілермен және олардың сипаттамаларымен салыстырмалы талдау үшін негіз болып табылады. Қоспаны пайдаланып, үлгілер келесі мәндерді берді: орташа масса жоғалуы $\Delta m = 0,20\%$ және 0,38%, ал беріктік жоғалуы $\Delta R = 0,11-0,29\%$. Үлгілерде сыртқы өзгерістер байқалмады. Бұл нәтижелер қоспаны бетонда қолдану төмен температураға ұшыраған үлгілерде массаның жоғалуын және беріктіктің жоғалуын азайтатынын көрсетеді. Бұл бақылау үлгісімен салыстырғанда қоспасы бар бетонның аязға төзімділігінің артқанын көрсетеді. Сыртқы өзгерістердің болмауы үлгілердің сыртқы түрі мен құрылымдық тұтастығын сақтағанын

көрсетеді. 150 мұздату-еріту циклінен кейінгі сынақ нәтижелері (F150 дәрежесі) графикте көрсетілген (4.8-сурет).



4.7-сурет - F100 бетонның аязға төзімділік сынағының нәтижелері



4.8-сурет - F150 бетонының аязға төзімділік сынағының нәтижелері

Аязға төзімділікті бағалау келесі нәтижелерді берді:

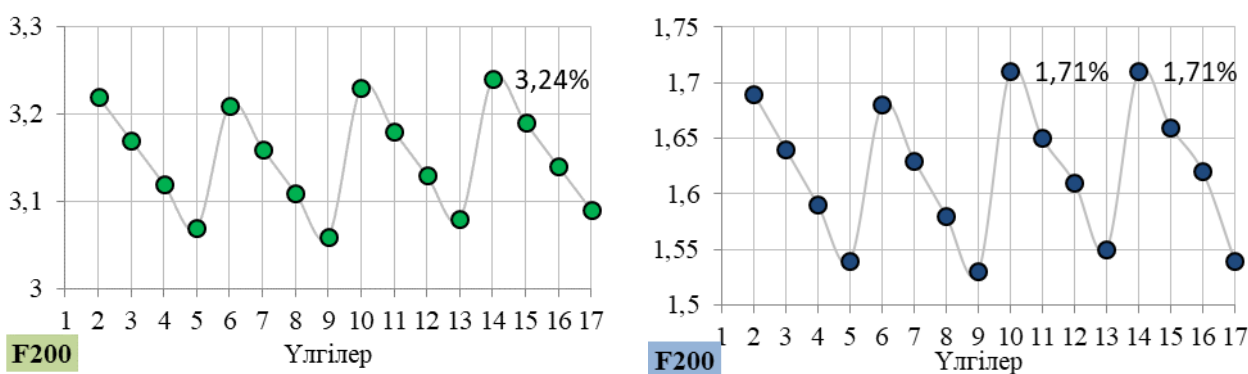
Сілтеме үлгісі, 1-үлгі үшін орташа масса жоғалту $\Delta m = 2,03\%$ және беріктік жоғалту $\Delta R = 4,65\%$. Үлгілерді визуалды талдау беткі қабаттардың пайда болуын анықтады. 150 мұздату-еріту циклі үшін сынақ нәтижелерін көрсететін диаграмманы талдау (4.16-сурет) 1-үлгіге сәйкес келетін беріктіктің максималды жоғалуы мен масса жоғалту нүктелерін анықтады. Диаграммаға сәйкес, беріктіктің максималды жоғалу нүктесі 4,65% құрайды, бұл 150 мұздату-еріту циклінен кейін осы үлгінің беріктік қасиеттерінің айтарлықтай төмендегенін көрсетеді. 2,03% тең болатын максималды масса жоғалту нүктесі осы сынақтардың нәтижесінде 1-үлгі үлгілерінің массасының айтарлықтай төмендегенін көрсетеді. Стандарттарға сәйкес, үлгілердің рұқсат етілген масса жоғалтуы 2%-дан аспауы керек. 1-ші эталондық үлгінің сынақ нәтижелеріне сәйкес, орташа масса жоғалту 2,03% құрады, бұл белгіленген мәннен асып түсті. Сондықтан, бұл үлгіні одан әрі сынау тоқтатылды. 150 мұздату-еріту цикліне ұшыраған 1-ші үлгінің үлгілері стандартты мәннен асып түсіп, айтарлықтай масса жоғалтуын көрсетті. Бұл үлгілердің экстремалды жағдайларда мұздату-

ерітуге төзімділігі мен тұрақтылығының жеткіліксіздігін көрсетеді. Белгіленген цикл санына қол жеткізілгенімен, үлгілер стандартты талаптарға сәйкес келмейді және одан әрі сынау қажет емес [191, 192].

Қоспаны үлгілерге қолдану келесі нәтижелерді берді: орташа масса жоғалту $\Delta m = 1,01\%$ және $1,19\%$, ал беріктік жоғалту $\Delta R = 1,12\%$ және $1,30\%$. Сыртқы көрінісінде ешқандай өзгерістер анықталмады.

Бұл нәтижелерді талдау материалдардың аязға төзімділігін бағалауға және олардың экстремалды температура жағдайындағы мінез-құлқын салыстыруға мүмкіндік береді. 1 Бақылау үлгісіндегі масса мен беріктіктің айтарлықтай жоғалуы оның аязға төзімділігінің жеткіліксіз екенін көрсетеді, бұл пайдалану мәселелерін тудыруы мүмкін. Сонымен қатар, қоспаны қолдану аязға төзімділікті жақсартады, бұл масса мен беріктіктің шамалы жоғалуымен және үлгілердің сыртқы көрінісінде өзгерістердің болмауымен дәлелденеді.

200 мұздату-еріту циклінен кейінгі сынақ нәтижелері (F200 класы) графикте көрсетілген (4.9-сурет).



4.9-сурет - F200 бетонының аязға төзімділік сынағының нәтижелері

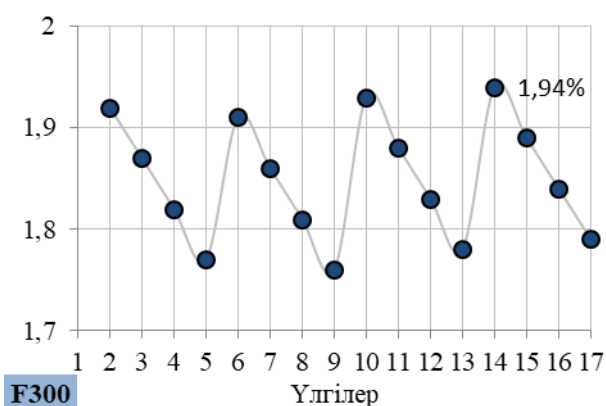
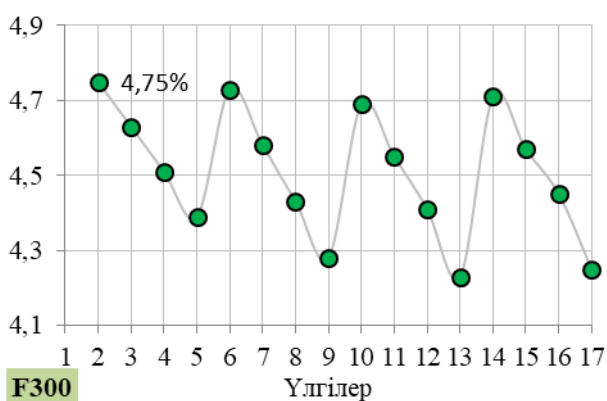
Аязға төзімділікті бағалау келесі нәтижелерді берді:

Қоспаны қолданған кезде үлгілерде келесі мәндер алынды: үлгі массасының орташа жоғалуы $\Delta m = 1,53\%$ -дан $1,71\%$ -ға дейін, ал үлгі беріктігінің жоғалуы $\Delta R = 3,07\%$ -дан $3,24\%$ -ға дейін болды. Бұл байқалған мәндер мұздату-еріту процесінің нәтижесінде үлгі массасының және беріктігінің белгілі бір деңгейін көрсетеді. Үлгілерде сыртқы өзгерістер анықталмады. Бұл материалдың ішінде болып жатқан өзгерістерге қарамастан, олардың сыртқы түрі мен бетінің тұтастығы сақталғанын көрсетеді. Көрінетін деформациялардың немесе зақымданудың болмауы бетондағы қоспаны аязға төзімділігін жақсарту үшін пайдаланудың тиімділігін көрсетуі мүмкін [191, 192].

4.9-суретте көрсетілген график 200 мұздату-еріту циклінен кейін беріктіктің максималды жоғалу мәндеріне сәйкес келетін нүктелерді көрсетеді. 5-1 үлгісінде беріктіктің $3,24\%$ жоғалуы байқалды, ал 4-1 және 5-1 үлгілерінде салмақтың $1,71\%$ жоғалуы байқалды. 300 мұздату-еріту циклінен кейінгі сынақ нәтижелері (F300 класы) графикте көрсетілген (4.10-сурет).

Аязға төзімділікті бағалау келесі нәтижелерді берді:

Қоспаны қолданған кезде үлгілерде келесі мәндер алынды: орташа масса жоғалту $\Delta m = 1,76-1,94\%$ аралығында, ал беріктік жоғалуы $\Delta R = 4,23-4,75\%$ аралығында болды. Үлгілерде сыртқы өзгерістер анықталмады. Белгіленген критерийге сәйкес, беріктіктің максималды рұқсат етілген жоғалуы 5%-дан аспауы керек. Бұл зерттеуде қоспасы бар үлгілер үшін бұл критерий сәтті орындалды. Бұл үлгілердің аязға төзімділігі F300 болды, яғни олар белгіленген беріктік жоғалту шегінен аспай, 300 мұздату-еріту цикліне төтеп берді [191, 192]. 4.10-суретте көрсетілген графикте 300 мұздату-еріту циклінен кейінгі беріктіктің максималды жоғалуына сәйкес келетін нүктелер көрсетілген. 2-1 үлгісі үшін беріктіктің 4,75% жоғалуы, ал 5-1 үлгісі үшін массаның 1,94% жоғалуы байқалады.



4.10-сурет - F300 бетонның аязға төзімділік сынақтарының нәтижелері

Жүргізілген үлгі сынақтарының салыстырмалы нәтижелері қоспасыз бетонды білдіретін 1-үлгінің аязға төзімділік мәндері ең төмен екенін көрсетеді. Үлгінің орташа салмағының жоғалуы $\Delta m = 1,31-2,03\%$, ал беріктіктің жоғалуы $\Delta R = 1,57-4,65\%$ болды. Сонымен қатар, 150 мұздату-еріту цикліне жеткенде, үлгінің салмағы рұқсат етілген мәннен 2%-дан астамға төмендеді. Сондықтан сынақ тоқтатылды [191, 192].

Үлгілерде модификацияланған қоспаны қолдану бетонның аязға төзімділігін айтарлықтай жақсарттады, F300 класына жетеді. Бетон құрылымын реттейтін бұл қоспаны қосу үлгі салмағының 1,76%-дан 1,94%-ға дейін төмендеуіне және беріктігінің 4,23%-дан 4,75%-ға дейін төмендеуіне әкеледі. 300 мұздату-еріту цикліне дейін жүргізілген сынақтар аязға төзімділік критерийлерінің орындалғанын көрсетеді. Осылайша, бұл қоспа бетонның аязға төзімділігін арттырудың тиімді әдісі болып табылады. 100-300 мұздату-еріту циклі кезінде жарықшақтану немесе қабыршақтану сияқты көрінетін зақымдану белгілері байқалмады.

100 мұздату-еріту циклінен кейін модификацияланған бетон үлгілерінде масса мен беріктіктің аздап жоғалуы байқалды. Дегенмен, бұл төмендеу айтарлықтай болған жоқ және материалдың тұтастығына кері әсер еткен жоқ. 150 мұздату-еріту циклінен кейінгі бетон сынағының нәтижелеріне сүйене отырып, бетон беріктігінің сенімділік интервалының төменгі шегі эталондық үлгі үшін

сенімділік интервалының төменгі шегімен салыстырғанда 20%-ға айтарлықтай жоғары екені анықталды. Бұл бетонның беріктік қасиеттері 150 циклден кейін көрсетілген аязға төзімділік критерийлеріне сәйкес келетінін көрсетеді.

Эталондық үлгінің салыстырмалы масса жоғалуы 2,03% құрады, ал қоспа қосылған үлгінің масса жоғалуы 1,01%-дан 1,19%-ға дейін болды. Модификацияланған үлгіде беткі қабаттың деламинациясының көрінетін белгілері анықталмады. Бұл нәтижелер масса жоғалуы төмен болғандықтан және үлгі бетінің зақымдалуына әкелмегендіктен, модификацияланған бетонның аязға төзімділік қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді. Үлгіні қоспамен соңғы сынақтан өткізгеннен кейін, 300 мұздату-еріту циклінен кейін үлгінің беріктігі 4,75%-ға дейін төмендегені анықталды. Бақылау үлгісінің нәтижелерімен салыстырғанда, қоспа қосылған үлгінің беріктігінің сенімділік интервалының төменгі шегі белгіленген аязға төзімділік критерийінен төмен болды. Сонымен қатар, үлгінің 300 циклден кейін салмақ жоғалтуы 1,94% құрады. Бұл сынақты 300 циклде тоқтатуды қажет етті. Үлгілердің сыртқы түрі ешқандай көрінетін өзгерістерді көрсетпегенін атап өту маңызды. Сынақтар нәтижесінде қоспа қосылған бетонның аязға төзімділігі F300 болды. Демек, бетонның бұл түрін орташа аязға төзімді деп жіктеуге болады [191, 192].

Қоспаны оңтайлы мөлшерде қолдану модификацияланған бетонның жоғары өнімділік сипаттамаларына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері қоспаның бетонның аязға төзімділігін арттырудағы тиімділігін көрсетеді. Атап айтқанда, бұл қоспаны қосу бетонның аязға төзімділігін F300 класына дейін арттыра алады. Бұл модификацияланған бетонның қату мен ерудің жағымсыз әсерлеріне төтеп бере алатындығын және оның өнімділік қасиеттерін жоғары деңгейде сақтай алатындығын көрсетеді. 150-ден астам мұздату-еріту циклдерінде сыналған таза құрамдар F150 аязға төзімділік класына сәйкес келеді. Бұл класс 4,65% беріктік жоғалту критерийімен анықталады. Осылайша, таза бетон аязға төзімділіктің орташа деңгейін және циклдік мұздату-еріту циклдеріне ұшыраған кезде беріктікті сақтау қабілетін көрсетеді [191, 192].

Бетонға қоспаларды қосу оның аязға төзімділігін айтарлықтай жақсартады, ал олардың мөлшері бұл көрсеткішке теріс әсер етпейді. Шын мәнінде, анықтамалық құраммен салыстырғанда бетонның аязға төзімділігінің жақсарғаны байқалады (1-үлгі). Алынған зерттеу нәтижелері модификацияланған бетонның 300 мұздату-еріту цикліне сәтті төтеп беретінін және орташа аязға төзімді деп жіктелуі мүмкін екенін растайды. Бұл қоспалардың бетонның төмен температура мен мұздату циклдеріне төзімділігін арттырудағы жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл нәтижелер айтарлықтай практикалық маңызға ие, себебі олар қатал климаттық жағдайлар мен аязға ұшырайтын құрылыс конструкцияларында модификацияланған бетонды пайдалануға мүмкіндік береді. Мысалы, бетонның аязға төзімділік сынақтарының нәтижелері цемент тасының ең тұрақты құрылымы модификацияланған қоспаның қатысуымен түзілетінін көрсетеді. Бұл қоспа бетонның ішкі құрылымының қалыптасуы мен нығаюына оң әсер етеді, бұл аязға

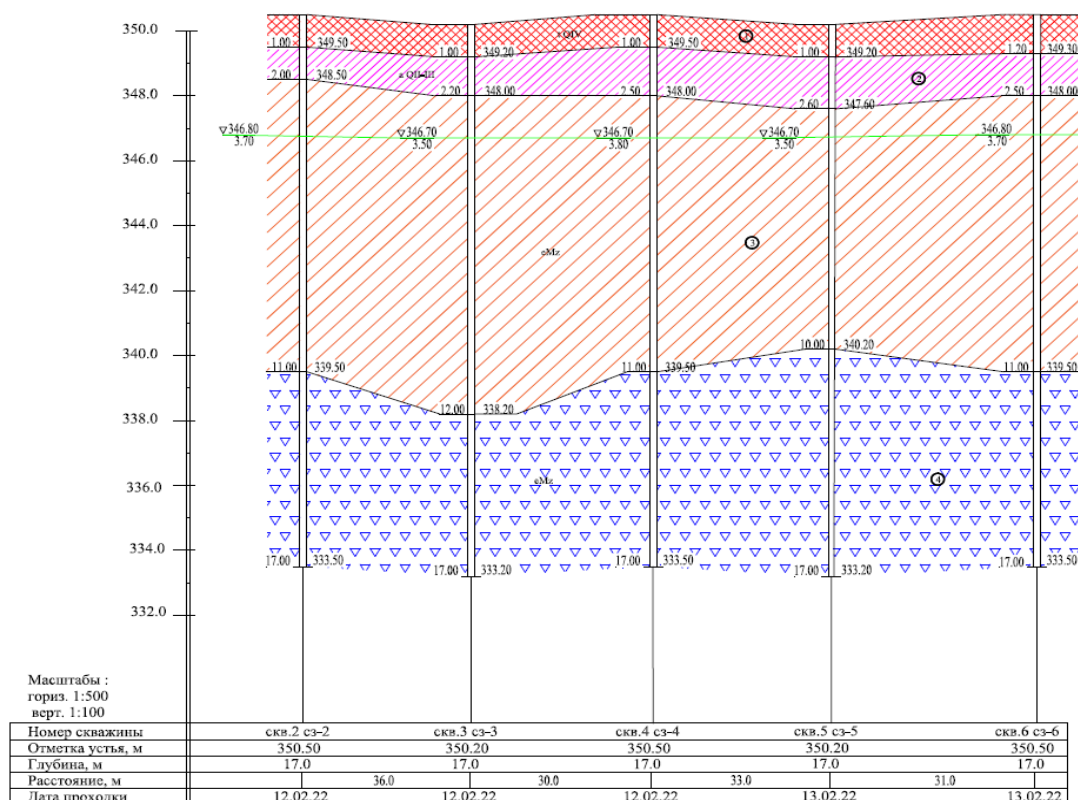
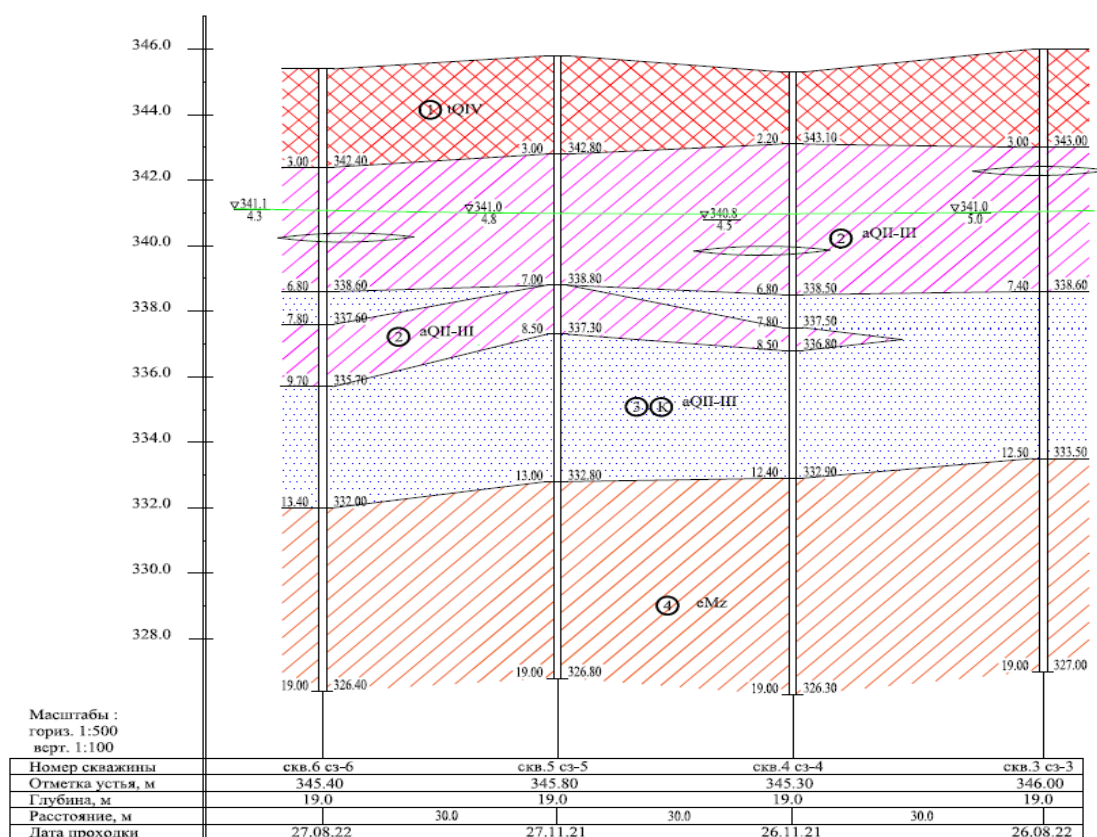
төзімділіктің артуына әкеледі. Нәтижелер бұл қоспаның өнімділік сипаттамалары жақсартылған және агрессивті қоршаған орта жағдайларына жоғары төзімді бетон конструкцияларын жасаудағы тиімділігін көрсетеді.

МЕМСТ 25192-2012 «Бетон. Жіктеу және жалпы техникалық талаптар» стандартында анықталған жіктеуге сәйкес, зерттеу барысында алынған бетон түрлерін келесідей жіктеуге болады: 1-үлгі (негізгі үлгі) - аязға төзімділігі төмен бетон; қоспасы бар үлгілер - орташа аязға төзімді бетон. Бұл жіктеу қоспасы бар үлгілердің қоспасыз негізгі үлгімен салыстырғанда аязға төзімділігі жоғары екенін көрсетеді. Демек, бұл қоспаны қолдану бетонның аязға төзімділігін айтарлықтай жақсартарды және оны осы көрсеткіш бойынша орташа деп жіктейді. Бұл жіктеу сынақтан өткен бетонның, қоспасы бар және қоспасыз, салыстырмалы аязға төзімділік сипаттамаларына ие екенін көрсетеді. Бұл модификацияланған бетонның төмен температура мен аяз жағдайларына ұшырайтын құрылымдарда қолдануға жарамдылығын растайды, бұл орташа аязға төзімділікке сәйкес келеді. Зерттеу нәтижелерін талдау зерттелген қоспаның болуы цемент тасының беріктік қасиеттеріне оң әсер ететінін және оның кеуектілігін төмендететінін, бұл өз кезегінде аязға төзімділіктің артуына ықпал ететінін көрсетеді. Бұл әсіресе қысы ұзақ болатын Астана қаласының климатында өзекті. Зерттелген қоспаны қосқаннан кейін цемент тасының құрылымының айтарлықтай нығаюы және кеуектіліктің төмендеуі оның материалдың аязға төзімділігін арттырудағы тиімділігін растайды. Сондықтан, бұл қоспаны пайдалану Астана қаласында және осыған ұқсас климаттық жағдайларда құрылыс конструкцияларының беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз етудің перспективалы тәсілі болып табылады.

4.2.4 Бетонның коррозияға төзімділігі

Бұл зерттеу агрессивті ортада қолданылатын бұрғыланған қадалардың беріктігін арттыруға бағытталған. Бұл құрылымдар үшін агрессивті ортаның негізгі көзі - тұздар, қышқылдар және басқа да коррозиялық заттар сияқты әртүрлі химиялық компоненттерді қамтитын жер асты сулары. Сондықтан бетонның коррозияға төзімділігін анықтау оның осы агрессивті орталарға төзімділігін бағалау үшін өте маңызды. Бетонның коррозияға төзімділігін бағалау құрылымдарды жобалау мен пайдаланудағы, әсіресе агрессивті заттардың жоғары деңгейі бар жер асты сулары болған кезде маңызды міндет болып табылады. Алынған нәтижелер бетон құрылымдарын коррозиядан қорғау және мұндай агрессивті жағдайларда олардың беріктігін арттыру үшін қажетті шараларды анықтауға мүмкіндік береді.

Астана қаласындағы жер асты сулары инженерлік-геологиялық зерттеулердегі өзекті мәселе болып табылады. Оны зерттеу және талдау осы аймақтың геологиялық ортасын және оның инженерлік құрылымдарға әсерін бағалау мен түсінудегі маңызды қадамдар болып табылады.



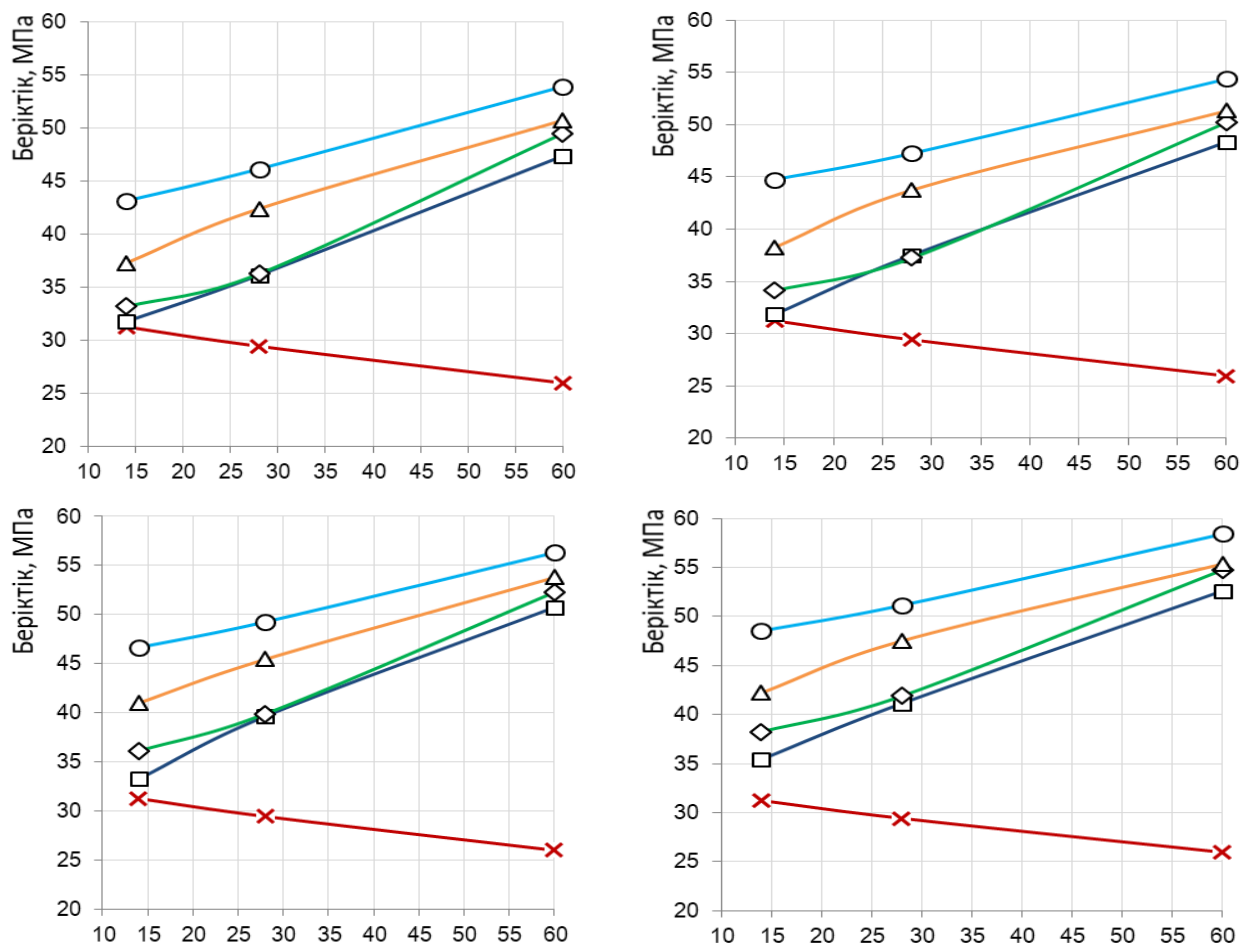
4.11-сурет - Инженерлік-геологиялық қима

Астана қаласында төмен қысымды және шектелмеген жер асты сулары басым. Жер асты суларының тереңдігі жергілікті жер бедеріне байланысты және

маусымдық ауытқып отырады. Қала ішінде жер асты сулары әдетте жер бетінен 1-ден 6 метрге дейін тереңдікте орналасқан. Жер асты суларының ең жоғары деңгейі Есиле аймағында кездеседі.

Толығырақ көрнекі түрде көрсету үшін 4.11-суретте Астана қаласының инженерлік-геологиялық қимасының мысалы көрсетілген. 4.11-суретте Астана қаласының Есіл ауданында, А. Бектұров көшесінде салынған инженерлік-геологиялық қима көрсетілген. Бұл қимадағы жер асты суларының деңгейі 4,3-5,0 метр биіктікте тіркелген. Бұл қима топырақ пен жер асты сулары қабаттарының тік орналасуын көрсетеді, бұл олардың тереңдігін және аумақтың геологиялық құрылымымен байланысын бағалауға мүмкіндік береді.

Коррозияға төзімділік анықтамалық құрамнан (1 үлгі) алынған бетон үлгілерін, сондай-ақ қосылған қоспасы бар құрамдарды сынау арқылы бағаланды. Бұл сынақтар МЕМСТ 70109-2022 «Құрылыстағы коррозиядан қорғау. Бетон. Жалпы сынақ талаптары» талаптарына сәйкес агрессивті ортада жүргізілді. Сілтілі коррозияға төзімділікті бағалау нәтижелері жер асты суларына ұшыраған бетон конструкцияларының сенімділігі мен беріктігінің маңызды көрсеткіші болып табылады.



4.12-сурет - Бетон үлгілерінің 14, 28 және 60 күннен кейінгі сығылу беріктігі

Бұл зерттеуде бетонның беріктігі агрессивті ортаға екі ай әсер еткеннен кейін бетон үлгілерінің физика-химиялық және механикалық қасиеттерінің өзгеруіне, соның ішінде беріктіктің өзгеруіне, массаның жоғалуына және тозудың көрнекі белгілеріне негізделіп бағаланды. Сынақтар үш уақыт аралығында жүргізілді: үлгіні дайындағаннан кейін 14, 28 және 60 күн. Әртүрлі уақыт аралығында сынау бетонның беріктігін оның қызмет ету мерзімінің әртүрлі кезеңдерінде бағалауға және оның ұзақ мерзімді жұмысын болжауға мүмкіндік береді. 4.12-суретте агрессивті ортаға әсер ету уақытына байланысты бетонның беріктік қасиеттерінің өзгеруі көрсетілген. Нәтижелерді талдау бетонның беріктігін және оның қолайсыз факторларға төзімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Әртүрлі уақыт аралығындағы бетонның беріктігі оның беріктігінің және агрессивті ортада механикалық қасиеттерін сақтау қабілетінің көрсеткіші болып табылады.

Агрессивті ортаға батырылғаннан кейін әртүрлі уақыт аралығындағы (14, 28 және 60 күн) үлгілердің беріктік сипаттамаларын талдағаннан кейін келесі нәтижелер алынды:

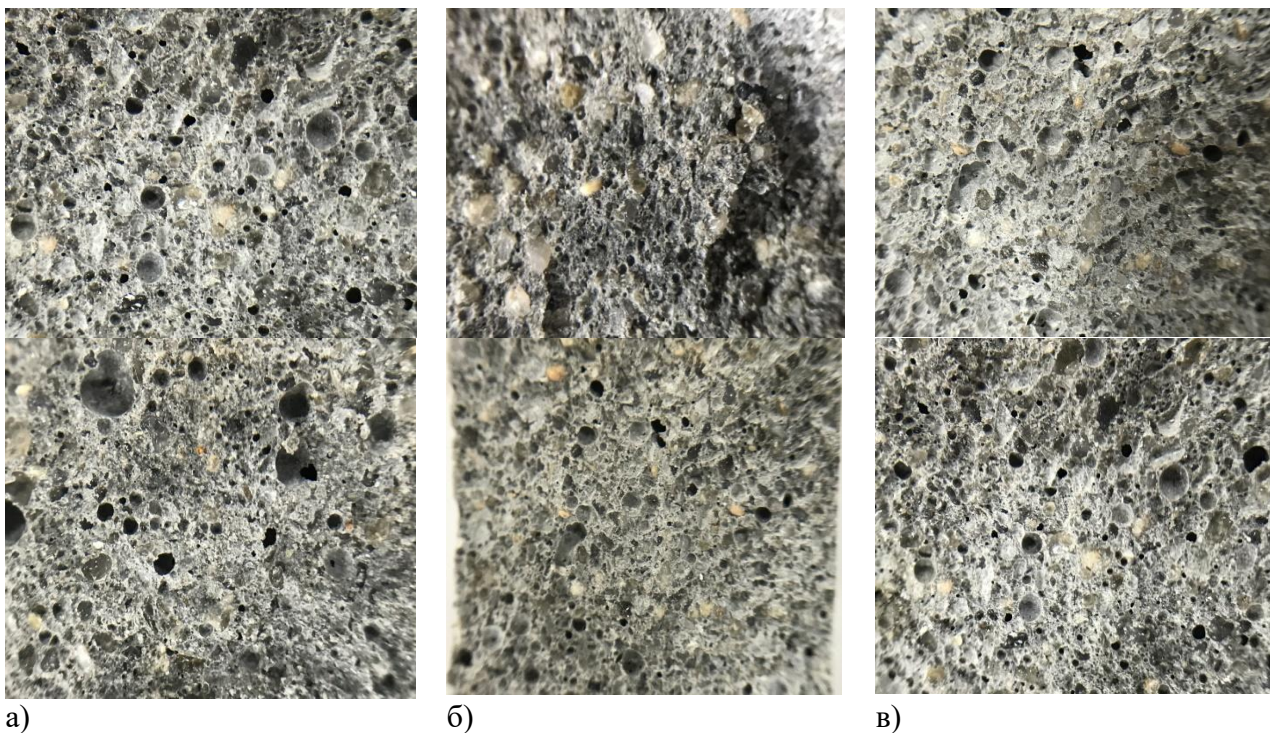
№	Үлгілер	14 күннен кейінгі қысу беріктігі	28 күннен кейінгі қысу беріктігі	60 күннен кейінгі қысу беріктігі	Орташа беріктік
1.	Қоспасыз 1 үлгі	$R_{сж} = 31,25$ МПа	$R_{сж} = 29,43$ МПа	$R_{сж} = 25,97$ МПа	
2.	2-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 31,75$ МПа $\Delta R = 1,6\%$	$R_{сж} = 36,13$ МПа $\Delta R = 22,76\%$	$R_{сж} = 47,35$ МПа $\Delta R = 82,32\%$	$R_{сж} = 31,75$ - $47,35$ МПа
3.	2-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 33,16$ МПа $\Delta R = 6,11\%$	$R_{сж} = 36,25$ МПа $\Delta R = 23,17\%$	$R_{сж} = 49,47$ МПа $\Delta R = 90,48\%$	$R_{сж} =$ $33,16-$ $49,47$ МПа
4.	2-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 37,27$ МПа $\Delta R = 19,26\%$	$R_{сж} = 42,38$ МПа $\Delta R = 44\%$	$R_{сж} = 50,71$ МПа $\Delta R = 95,26\%$	$R_{сж} =$ $37,27-$ ден $50,71$ МПа
5.	2-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 43,12$ МПа $\Delta R = 37,98\%$	$R_{сж} = 46,13$ МПа $\Delta R = 56,74\%$	$R_{сж} = 53,89$ МПа $\Delta R = 107,5\%$	$R_{сж} = 43,12-$ $53,89$ МПа
6.	3-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 31,85$ МПа $\Delta R = 1,92\%$	$R_{сж} = 37,52$ МПа $\Delta R = 27,48\%$	$R_{сж} = 48,35$ МПа $\Delta R = 86,17\%$	$R_{сж} = 31,85-$ $48,35$ МПа
7.	3-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 34,12$ МПа $\Delta R = 9,18\%$	$R_{сж} = 37,25$ МПа $\Delta R = 26,57\%$	$R_{сж} = 50,21$ МПа $\Delta R = 93,33\%$	$R_{сж} = 34,12-$ $50,21$ МПа
8.	3-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 38,25$ МПа $\Delta R = 22,4\%$	$R_{сж} = 43,75$ МПа $\Delta R = 48,65\%$	$R_{сж} = 51,32$ МПа $\Delta R = 97,61\%$	$R_{сж} = 38,25-$ $51,32$ МПа

9.	3-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 44,75$ МПа $\Delta R = 43,2\%$	$R_{сж} = 47,26$ МПа $\Delta R = 60,58\%$	$R_{сж} = 54,37$ МПа $\Delta R = 109,35\%$	$R_{сж} = 44,75 - 54,37$ МПа
10.	4-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 33,25$ МПа $\Delta R = 6,4\%$	$R_{сж} = 39,64$ МПа $\Delta R = 34,69\%$	$R_{сж} = 50,75$ МПа $\Delta R = 95,41\%$	$R_{сж} = 33,25 - 50,75$ МПа
11.	4-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 36,11$ МПа $\Delta R = 15,55\%$	$R_{сж} = 39,88$ МПа $\Delta R = 35,5\%$	$R_{сж} = 52,28$ МПа $\Delta R = 101,3\%$	$R_{сж} = 36,11 - 52,28$ МПа
12.	4-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 40,99$ МПа $\Delta R = 31,16\%$	$R_{сж} = 45,44$ МПа $\Delta R = 54,4\%$	$R_{сж} = 53,79$ МПа $\Delta R = 107,12\%$	$R_{сж} = 40,99 - 53,79$ МПа
13.	4-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 46,64$ МПа $\Delta R = 49,24\%$	$R_{сж} = 49,26$ МПа $\Delta R = 67,38\%$	$R_{сж} = 56,31$ МПа $\Delta R = 116,82\%$	$R_{сж} = 46,64 - 56,31$ МПа
14.	5-1 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 35,43$ МПа $\Delta R = 13,37\%$	$R_{сж} = 41,13$ МПа $\Delta R = 39,75\%$	$R_{сж} = 52,62$ МПа $\Delta R = 102,61\%$	$R_{сж} = 35,43 - 52,62$ МПа
15.	5-2 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 38,25$ МПа $\Delta R = 22,4\%$	$R_{сж} = 41,89$ МПа $\Delta R = 42,33\%$	$R_{сж} = 54,75$ МПа $\Delta R = 110,82\%$	$R_{сж} = 35,43 - 54,75$ МПа
16.	5-3 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 42,21$ МПа $\Delta R = 35,07\%$	$R_{сж} = 47,51$ МПа $\Delta R = 61,43\%$	$R_{сж} = 55,36$ МПа $\Delta R = 113,16\%$	$R_{сж} = 42,21 - 55,36$ МПа
17.	5-4 қоспасы бар үлгі	$R_{сж} = 48,53$ МПа $\Delta R = 55,29\%$	$R_{сж} = 51,14$ МПа $\Delta R = 73,76\%$	$R_{сж} = 58,41$ МПа $\Delta R = 124,91\%$	$R_{сж} = 42,21 - 58,41$ МПа

Үлгілердің коррозияға төзімділігін бағалау үшін келесі әдістер қолданылды:

а) Бетон үлгілерінің сыртқы түрі жұмыс ортасына әсер еткеннен кейін бағаланды. Бұл коррозияның көрнекі белгілерін, мысалы, дақтарды, жарықтарды, қабыршақтануды және үлгі бетінің түсінің өзгеруін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл әдіс коррозияның зақымдану дәрежесін тез және дәл бағалауға мүмкіндік береді.

б) Агрессивті ортаға әсер еткеннен кейін үлгінің сыртқы түрін микроскопиялық зерттеу үлкейткіш әйнек арқылы жүргізілді. Бұл үлгі бетін егжей-тегжейлі тексеруге және микрожарықтарды және коррозияның басқа белгілерін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл әдіс коррозия ошақтарының сипаты мен құрылымын анықтауға мүмкіндік береді. Үлгілердің коррозияға төзімділігін зерттеу нәтижелері 4.13-суретте көрсетілген. 4.13-суретте осы зерттеу үшін талданған үлгілердің суреттері және олардың құрылымы мен жағдайын салыстыру көрсетілген.



4.13-сурет - Үлгілердің микроскопиялық суреттері: а), б), в) қоспалары бар үлгілер

4.13-суретте көрсетілген үлгілердің коррозияға төзімділігі 14, 28 және 60 күннен кейін олардың сыртқы сипаттамаларын талдау арқылы бағаланды. Нәтижелер келесі сипаттамаларды анықтады:

1.1 Бақылау үлгілерін тексеру кезінде бетінде эфлоресценция байқалды, бұл көміртектену процестерінің айқын белгісі. Сонымен қатар, цемент тастары байқалды, олар беткі қабаттың деламинациясымен, беткі жарықтармен және шашыраумен байланысты. Қоспасыз бақылау үлгілерінде айтарлықтай зақымданулар анықталды, бұл үлгі құрылымының бұзылуына және оның беріктігінің төмендеуіне әкелетін этtringиттің болуымен түсіндіріледі. Үлгілердің істен шығуы, мүмкін, қатаю кезінде бетон көлемін арттыратын этtringиттің кристалдануына байланысты. Кристалдану кернеулері материал құрылымында шоғырланған, бұл микрожарықтардың пайда болуына ықпал етеді. Содан кейін кристалдану процесі жарықтың ішінде жалғасады, бұл оның кеңеюіне және материалдың істен шығуына әкеледі. Көзбен шолу осы құрылымы бар үлгілердің коррозияға әсіресе бейім екенін көрсетеді.

2. Қоспасы бар үлгілерді микроскопиялық талдау агрессивті ортаға 14, 28 және 60 күн әсер еткеннен кейін цемент тасында деструктивті процестердің белгілерін анықтамады. Қоспаның әсер ету механизмі келесідей: жоғары СКБ белсенділігіне байланысты ол алынған кальций гидроксидімен әрекеттеседі және бастапқы этtringиттің пайда болуына жол бермейді. Сонымен қатар, бұл қоспаның өзін-өзі қалпына келтіру әсері бар, бұл цемент тасындағы жарықтарды нығайтуға және тесіктерді гидратация өнімдерімен толтыруға көмектеседі. Бұл үлгілердің орташа тығыздығының артуына әкеледі, олардың агрессивті ортада

беріктігінің сақталуын қамтамасыз етеді. Бұл қоспасы бар үлгілер су сіңірілуінің төмендеуімен және коррозияға төзімділіктің жоғарылауымен сипатталады. Осылайша, бұл кешенді қоспаны енгізу ерітінділердің сульфатқа төзімділігін арттыруға және олардың физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. ҚН ҚР 2.01-01-2013 «Құрылыс конструкцияларын коррозиядан қорғау» талаптарына сәйкес, құрылыс конструкцияларына әсер ететін агрессивті орталар келесідей жіктеледі: 1) агрессивті емес (N), 2) аз агрессивті (Sl), 3) орташа агрессивті (Sp) және 4) жоғары агрессивті (Si). Бұл жіктеу коррозия аймағындағы үлгі беріктігінің салыстырмалы түрде төмендеуіне және материалдардың қызмет ету мерзімі ішінде байқалатын коррозияның сыртқы көріністеріне негізделген. Бұл зерттеуде бұл жіктеу агрессивті ортаның сынақ үлгілеріне әсерін бағалау үшін пайдаланылды.

Агрессивті ортаның сынақ үлгілеріне әсерін бағалау келесі нәтижелерді берді:

1. Бақылау үлгілерін сынау барлық уақыт кезеңдерінде (14, 28 және 60 күн) беріктіктің төмендегенін көрсетті. Орташа беріктік мәндері 25,97-ден 31,25 МПа-ға дейін болды. Өзгертілген үлгілермен салыстырғанда, бақылау үлгілері 28 және 60 күннен кейін беріктіктің төмендегенін көрсетті. Сығымдау беріктігінің төмендеуі 28 күннен кейін 5,82% және 60 күннен кейін 16,89% құрады. Үлгілердің орташа массалық жоғалуы 5,1%-дан 10,5 г/м²-ге дейін болды, бұл материал беріктігінің жіктелуіне сәйкес 5 баллмен «әлсіз» деп жіктеледі. Үлгілердің беріктігінің жоғалуы 5,0%-дан 15,2%-ға дейін болды және қоршаған ортаның агрессивтілік дәрежесіне байланысты «орташа агрессивті» деп жіктеледі. Үлгілерді көзбен тексеру беткі зақымдану және бұрыштардың зақымдануы сияқты деструктивті процестердің бар екенін растады.

2. Үлгілерді қоспамен сынақтан өткізген кезде барлық уақыт кезеңдерінде (14, 28 және 60 күн) жоғары беріктік байқалды. Орташа беріктік мәндері 31,75-тен 58,41 МПа-ға дейін болды. Үлгілердің сыртқы түріндегі өзгерістер анықталмады.

Салыстырмалы талдау қоспаны қолдану эталондық құрамдармен салыстырғанда беріктіктің артуына оң әсер ететінін көрсетті (1-үлгі). Агрессивті ортада 60 күн бойы сақталған үлгілердегі беріктік сынақтарының нәтижелері қоспасы бар үлгілердің эталондық үлгілермен салыстырғанда (1-үлгі) жоғары қасиеттерге ие екенін көрсетеді. Салыстырмалы талдау қоспасы бар бетон үлгілерінің беріктіктің арту жылдамдығы эталондық құрамдармен салыстырғанда 82,32-124,91%-ға айтарлықтай жоғары екенін көрсетті. Бұл бетондағы бұл қоспаның жоғары тиімділігін көрсетеді. Зерттеу барысында алынған сынақ нәтижелері бұл қоспаның бетонның беріктік қасиеттеріне оң әсерін растайды. Қоспаның әсер ету механизмі оның цемент клинкерін гидраттау кезінде пайда болған тұнба әкпен әрекеттесу қабілетімен байланысты. Зерттеулер қоспасы бар бетон үлгілерінің суға ұшыраған кезде тұтастығын сақтайтынын көрсетті, бұл осы қоспаның жоғары тиімділігін көрсетеді. Графиктерден эталондық бетон құрамы модификацияланған қоспалары бар құрамдармен салыстырғанда 28 күннен кейін төмен беріктік көрсететіні көрінеді.

Мұны қатаюдың кеш сатыларымен және төмен негізді кальций силикат гидроксидтерінің C-S-H(I) (үлгі) түзілуімен түсіндіруге болады. Дегенмен, үлгілерді ұзақ уақыт сақтау кезінде СКБ қосудың байқалатын әсері ерекше қызығушылық тудырады, бұл бетон беріктігінің артуына әкеледі. Мұны бетон ішіндегі гидратация өнімдері арасындағы баяу реакциялармен түсіндіруге болады.

СКБ тұтыну жылдамдығын өзгерту бетонның беріктігіне тікелей әсер етеді, бұл түрлендірілген құрамдардың эталондық құрамдармен салыстырғанда жоғары өнімділікке әкеледі. Атап айтқанда, үлгілердің сығылу беріктігі 14 күн бойы қатаюдан кейін 1,6%-ға, 28 күн бойы қатаюдан кейін 22,76% және 73,76%-ға, ал 60 күн бойы қатаюдан кейін 82,32% және 124,91%-ға артты. Бұл модификацияланған қоспаны қолдану бетонның физикалық және механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартатынын синергетикалық әсерге әкеледі. Түрлендірілген құрамдар бастапқы сипаттамаларын сақтап қана қоймай, оларды белсенді түрде жақсартады. Мұндай құрамдарды арнайы жағдайларда жұмыс істейтін құрылымдарға енгізу жөндеу арасындағы кезеңді айтарлықтай ұзарта алады. 4.8-кестеде қоспаның бетонның физикалық және механикалық қасиеттеріне әсері туралы салыстырмалы деректер келтірілген.

Кестедегі нәтижелер эталондық бетон құрамдарының (1-үлгі) әртүрлі қатаю уақыттарында (14, 28 және 60 күн) төмен беріктік көрсететінін көрсетеді. Дегенмен, модификацияланған құрамдарды (2-4, 3-1, 3-4 түрлері және т.б.) қолданған кезде беріктіктің айтарлықтай артуы байқалады, бұл осы қоспамен бетонның қасиеттерінің эталондық құрамдармен салыстырғанда айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. Беткі қабыршақтану және басқа да зақымданулар сияқты негізгі көрнекі белгілер модификацияланған бетон құрамдарында байқалмайды. Бұл олардың беріктігінің және сыртқы әсерлерге төзімділігінің артқанын көрсетеді. Осылайша, 4.8-кестедегі нәтижелер қоспаның бетонның беріктік қасиеттерін тиімді түрде жақсартатынын растайды. Бұл жоғары беріктік пен сенімділікті қажет ететін құрылымдарды жобалау мен салуда маңызды.

Тәжірибелік деректерді талдау көрсеткендей, әзірленген құрамдарды пайдаланып жасалған үлгілер зерттелген агрессивті ортада жоғары коррозияға төзімділік көрсетеді. Бұл кедергі құрамдарда бос кальций гидроксидіне қатысты өте белсенді компоненттердің болуына байланысты. Рентгендік дифракциялық талдау бұл компоненттердің үлгі құрылымында болуын растайды. Бұл қорғаныш қасиеттері бар тұрақты фазалардың пайда болуын және шаймалау коррозиясына қарсы тұру қабілетін көрсетеді. Сынақ және талдау нәтижелеріне сүйене отырып, әзірленген ауыр салмақты бетон құрамы жоғары коррозияға төзімділік көрсетеді деген қорытынды жасауға болады. Бұл кедергі оның құрамында Cl⁻ және басқа да қышқыл аниондары бар жер асты суларына әсер еткенде пайда болуы мүмкін шаймалау коррозиясына қарсы тұру қабілетіне байланысты. Бұл құрамдағы ауыр бетон қышқыл аниондары бар жер асты суларына тікелей әсер ететін жер асты құрылыстарын салуда қолдануға жарамды таңдау болып табылады. Оның жоғары коррозияға төзімділігі агрессивті ортаға әсер ету және коррозия қаупі жағдайында мұндай құрылымдардың беріктігі мен сенімділігіне кепілдік береді.

5 БҰРҒЫЛАП ҚҰЙЫЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫҢ БЕТОН ӨНДІРУ ӘДІСІ

Ұсталып қалған қадаларға арналған бетон бұйымдарын өндіру технологиясын әзірлеу кезінде тек бетон қоспасының құрамын ғана емес, сонымен қатар бүкіл өндіріс процесін толықтыратын және оңтайландыратын мамандандырылған жабдықты пайдалануды да ескеру қажет. Бұл технологияның маңызды аспектілерінің бірі - қоспа бактары мен дозаторларын пайдалану. Бұл жабдық бетон қоспасындағы қоспаларды басқарудың негізгі функциясын орындайды. Бактар мен дозаторлардың негізгі мақсаты - бетонға қоспаларды дәл және пропорционалды түрде енгізу. Дегенмен, олардың рөлі мұнымен шектелмейді - олар қоспа компоненттерінің араласу дәрежесін төмендетуге де көмектеседі.

Қабатталған қадаларға арналған бетон өндірісі бойынша ұсыныстар (технологиялық аспектілер және сапаны бақылау) келесі тармақтарды қамтиды:

1. Бетон қоспасының құрамын дұрыс таңдау бетон қадасын өндірудің ажырамас бөлігі болып табылады. Формула МЕМСТ 27006-2019 «Бетон. Құрамды таңдау ережелері» сәйкес әзірленген.

2. МЕМСТ 7473-2010 «Бетон қоспалары. Техникалық шарттар» талаптарына сәйкес қоспаның технологиялық құрамын бақылау маңызды аспект болып табылады.

3. Шикізатты дозаторларды пайдаланып мөлшерлеу дәлдігі өте маңызды. Көлемдік мөлшерлеу дәлдігі $\pm 2\%$ -дан аспайды.

4. Бетонды орналастыру процесін бақылау маңызды қадам болып табылады.

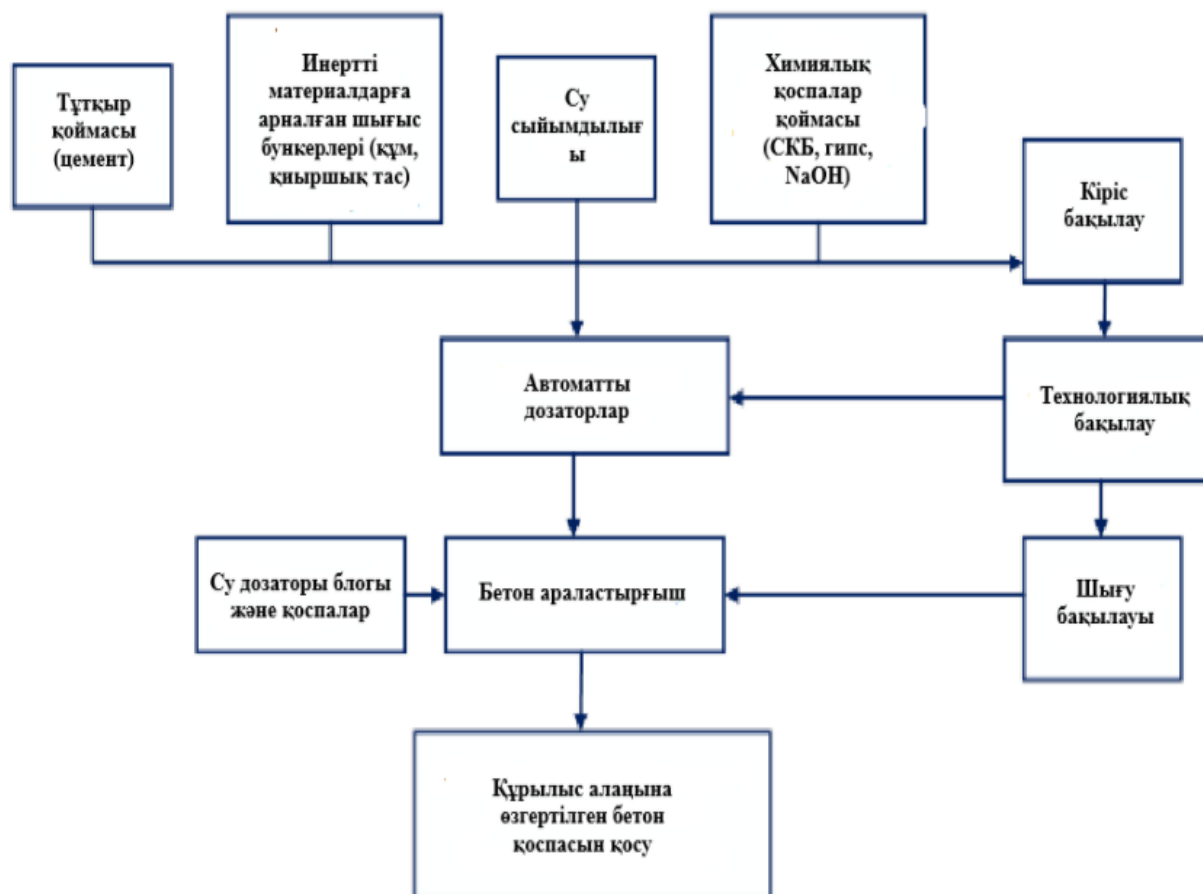
5. Бетонның беріктігінің жоғары сапалы нәтижелеріне қол жеткізу үшін үлгілер қадалар қатайтылған жағдайларға ұқсас жағдайларда сақталады.

6. Қоспа құрылыс алаңына стандартты технологиялық блок-схемаларды пайдаланып тасымалданады. Сапа параметрлерін мұқият бақылауды және құлау шығынын азайту және өңдеу процесін оңтайландыру үшін араластыру параметрлерін реттеу мүмкіндігін қамтамасыз ету маңызды.

7. Бақыланатын бетонның партия мөлшері бір күнде орналастырылған көлемге негізделуі керек.

Осы зерттеудің 2, 3 және 4-тарауларында келтірілген модификацияланған бетон сипаттамаларын егжей-тегжейлі талдау негізінде, 5.1-суретте көрсетілгендей, әзірленген модификацияланған бетон қоспасының құрамы мұқият жасалған процесті білдіретінін атап өтуге болады. Бұл құрамның әртүрлі компоненттерінің өзара әрекеттесуінің технологиялық схемасы олардың тығыз өзара байланысын және өзара әрекеттесуін көрсетеді. 5.1-суретте модификацияланған бетон өндірісінің негізгі кезеңдері көрсетілген. Бұл кезеңдерге цемент, толтырғыштар және су сияқты негізгі компоненттерді таңдау және пропорциялау, сондай-ақ қоспаларды белгілі бір пропорцияларда қосу кіреді.

Бұл инновациялық кешенді модификацияланған қоспаны пайдалануды қамтитын кешенді бетон өндірісінің процесі ұсынылған. Бұл процесс қада құрылысына арналған бетонды сәтті өндірудің ажырамас бөлігі болып табылады. Процесс блок-схема ретінде ұсынылған, онда кезеңдердің тізбегі және әртүрлі компоненттердің өзара байланысы айқын көрсетілген. Бұл блок-схема модификацияланған қоспа көмегімен қадаларға арналған бетон өндірісіндегі негізгі элемент болып табылады. Қоспаны дайындаудан бастап соңғы орналастыруға дейінгі бүкіл өндірістік цикл қатаң сапаны бақылауға жатады. Бетон қоспаларын өндіруден бастап құрылыс алаңына орналастыруға дейінгі әрбір кезеңге ерекше назар аударылады. Бұл кешенді бақылау іргетас пен бұрғыланған қада құрылысына арналған бетон өндірісінде жоғары стандарттар мен сенімділікті қамтамасыз етуге бағытталған. Өндірістің негізгі кезеңдерінің бірі - бетон қоспасын құрылыс алаңына тасымалдау, онда ол орналастырылады. Бұл кезеңнің негізгі аспектісі - тасымалдау кезінде қоспаны үздіксіз араластыру. Бұл қоспаның біртектілігі мен икемділігін сақтау, сондай-ақ іргетас құрылысы кезінде оның оңтайлы орналастырылуын қамтамасыз ету үшін қажет.



5.1-сурет - Қадаларға арналған модификацияланған бетон өндірісінің блок-схемасы

Астана қаласында іргетас құрылысы кезінде бұрғыланған қадаларды орнату процесі 5.2-суретте көрсетілген. Осы тарауда ұсынылған технологиялық

диаграммалар мен әдістерді пайдалану бетон конструкцияларының жоғары сапасына және, демек, құрылымның беріктігі мен қауіпсіздігіне ықпал етеді.



5.2-сурет - Астана қаласындағы іргетас құрылысы кезінде бұрғыланған қада технологиясын қолдана отырып, қадаларды орнату

Құрылыс алаңындағы құрылыс жұмыстары кезінде механикалық технология көмегімен жасалған технологиялар мен оңтайлы бетон құрамдары сәтті енгізілді. Бұл сәтті енгізу нәтижесінде технологиялық, физикалық, механикалық және пайдалану қасиеттері жақсартылған технологиялар мен оңтайлы бетон құрамдары жасалды. Бұл қасиеттер бұрғыланған қадаларды өндіру үшін маңызды, олар тек жоғары беріктікті ғана емес, сонымен қатар әртүрлі пайдалану жағдайларында материалдың тұрақтылығын да қамтамасыз етеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Су шығынын азайтуға және бетон қоспасының компоненттерін тиімді байланыстыруға бағытталған бетонды модификациялауға арналған СМС алу процесі жасалды. Қоспа компоненттерін араластыру кезінде АРА қолдану қоспаның механикалық белсендірілуін қамтамасыз етеді. Қоспа компоненттерін байланыстырған кезде қадамдардың тізбегін сақтау маңызды: SCB мен NaOH өзара еруі, эмульсияны гипспен араластыру, АРА көмегімен дисперсиялау және вакуумдық қаптама. Бұл процесс суда оңай еритін, гидрофобизация мен пластификацияны қамтамасыз ететін біртекті эмульсияны қамтамасыз етеді. Цементтің технологиялық қасиеттеріне, цемент пастасы беріктігіне және бетонның физикалық және механикалық қасиеттеріне сынақтың әсерін анықтау үшін СМС-нің гидратация өнімінің құрамының түзілуіне әсері зерттелді. Цемент пастасын рентгендік фазалық талдау, әсіресе қоспаның негізгі компоненті - SCB контекстінде, қоспаның цементтің құрылымдық өзгерістері мен қасиеттеріне әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Бұл қоспа цемент жүйесіне айтарлықтай әсер етеді, таза цементпен салыстырғанда кату уақытын 30%-ға қысқартады, бұл құрылыс жұмыстарын жеделдетеді және оның беріктігін арттырады. Сонымен қатар, цемент-күм қоспасының жұмысқа жарамдылығының жақсарғаны байқалды, бұл оның жұмысқа жарамдылығын анықтау үшін маңызды. Құрамдас бөліктерді араластыру процесінің тізбегін қоса алғанда, бұрғыланған қадаларды өндіру үшін ауыр бетон қоспаларын таңдау әдісі ұсынылды. Оңтайлы өнімділікке қол жеткізуге бағытталған қоспалардың екі түріне - қоспасыз эталондық қоспаға және ағынды суларды пайдаланып қоспа енгізілген қоспасы бар қоспаға сынақтар жүргізілді. Қоспаға енгізбес бұрын қоспаны АРА-да механикалық және химиялық белсендіру жоғары дисперсияны және біркелкі таралуды қамтамасыз етті.

Бетонда жасалған қоспаның барлық компоненттерін бірлесіп қолдану өте тиімді екені дәлелденді. Зерттеулер қоспаның компоненттерінің өзара әрекеттесуі бетонның техникалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Атап айтқанда, қоспаның бірлескен әсері бетонның агрессивті ортаға төзімділігін арттыратыны анықталды, бұл әсіресе химиялық белсенді ортада жұмыс істеген кезде маңызды. Әзірленген қоспа бетонның аязға төзімділігін арттырады, бұл оны температураның ауытқуы жағдайында сенімдірек етеді. Ол судың сіңуін азайтады, бұл бетон конструкцияларының беріктігін арттырады және судың зақымдануының алдын алады. Сондай-ақ, ол бетонның сығылу беріктігін арттырады, оның әртүрлі құрылыс жағдайларындағы сенімділігі мен беріктігін арттырады. Ең жақсы нәтижелерге қоспаны цемент массасының 5-тен 7,5%-ға дейін (СКБ) және 1,5-тен 2%-ға дейін (гипс) мөлшерінде қолданған кезде қол жеткізіледі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕРІНІҢ ТІЗІМІ

1. Пьянков С. А. Свайные фундаменты //Учебник для строительных вузов. Издательство УлГТУ, Ульяновск, 2007. - 105 с.
2. Царькова Ю.Р., Внукова О.В., Волкова И.Л. Свайные фундаменты //Профессия инженер. - 2021. - С. 284-287.
3. Nikiforova N. S., Konnov A. V. Forecast of the soil deformations and decrease of the bearing capacity of pile foundations operating in the cryolithozone //International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. - 2022. - Т. 18. - №. 1. - С. 141-150. DOI:10.22337/2587-9618-2022-18-1-141-150
4. Ватин, Н. И., Баданин, А. Н., Булатов, Г. Я., & Колосова, Н. Б. Устройство свайных фундаментов: учебное пособие, 2012. - 225 с.
5. Купчикова Н. В., Максимов А. О., Зинченко Д. В. Эволюция технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями //Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Материалы национальной научно-практической конференции. Астрахань. - 2018. - С. 113-121.
6. Грутман М. С. Свайные фундаменты, 1969. - 193 с.
7. Берлинов М.В. Основания и фундаменты. - М.: Высшая школа, 1999. - 320 с.
8. Костерин Э.В. Основания и фундаменты. - М.: Высшая школа, 1990. - 217 с.
9. Руководство по проектированию свайных фундаментов. - М.: Стройиздат, 1980.
10. Poulos, H. G., & Davis, E. H. Pile foundation analysis and design. - New York : Wiley, 1980. - Т. 397.
11. Kempfert H. G., Gebreselassie B. Pile foundation //Excavations and Foundations in Soft Soils. - 2006. - С. 349-460. https://doi.org/10.1007/3-540-32895-5_6
12. Mandolini, A., Russo, G., & Viggiani, C. Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design //Proceedings of the international conference on soil mechanics and geotechnical engineering. - AA Balkema Publishers, 2005. - Т. 16. - №. 1. - С. 177. DOI:10.3233/978-1-61499-656-9-177
13. Prakash S., Sharma H. D. Pile foundations in engineering practice. - John Wiley & Sons, 1991.
14. Poulos H. G. Pile foundations //Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook. - Boston, MA : Springer US, 2001. - С. 261-304. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1729-0_10
15. Viggiani C., Mandolini A., Russo G. Piles and pile foundations. - CRC Press, 2014.
16. Жусупбеков, А. Ж., Енкебаев, С. Б., Лукпанов, Р. Е., Султанов, Г. А., & Бойко, М. В. К расчету осадки свайных фундаментов высотных зданий в грунтовых условиях Астаны. - 2012.

17. Кайруллинова А. М. Исследование работы свайных фундаментов при статической нагрузке //Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. - 2018. - Т. 21. - С. 92-95.
18. Веремьева, А. В., Фотиева, В. А., Столбикова, А. А., & Сапрыкина, В. С. Устройство буронабивных свай //Актуальные проблемы науки и техники. - 2023. - С. 202-206.
19. Mussabayev, T. T., Zhumadilova, N. Z., Portnov, V. S., & Mussina, S. K. Инженерно-геологические условия территорий объектов строительства правобережья города Астаны // Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. - 2023. - Т. 145. - №. 4. - С. 275-291. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-275-291>
20. Солонов Г. Г., Печеникин А. В., Артеменко М. О. Преимущества и недостатки буронабивных свай //Европейские научные исследования. - 2020. - С. 200-201.
21. Кочерженко А. А., Андреева Д. А. Технология возведения буронабивных свай-оболочек в неустойчивых грунтах//Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения ВГ Шухова. - 2023. - С. 126-129.
22. Мангушев Р. А., Пономарев А. Б. К вопросу контроля качества изготовления и приемки буронабивных свай //Construction and Geotechnics. - 2014. - №. 3. - С. 87-109.
23. Бузин В. В. Совершенствование технологических особенностей для устройства свайных фундаментов //Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее. - 2023. - С. 104-107.
24. Дзагов А. М. Технологические аспекты устройства буронабивной сваи и их влияние на несущую способность сваи //Геотехника. - 2017. - №. 2. - С. 24-41.
25. Осокин А. И., Татаринов С. В., Сбитнев А. В. Особенности устройства буронабивных свай при подаче бетонной смеси под давлением //Промышленное и гражданское строительство. - 2006. - №. 9. - С. 65-66.
26. Невейков, А. Н., & Пойта, П. С. Эффективность применения напрягающих бетонов для изготовления буронабивных свай // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2009. - № 1. - С. 27-30.
27. Гериев Р.Р., Жильникова Т.Н. Технология буронабивных свай //Актуальные проблемы науки и техники. 2022. - 2022. - С. 805-806.
28. Осокин, А. И., Сбитнев, А. В., Серебрякова, А. Б., & Татаринов, С. В. Особенности устройства буронабивных свай в слабых грунтах //Промышленное и гражданское строительство. - 2006. - №. 6. - С. 50-52.
29. Андриевский С.Н., Гуненко Н.А., Завалишина Т.В. Экспериментальные исследования при зимнем бетонировании буронабивных свай //Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). - 2002. - Т. 5. - №. 3. - С. 22-29.

30. Веремьева А.В., Фотиева, В. А., Столбикова, А. А., & Сапрыкина, В.С. Устройство буронабивных свай //Актуальные проблемы науки и техники. - 2023. - С. 202-206.
31. Леонович С. Н., Снежков Д. Ю., Будревич Н. А. Исследование качества буронабивных свай Impact-Echo методом (неразрушающий контроль). - 2021.
32. Костин С. М. Способ увеличения несущей способности буронабивной сваи //Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова. - 2017. - С. 1066-1069.
33. Серватинский В. В., Холодов С. П., Холодов В. С. Влияние геологических и конструктивных факторов на оптимальные размеры уширения буронабивных свай //Национальная ассоциация ученых. - 2020. - №. 62-1. - С. 37-39.
34. Трофименков Ю. Г., Ободовский А. А. Область эффективного применения буронабивных свай //Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1972. - №. 6. - С. 19-20.
35. Шинкевич В. А., Яриз В. В., Гресь Д. А. Строительный контроль при устройстве буронабивных свай при возведении подземных сооружений //Сметно-договорная работа в строительстве. - 2020. - №. 12. - С. 23-29.
36. Вшивков А. С., Бочкарева Т. М. Применение композитных материалов в технологии устройства буронабивных свай в обсадных трубах //Construction and Geotechnics. - 2016. - Т. 7. - №. 2. - С. 69-75. DOI: 10.15593/2224-9826-/2016.2.07
37. Якименко А. Н., Куц А. А., Лейер Д. В. Исследование прочности буронабивных свай //Научное обеспечение агропромышленного комплекса. - 2017. - С. 1202-1203.
38. Крук, М.А., Корчевный, Д. С., Карпюк, И. А., & Карпюк, В. М. Устройство буронабивных свай в условиях плотной городской застройки // Школа Науки. - 2021. - № 1(38). - С. 26-27. - DOI 10.5281/zenodo.4473682.
39. Шулятьев О. А., Шарафутдинов Р. Ф., Шулятьев С. О. Обобщение результатов испытаний буронабивных свай в скальных грунтах //Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2022. - №. 1. - С. 2-7.
40. Осокин А. И., Денисова О. О., Шахтарина Т. Н. Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки //Жилищное строительство. - 2014. - №. 3. - С. 16-21.
41. Добрынина О. В. Технология применения буронабивных свай в строительном производстве //Colloquium-journal. - Голопристанський міськрайонний центр зайнятості= Голопристанский районный центр занятости, 2019. - №. 27-1. - С. 46-47.
42. Богоявленский Н. А. и др. Применение современного оборудования для буронабивных свай в транспортном и гражданском строительстве//Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. - 2015. - Т. 1. - С. 327-332.

43. Микишанин Е.А. Эффективность использования буровых свай //Наука сегодня: глобальные вызовы, пути развития. - 2023. - С. 167-172.
44. Руководство по устройству буронабивных свай большого диаметра. Москва. Стройиздат. 1977.
45. Тамразян А. Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы //Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - Т. 7. - С. 51-4.
46. Тамразян А. Г. Бетон и железобетон-взгляд в будущее //Вестник МГСУ. - 2014. - №. 4. - С. 181-189.
47. Федосов Н. Н., Клиничук Е. С., Вербицкая Т. Л. Новые строительные материалы //Строительные материалы. - 2010. - №. 3. - С. 67-68.
48. Чернов И.Н. Современные материалы для производства бетонных конструкций //Строительные материалы. - 2010. - №. 3. - С. 44-45.
49. Гусев Б. В., Фаликман В. Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития //Евразийский союз ученых. - 2015. - №. 2-2 (11). - С. 15-18.
50. Розенталь Н. К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод //Бетон и железобетон. - 2011. - №. 2. - С. 78-85.
51. Бабков В. В. и др. Вопросы эффективности применения высокопрочных бетонов в железобетонных конструкциях //Жилищное строительство. - 2009. - №. 10. - С. 43-43.
52. Давидюк А. Н. Бетон в строительстве-новые вызовы и перспективы //Вестник НИЦ Строительство. - 2017. - №. 1. - С. 5-13.
53. Umarov I. I. et al. The use of sulfur concrete in reinforced concrete structures //Journal of new century innovations. - 2023. - Т. 43. - №. 1. - С. 65-75.
54. Баженов Ю. М. Технология бетона. - 2002.
55. Шишканова В. Н., Путилова М. Н. Особенности структуры мелкозернистого бетона и его преимущества //Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время. - 2018. - №. 3.
56. Гусев Б. В., Фаликман В. Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития //Евразийский союз ученых. - 2015. - №. 2-2 (11). - С. 15-18.
57. Колосова Н. Б. Проблемы современного бетона и железобетона //Инженерно-строительный журнал. - 2011. - №. 8. - С. 4-4.
58. Mehta P. K. Advancements in concrete technology //Concrete International. - 1999. - Т. 21. - №. 6. - С. 69-76.
59. Егоров Е. С., Самченко С. В. Повышение экологичности технологий производства товарного бетона и ЖБИ. - 2021.
60. Зима А. Г. Экологичность конструкционных строительных материалов //Инженерно-строительный вестник Прикаспия. - 2020. - №. 2 (32). - С. 40-49.
61. Воронкова Ю., Тюменцева Е. Ю. Экологичность современных строительных материалов //Безопасность городской среды: материалы IV Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 308-314.
62. Шамис Е., Холдаева М., Иванов В. Инновационная технология производства бетонных смесей //Buletinul INCERCOM. - 2012. - №. 2. - С. 48-52.

63. Фатеева В. В. Взаимосвязь требований прочности, энергоэффективности и экологичности строительных конструкций и материалов в национальных стандартах //Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций. - 2014. - С. 298-302.
64. Пикула А. И. Конструктивная экологичность как основная концепция будущего развития строительных материалов. - 2014.
65. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны: научное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.
66. Баженов Ю. М., Муртазаев С. А. Ю., Сайдумов М. С. Строительные композиты на основе бетонного лома и отходов камнедробления //Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий. - 2014. - Т. 334.
67. Баженов, Ю., Муртазаев, С. А., Сайдумов, М., & Аласханов, А. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. - Litres, 2022.
68. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. пособие для технолог. специальностей строит. Вузов. - 3-е изд. -М.: АСВ, 2011. -528 с.
69. Баженов Ю.М., Батаев Д.К-С., Муртазаев А.Ю. Энерго- и ресурсосберегающие материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений: научное издание. С-. -М.: Издательство «Комтехпринт», 2006. -235 с.
70. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. - М.: АСВ, 2006. - 368 с.
71. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений //М.: Стройиздат. - 1965. - С. 27-43.
72. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения. - Минск: Высшая школа, 1991. -188 с.
73. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. - М.: Стройиздат, 1990. - 400 с.
74. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. -2006. -№ 10. -С. 4-7.
75. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цемента, растворов и бетонов. - М., 1979. - 124 с.
76. Скрамтаев Б.Г. Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси / Б.Г. Скрамтаев. -М.: ЦНИИПС, 1936. - 384 с.
77. Долгополов Н.Н., Долгополов Л.А., Феднер, Н.Н., Суханов М.А. Некоторые вопросы развития технологии строительных материалов // Строительные материалы. -1994. -№1. -С.5-6.
78. Долгополов Н.Н., Суханов М.А., Федоров С.В., Шестоперов В.С. и др. Бетоны и растворы на высокоосновном вяжущем с низкой водопотребностью // Цемент. - 1990. - №1. - С. 16-18.

79. Каприелов, С.С., Булгакова Н.Г. Высокопрочный пневмобетон с добавкой микрокремнезема для защитных покрытий // Бетон и железобетон. - 1993. - №5. - С. 7-8.
80. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. - 1999. - №6(501). - С. 6-10.
81. Bui V.K., Montgomery D., Hinczac J. Rapid testing method for segregation resistance of self - compacting concrete // Cement and Concrete Research 32, -2003. -PP.1489-1496. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00811-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00811-6)
82. Grube, P., Lemmer C. Von Gussbeton Zum Selbstverdichtenden Beton. Geburtstag von. Prof. Dr. - Ing. Peter Schiepl. Heft. / Ruhl. -2003. -S.243-149.
83. Kordts, S. Selbstverdichtender Beton; in: Beitrage zum 41. Forschungskolloquium des DafStb. - 2003. №3. -S.42-48.
84. Wittman, F.H. Duktilitat versus Festigkeit. Fest - schrift zum 60. Geburstag von. Prof. Dr.-Ing Peter Schliipi. 2003. -S.267-276.
85. Дорофеев В. С., Мишутин А. В. Повышение долговечности бетона тонкостенных гидротехнических сооружений за счет применения комплексных модификаторов. - 2007.
86. Стаценко А. Технология бетонных работ. - Litres, 2021.
87. Тринкер А. В. Факторы, влияющие на долговечность бетона //Технологии бетонов. - 2012. - №. 9-10. - С. 64-66.
88. Трамбовецкий В. П. К вопросу о долговечности бетона //Технологии бетонов. - 2010. - №. 3-4. - С. 38-39.
89. Нестеров Д. М. Меры по обеспечению надежности и долговечности зданий и сооружений из железобетона //Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова. - 2019. - С. 1278-1281.
90. Карпенко Н. И. и др. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций //Academia. Архитектура и строительство. - 2015. - №. 1. - С. 93-102.
91. Gjörv O. E. Durability of concrete structures //Arabian Journal for Science and Engineering. - 2011. - Т. 36. - С. 151-172. <https://doi.org/10.1007/s13369-010-0033-5>
92. Nogueira C. G., Leonel E. D., Coda H. B. Reliability algorithms applied to reinforced concrete structures durability assessment //Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. - 2012. - Т. 5. - С. 440-450.
93. Muigai R., Moyo P., Alexander M. Durability design of reinforced concrete structures: a comparison of the use of durability indexes in the deemed-to-satisfy approach and the full-probabilistic approach //Materials and structures. - 2012. - Т. 45. - С. 1233-1244. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9829-y>
94. Rodrigues, R., Gaboreau, S., Gance, J., Ignatiadis, I., & Betelu, S. Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring //Construction and Building Materials. - 2021. - Т. 269. - С. 121240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121240>

95. Faris N. et al. Corrosion assessment using ground penetrating radar in reinforced concrete structures: Influential factors and analysis methods //Automation in Construction. - 2023. - Т. 156. - С. 105130. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105130>
96. Otieno M. B., Beushausen H. D., Alexander M. G. Modelling corrosion propagation in reinforced concrete structures-A critical review //Cement and Concrete composites. - 2011. - Т. 33. - №. 2. - С. 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.11.002>
97. Каблов Е. Н., Старцев О. В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) //Авиационные материалы и технологии. - 2015. - №. 4 (37). - С. 38-52.
98. Пахомова Е. Г., Семеринов В. Г., Гутенева Е. И. Анализ факторов, влияющих на работоспособность железобетонных конструкций инженерных сооружений при воздействии агрессивных сред //Известия Юго-Западного государственного университета. - 2016. - №. 6. - С. 81-88.
99. Blikharsky Y. et al. Study of concrete under combined action of aggressive environment and long-term loading //Materials. - 2021. - Т. 14. - №. 21. - С. 6612. <https://doi.org/10.3390/ma14216612>
100. Negrutiu C. et al. Crack analysis of reinforced high strength concrete elements in simulated aggressive environments //Procedia Technology. - 2016. - Т. 22. - С. 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.002>
101. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: учеб. для вузов. - Москва: Стройиздат, 1986. - 464 с.
102. Шейкин, А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости / Львов: Стройиздат, 1989. - 128 с.
103. Комохов, П.Г. Научно-техническая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 1) // Строительные материалы,оборудование, технологии XXI века. - 2002. - № 4. - С.36-37.
104. Комохов, П.Г. Научно-техническая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 2) // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2002. - № 5. - С. 26-27.
105. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости /- К.: Будивэльных, 1991. - 144 с.
106. Соломатов В.И., Кононова О.В., Особенности формирования свойств цементных композиций при различной дисперсности цементов и наполнителей // Изв. Вузов «Строительство и архитектура». - 1991. - № 5. - С. 42-45.
107. Robert J.F.G. Concrete for underground structures: Guidelines for design and construction // Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). - 2011. - 178 p.
108. Яковлев В.В. Прогнозирование коррозионной стойкости бетона и железобетона в агрессивных жидких и газовых средах. Дис. ...д. т. Н. - М., 2000. - 411с.

109. Харченко И. Я. и др. Применение расширяющихся цементов для фибронабрызгбетона при строительстве подземных сооружений //Вестник МГСУ. - 2017. - Т. 12. - №. 3 (102). - С. 334-340.
110. Стогов, С. Н., Семенов, А. Н., Гильштейн, С. Р., Куликов, Е. Г., Крутов, В. К., & Кабанов, В. Е. Устройство для возведения подземного сооружения из монолитно-прессованного бетона. - 2001.
111. Стогов, С. Н., Абрамов, А. М., Гильштейн, С. Р., Семенов, А. Н., & Мякишев, А. С. Способ возведения подземного сооружения из монолитно-прессованного бетона и устройство для его осуществления. - 2001.
112. Анпилов С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона //Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов. - 2010.
113. Kongar-Syuryun, C., Tyulyaeva, Y., Khairutdinov, A. M., & Kowalik, T. Industrial waste in concrete mixtures for construction of underground structures and minerals extraction //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - IOP Publishing, 2020. - Т. 869. - №. 3. - С. 032004. DOI 10.1088/1757-899X/869/3/032004
114. Gilyazidinova N., Shabanov E., Liu X. Use of slag concrete in construction of underground structures and mines //E3S Web of Conferences. - EDP Sciences, 2019. - Т. 105. - С. 01039.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501039>
115. Pleshko M., Meskhi B., Pleshko M. A new method for calculating the combined anchor-concrete support of underground structures //MATEC Web of Conferences. - EDP Sciences, 2018. - Т. 170. - С. 03023.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201817003023>
116. Борщевский С. В., Михеева А. А. Совершенствование технологии производства бетонной смеси для подземных сооружений. - 2013.
117. Voronov A. Features of Chemical and Biochemical Aggressiveness of Underground Water in Relation to Concretes Used in Underground Environment of Saint Petersburg //International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry «Interagromash». - Cham : Springer International Publishing, 2022. - С. 3075-3084. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21432-5_339
118. Ariaratnam S. T., Chan W., Choi D. Utilization of trenchless construction methods in mainland China to sustain urban infrastructure //Practice Periodical on Structural Design and Construction. - 2006. - Т. 11. - №. 3. - С. 134-141. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2006\)11:3\(134\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2006)11:3(134))
119. Толстой, А.Д., Лесовик, В.С., Новиков, К.Ю., Крымова, А.И., Аллахам, Я.С., & Вырмакин, А.В. Возможности применения техногенного сырья для изготовления порошковых бетонов //Наукоемкие технологии и инновации. - 2016. - С. 413-419.
120. Усиков С. А. Некоторые тенденции в технологии высокопрочных бетонов //Международный студенческий строительный форум-2018 (К 165-летию со дня рождения ВГ Шухова). - 2018. - С. 329-334.

121. Черемисина Н. А. Применение высокопрочных бетонов в строительстве //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки-развитию регионов Сибири. - 2011. - Т. 2. - С. 193-196.
122. Jacobsen, S., Gran, H. C., Sellevold, E. J., & Bakke, J. A. High strength concrete—freeze/thaw testing and cracking //Cement and concrete research. - 1995. - Т. 25. - №. 8. - С. 1775-1780. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00173-5](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00173-5)
123. Caldarone M. A. High-strength concrete: a practical guide. - CRC press, 2014.
124. Пирожков Н. А., Кетов А. С. Анализ современного состояния и перспективы применения самоуплотняющихся бетонов в России и за рубежом //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. - 2018. - Т. 2. - С. 269-278.
125. Tipu R. K., Suman, Batra V. Enhancing prediction accuracy of workability and compressive strength of high-performance concrete through extended dataset and improved machine learning models //Asian Journal of Civil Engineering. - 2024. - Т. 25. - №. 1. - С. 197-218. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00768-1>
126. Bedov A. I. et al. Analysis and Development of Innovative Concrete Compositions in the Republic of Bashkortostan //Materials Science Forum. - Trans Tech Publications Ltd, 2023. - Т. 1082. - С. 240-247. <https://doi.org/10.4028/p-z9n36v>
127. Шилкина С. В., Филатова А. Ю. Автоматизация процесса приготовления бетонной смеси как средство повышения эффективности производства бетона //Вестник МГСУ. - 2011. - №. 6. - С. 248-251.
128. Пахоменко А., Починчук Н., Шипицин С. Автоматизированная система управления технологическим процессом производства бетонных смесей //Современные технологии автоматизации. - 2005. - №. 1. - С. 32.
129. Жадановский Б. В., Синенко С. А., Кужин М. Ф. Организационно-технологические решения приготовления и транспортирования бетонных смесей //Технология и организация строительного производства. - 2014. - №. 4. - С. 25-27.
130. Колбасин А. М. Автоматизация технологического процесса управления производством многокомпонентных сыпучих бетонных смесей с учетом ошибок дозирования //Москва. - 2007.
131. Дребезгов, Д. А., Чернышева, Н. В., Капуста, И. Н., & Хлебникова, И. С. Влияние химических модификаторов на свойства композиционных гипсовых вяжущих //Эффективные строительные композиты. - 2015. - С. 143-150.
132. Селяев В. П., Низина Т. А., Балбалин А. В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов //Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2013. - №. 31-2. - С. 156-163.
133. Самусевич А. Н. Использование химических модификаторов в портландцементных растворах. - 2009.

134. Хотянович О. Е. Комплексная химическая добавка для бетона //Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. - 2018. - №. 1 (205). - С. 81-85.
135. Строительева Е. А. Исследования механизма воздействия комплексных полифункциональных модификаторов на структуру и свойства тяжелого бетона //International scientific review. - 2016. - №. 3 (13). - С. 50-54.
136. Касторных Л. И., Черепанов В. Д. Изменение растекаемости цементных композиций с добавкой полифункционального модификатора //Молодой исследователь Дона. - 2019. - №. 5 (20). - С. 27-33.
137. Пономарева Ю. А., Жильникова Т. Н. Сравнение способов подачи бетонной смеси //Актуальные проблемы науки и техники. 2020. - 2020. - С. 1723-1724.
138. Жалова И. В., Нагманова А. Н. Технологии укладки бетонной смеси, применяемые в монолитном строительстве //Вестник науки. - 2019. - Т. 2. - №. 2 (11). - С. 106-111.
139. Сейитмырадов, С., Батыров, О., Аннамаммедов, А., & Джумамырадов, С. Пластификаторы и суперпластификаторы бетонных смесей //Инновационная наука. - 2023. - №. 4-2. - С. 49-50.
140. Бадьин Г. М. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. - БХВ-Петербург, 2013.
141. Наров Р. Влияние комплексной добавки на свойство бетона //Сейсмическая безопасность зданий и сооружений. - 2023. - Т. 1. - №. 1. - С. 196-200.
142. Печеный Б. Г., Лукьяненко В. В., Пиценко Я. А. Влияние пластификаторов и суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов с загрязняющими примесями в заполнителе //Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. - 2005. - №. 2. - С. 39-44.
143. Юхневский П. И. О механизме пластификации цементных композиций добавками. - 2010.
144. Муртазаев, С. А., Сайдумов, М. С., & Муртазаева, Т. Сравнительный анализ суперпластификаторов для монолитных бетонных смесей //Наукоемкие технологии и инновации. - 2019. - С. 313-319.
145. Удодов С. А. Повторное введение пластификатора как инструмент управления подвижностью бетонной смеси //Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». - 2015. - №. 9. - С. 175-185.
146. Shvachev, D., Borisenko, Y., Vorobyev, D., & Kornienko, V. Modified dry construction mixture for additive technologies //E3S Web of Conferences. - EDP Sciences, 2023. - Т. 457. - С. 01011.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345701011>
147. Темешева Д. К., Плотникова Л. Г. Повышение качества высокоподвижных бетонных смесей для монолитного строительства //Ползуновский альманах. - 2021. - №. 1. - С. 173-175.

148. Saidumov, M. S., Murtazaeva, T. A., Salamanova, M. S., Alaskhanov, A. K., & Ismailova, Z. K. Water-reducing and plasticizing additives for highly mobile concrete mixtures //International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of HI Ibragimov (ISEES 2019). - Atlantis Press, 2019. - С. 333-337. DOI:10.2991/isees-19.2019.96
149. Sopov, V., Dolgiy, V., Latores, K., & Zhuravlov, Y. High-mobility concrete mixes for concrete-filled steel tube structures of complex cross-section //International Journal of Engineering & Technology. - 2018. - Т. 7. - №. 4.8. - С. 295-300.
150. Kastornykh, L., Kholodnyak, M., Osipchuk, I., & Kaklyugin, A. Modified concrete mixes for monolithic construction //Materials Science Forum. - Trans Tech Publications Ltd, 2021. - Т. 1043. - С. 81-91. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.81>
151. Шабанова Г.Н., Логвинков С.М., Шумейко В.Н., Корогодская А.Н., Рыщенко И.М. Модифицирующие добавки для композиционных вяжущих материалов, 2020. - 198 с.
152. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината С3А и смесей С3А-гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование // Колл. журнал. - 2000. т. 62. - № 1. - С. 31-38.
153. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01// Бетон и железобетон. - 1997. - №5. - С. 38-41.
154. Фаликман В.Р., Вовк А.И., Вовк Г.А., и др. Гидратация С3А и некоторые свойства мономинерального камня с суперпластификатором С-3./-Сб. трудов НИИЖБ. - 1988. - С. 43-51.
155. Тараканов О. В., Белякова Е. А. Влияние суперпластификаторов на пластичность цементных и минеральных паст //Технологии бетонов. - 2013. - №. 2. - С. 18-20.
156. Сулейманова, Л.А., Погорелова, И.А., Слепухин, А.С., & Плехова, С.И. Высокотехнологичные бетоны с использованием суперпластифицирующих добавок на основе поликарбоксилата //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. - 2016. - №. 9. - С. 63-66.
157. Xu, Y., Liu, X., Jiang, M., Lai, G., Li, S., Wang, Z., & Cui, S. Effect of competitive hydrolysis of diester in polycarboxylate superplasticizer on the fluidity of cement paste //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. - 2023. - Т. 671. - С. 131691. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131691>
158. Bodnarova L., Jarolím T., Hela R. Study of effect of various types of cement on properties of cement pastes //Advanced Materials Research. - 2014. - Т. 897. - С. 224-229. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.224
159. Агеев А. А., Волков В. А. Адсорбция поверхностно-активных веществ, 2015. - 222 с.

160. Малинин Ю.С., Ватутина Л.С., Юдович Б.Э. Комплексные соли в процессах предгидратации цемента / Исследование процессов гидратации и твердения специальных цементов. - М.: НИИЦемент, 1980. - С. 71-79.
161. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы. 2-е издание переработанное и дополненное. - М.: Стройиздат, 1983. - 279 с.
162. Шестоперов С.В. Долговечность бетона. - Москва.: Автотрансиздат, 1960. - 512 с.
163. Тотурбиев Б. Д., Мамаев С. А., Тотурбиев А. Б. Комплексное использование ресурсов нерудного минерального сырья в производстве строительных материалов //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. - 2020. - №. 1. - С. 116-120. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-64-1-114-118
164. Ткач Е. В., Темирканов Р. И. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема //Инновации и инвестиции. - 2019. - №. 10. - С. 289-292.
165. Rakhimova, G., Slavcheva, G., Aisanova, M., Rakhimov, M., & Tkach, E. The influence of a complex additive on the strength characteristics of concrete for road construction //GEOMATE Journal. - 2023. - Т. 25. - №. 110. - С. 243-250. DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.110.3934>
166. Tkach E., Filimonova Y. Modified concrete for irrigation and drainage construction //E3S Web of Conferences. - EDP Sciences, 2023. - Т. 410. - С. 01007. doi:10.1051/e3sconf/202341001007
167. Батраков В.Г. Адсорбция и пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3 в зависимости от состава цемента // Бетоны с эффективными модифицирующими добавками: сб. науч. тр. - М.: НИИЖБ, 1985. - С. 8-14.
168. Федорцов, В. А., Гладкин, С. С., Федорцов, А. П., & Ерофеев, В. Т. Влияние комплексной добавки на кислотостойкость цементного камня //Эксперт: теория и практика. - 2023. - №. 3 (22). - С. 114-120. doi:10.51608/26867818_2023_3_114
169. Крамар Л.Я., Кудяков А.И., Трофимов Б.Я., Шулдяков К.В. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2017. - №4. - С. 147-157.
170. Brooks J. J., Johari M. A. M., Mazloom M. Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete //Cement and concrete Composites. - 2000. - Т. 22. - №. 4. - С. 293-301. DOI:10.1016/S0958-9465(00)00025-1
171. Косенок Ю. Г. и др. Влияние модифицирующих добавок на свойства тяжелого бетона//Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. - 2021. - С. 661-665.
172. Кастирных Л.И., Бессчетнов И.И. О проектировании состава бетона буронабивных свай //Строительство и архитектура-2015. - 2015. - С. 379-380.
173. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Новые комплексные добавки на основе эфиров поликарбоксилата //Технологии бетонов. - 2012. - №. 3-4. - С. 34-35.

174. Калашников В. И., Тараканов О. В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения //Строительные материалы. - 2017. - №. 1-2. - С. 62-67.
175. Ткач Е.В., Рахимов М.А., Шинтемиров К.С., Соловьев В.И. Добавка в бетонную смесь. Патент на изобретение KZ10428 от 16.07.2001.
176. Дронов В.М., Ткач Е.В., Соловьев В.И., Исаков С.М. Способ приготовления комплексной добавки к цементобетонной смеси. Патент на изобретение KZ16651 от 15.12.2005.
177. Исаков С.М., Ткач Е.В., Соловьев В.И., Дронов В.М. Комплексная добавка к цементу. Патент на изобретение KZ16645 от 15.12.2005.
178. Иманов М.О., Соловьев В.И., Исаков С.М., Дронов В.М., Ткач Е.В. Комплексная добавка в бетонную смесь. Патент на изобретение KZ16952 от 15.02.2006.
179. Жарова С.С., Иманов М.О., Ткач Е.В., Соловьев В.И., Жаров С.В. Способ зимнего бетонирования. Патент на изобретение KZ16295 от 14.10.2005.
180. Свищ И. С. Поликарбоксилаты и добавки для бетонов на их основе //Строительство и техногенная безопасность. - 2012. - №. 43. - С. 59-64.
181. Akchurin T. K., Tukhareli A. V., Cherednichenko T. F. Effective concrete modified by complex additive based on waste products of construction acrylic paints //Procedia Engineering. - 2016. - Т. 150. - С. 1468-1473. DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.083
182. Sobolev K. The development of a new method for the proportioning of high-performance concrete mixtures //Cement and Concrete Composites. - 2004. - Т. 26. - №. 7. - С. 901-907. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2003.09.002.
183. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties //Construction and building materials. - 2013. - Т. 45. - С. 324-331. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.
184. Berardi U., Gallardo A. A. Properties of concretes enhanced with phase change materials for building applications //Energy and Buildings. - 2019. - Т. 199. - С. 402-414. DOI:10.1016/j.enbuild.2019.07.014.
185. Алтынбекова А. Д., Лукпанов, Р. Е., Енкебаев, С. Б., Дюсембинов, Д. С., & Ержанова, Н. К. Удобоукладываемый бетон быстрого твердения для производства буронабивных свай //Строительство и реконструкция. - 2022. - №. 2. - С. 99-111. DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-99-111>.
186. Altynbekova Aliya, Lukpanov Rauan, Dyusseminov Duman, Tokanov Daniyar, Orazova Dinara. Influence Research of Modified Additives on Concrete Properties. Труды Университета Серия Строительство №4, Караганда, 2023 г. С. 188-194 DOI: DOI 10.52209/1609-1825_2023_4_188
187. Altynbekova AD, Lukpanov RE, Dyusseminov DS, Askerbekova AM, Tkach EV. Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. 2023;325(2):29-38. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.15>

188. Алтынбекова, А., Лукпанов, Р., Думан, Д., Цыгулев, Д., & Токанов, Д.. Developed modified additive impact evaluation on the concrete strength characteristics //Вестник ВКТУ. - 2023. - №. 3. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_31
189. Altynbekova AD, Lukpanov RE, Dyusseminov DS, Askerbekova AM, Gunasekaran Murali. Effect of a complex modified additive based on post-alcohol bard on the strength behavior of concrete. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. 2023; 327(4):5-14. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.34>
190. Алтынбекова А., Лукпанов, Р., Думан, Д., Аскербекоева, А., & Жантлесова, Ж. Оценка эффективности комплексной модифицированной добавки на подвижность цементно-песчаной смеси //Вестник ВКТУ. - 2023. - №. 1. - С. 30-40. DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_30
191. Алтынбекова, А. Д., Лукпанов, Р. Е., Дюсембинов, Д. С., Цыгулев, Д. В., Енкебаев, С. Б., & Ержанова, Н. К. Разработка комплексной добавки для производства буронабивных свай //Строительство и реконструкция. -2023. - №. 6. - С. 131-143. DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-110-6-131-143>
192. Altynbekova, A., Lukpanov, R., Yenkebayev, S., Tsygulyov, D., & Nurbayeva, M. Complex Laboratory Studies of Modified Additive Influence on Concrete Physical and Mechanical Properties //GEOMATE Journal. - 2022. - Т. 23. - №. 100. - С. 26-33. DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>

Ғылыми басылым

А.Д. Алтынбекова

**Бұрғылап құйылатын қадаларды өндіруге арналған модификацияланған
бетон құрамы**

монография

Жауапты редактор А.Д. Алтынбекова
Техникалық редактор А.Д. Алтынбекова
Дизайн және өндеу А.Д. Алтынбекова



Таралымы 500 дана
Қаріп түрі «Times New Roman»
Тапсырыс № 500

«Enter Group» ЖШС-де басылып шығарған.
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы,
Пушкин көшесі, 15Б үй, тел: +7 (7172) 27 48 85