



ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ СУ ӨТКІЗБЕУ ҚАСИЕТІН ЖӘНЕ АЯЗҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

ORCID: 0009-0000-2626-888X **М.Ж. Ануарбеков**¹, ORCID: 0000-0002-1396-1973
Д. Н. Кадырханова^{1*}, ORCID: 0009-0001-6334-9731
А.А. Утебаев¹

¹«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: dana.kad98@gmail.com

Аннотация. Бұл мақала гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи тәсілдерін зерделеуге арналған. Зерттеудің мақсаты – минералды пуццолан қоспалары мен талшықты арматураны қолдану арқылы бетонның микроқұрылымын тығыздау және оның ұзақ мерзімді беріктігін жоғарылатудың тиімділігін анықтау. Жұмыста халықаралық тәжірибелер, соның ішінде Канада, Жапония және Қытай елдеріндегі технологиялар талданып, Қазақстан жағдайына бейімдеу мүмкіндіктері қарастырылды.

Методология ретінде Сем I 42,5 Н цементі негізінде үш түрлі бетон құрамы дайындалып, олардың жалпы және капиллярлық су сіңіру қасиеттері ГОСТ стандарттарына сәйкес зерттелді. Минералды қоспа ретінде 20 % күл-унос, ал жарықшаға төзімділікті арттыру үшін 0,9 кг/м³ полипропилен талшығы қолданылды.

Нәтижелер күлдің енгізілуі суды сіңіруді шамамен 15 % төмендететінін, ал күл мен талшықты бірге қолдану бұл көрсеткішті 21 % - ға дейін азайтатынын көрсетті. Капиллярлық су сіңіру мөлшері де 29 % төмендеді. Бұл қоспалар бетонның суға және аязға төзімділігін арттыруда жоғары тиімді екенін дәлелдеді.

Зерттеудің практикалық маңызы – гидротехникалық құрылыстардың ұзақ мерзімділігі мен сенімділігін арттыру, сондай-ақ цементті өнеркәсіптік қалдықтармен ішінара алмастыру арқылы материал құнын төмендету.

Кілт сөздер: гидротехникалық бетон, су өткізбейтіндік, аязға төзімділік, күл-унос, полипропилен талшығы, капиллярлық су сіңіру, пуццолан қоспалары.

Кіріспе

Гидротехникалық құрылыстардың беріктігі оларды қауіпсіз және үнемді пайдаланудың негізгі факторларының бірі болып табылады. Бөгеттер, құлыптар, теңіз толқындары, каналдар мен айлақ құрылыстары судың тұрақты әсеріне, температураның өзгеруіне, механикалық жүктемелерге және агрессивті химиялық ортаға ұшырайды. Солтүстік аймақтар мен биік таулы аймақтарға тән климаттық ауытқулар жағдайында бетонның өзара байланысты екі қасиеті - су өткізбейтін және аязға төзімді.

Суға төзімділіктің бұзылуы ылғалдың бетон тесіктері мен капиллярларына енуіне әкеледі, бұл арматураның коррозия процестерін жеделдетіп қана қоймайды, сонымен қатар мұздату кезінде материалдың бұзылуына алғышарттар жасайды. Циклдік мұздату және еріту жағдайында бетон тесіктеріндегі су кристалданады, көлемі ұлғаяды және ішкі

кернеулерді тудырады, нәтижесінде жарықтар мен беріктік жоғалады. Уақыт өте келе бұл құрылымдардың тез қартаюуына, олардың жұмыс сенімділігінің төмендеуіне және тіпті төтенше жағдайларға әкелуі мүмкін.

Соңғы онжылдықтарда әлемдік құрылыс тәжірибесінде бетондардың су мен төмен температураға төзімділігін арттыру мақсатында оларды өзгерту әдістері белсенді дамып келеді. Химиялық қоспалар, минералды микро және наномодификаторлар, сондай - ақ цемент тасының микроқұрылымын мақсатты түрде өзгертуге, кеуектілікті төмендетуге және материалдың тығыздығын арттыруға мүмкіндік беретін күрделі минералды байланыстырғыштар әзірленіп, қолданылады.

Нақты пайдалану жағдайында сынақтан өткен шетелдік технологиялар ерекше қызығушылық тудырады. Сонымен, Норвегия мен Канадада қатты аязда және тұздардың жоғары әсерінде сәтті жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғыларға арналған бетон құрамы жасалды. Жапонияда ылғал мен агрессивті заттардың енуінен қосымша қорғауды қамтамасыз ететін титан нанодиоксидін қолдана отырып, теңіз құрылыстарына арналған шешімдер жүзеге асырылды. Қытайда төмен температура мен ультракүлгін сәулеленудің жоғарылауын біріктіретін биік таулы жерлерде жұмыс істейтін бөгеттер мен су тораптарына арналған бетонды модификациялау жүйелері енгізілді.

Бұл жұмыстың мақсаты-гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи әдістерін жүйелеу және талдау, халықаралық тәжірибе мысалында әртүрлі қоспалар мен модификаторлардың тиімділігін қарастыру, сондай-ақ Қазақстанның климаттық және ресурстық жағдайлары үшін осы технологияларды бейімдеу мүмкіндіктерін анықтау.

Hydro-Québec компаниясының бірқатар жобалары, сондай – ақ Британдық Колумбия провинциясында орналасқан су тораптары бірнеше рет мұздату-еріту циклдары жағдайында құрылымның жоғары тығыздығы мен беріктігін қамтамасыз етуге бағытталған гидротехникалық бетон құрамдарын енгізді. Бұл технологиялардың негізі су-цемент қатынасын 0,35-0,40 деңгейіне дейін төмендету болып табылады, бұл капиллярлық өткізгіштікті айтарлықтай төмендетеді және цемент тасының кеуек жүйесіне ылғалдың енуін шектейді.

Минералды компоненттер ретінде поззолан қоспалары оңтайландырылған дозаларда кеңінен қолданылады: тұтқыр массаның 15-20 % мөлшерінде күл-уноса және 5-8 % көлемінде микрокремнезем. Оларды қолдану микропораларды толтыруға, қайталама ылғалдандыруды күшейтуге және қосымша кальций гидросиликатының (C–S–H) түзілуіне ықпал етеді, бұл су өткізбейтіндігін де, аязға төзімділігін де жақсартады.

Нақты пайдалану жағдайында сынақтан өткен шетелдік технологиялар ерекше қызығушылық тудырады. Сонымен, Норвегия мен Канадада қатты аязда және тұздардың жоғары әсерінде сәтті жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғыларға арналған бетон құрамы жасалды. Жапонияда ылғал мен агрессивті заттардың енуінен қосымша қорғауды қамтамасыз ететін титан нанодиоксидін қолдана отырып, теңіз құрылыстарына арналған шешімдер жүзеге асырылды. Қытайда биік таулы жерлерде жұмыс істейтін бөгеттер мен су тораптарына арналған бетондарды модификациялау жүйелері енгізілді, мұнда төмен температура біріктіріліп, Домна түйіршікті қожының (GGBS) 40 % - на дейін қосылып, беріктіктің баяу, бірақ біркелкі жиынтығын және құрылымның кеш қатаю кезеңінде айтарлықтай тығыздалуын қамтамасыз етеді. GGBS қолдану сонымен қатар бетонның сульфат коррозиясына төзімділігін арттырады, бұл минералданған және коррозиялық су орталарының әсерінен жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғылар үшін маңызды фактор болып табылады [1].

Жиі мұздату - еріту циклдары (F/T) жағдайында жұмыс істеу үшін канадалық нормативтік тәсілдер қатайтылған бетон құрылымында жабық ауа тесіктерінің оңтайлы жүйесін қалыптастыруды көздейді. Тартылған ауаның нысаналы құрамы 5-7% диапазонында белгіленеді, бұл ретте spacing factor параметрі (кеуектер арасындағы орташа қашықтық) бақыланады, ол 200 мкм аспауы тиіс. Ауа жүйесінің мұндай конфигурациясы

ішкі кернеулер мен микрокректердің пайда болу қаупін азайта отырып, мұздатылған кезде судың кеңеюін өтеу үшін резервтік қуыстардың жеткілікті көлемінің болуын қамтамасыз етеді.

Қажетті сипаттамаларға қол жеткізу үшін әр түрлі илеу және қатаю температураларында тері тесігінің пайда болуының тұрақтылығымен ерекшеленетін ағаш қышқылдарының шайырларына негізделген ауа тартатын қоспалар қолданылады. Мұндай қоспаларды қолдану ауа құрылымының тұрақтылығын бұзбайтын және су-цемент қатынасы төмендеген кезде қоспаның жоғары жұмыс қабілеттілігін сақтауға мүмкіндік беретін үйлесімді суперпластификаторларды енгізумен қатар жүреді.

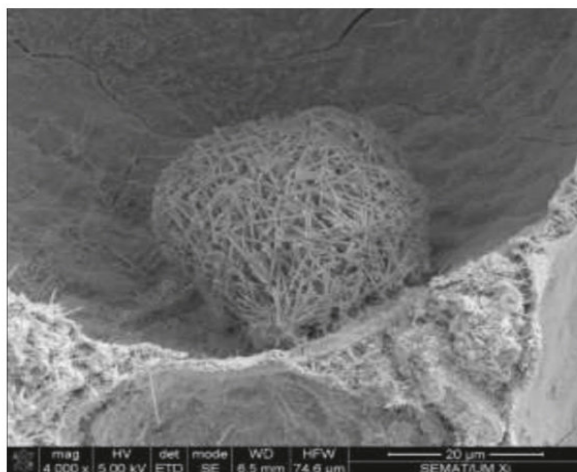
Ауа жүйесінің параметрлерін бақылау жаңа қоспа сатысында да (мысалы, ASTM с 231 қысымы сияқты далалық әдістерді пайдалана отырып) және қатайтылған бетонда - сызықтық қима әдісімен және ASTM с 457 стандарты бойынша кеуектерді санау арқылы жүзеге асырылады. Мұндай екі сатылы мониторинг технологиялық параметрлерді уақтылы түзетуге және сериялық өндірісте бетонның тұрақты сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [2].

Бұл жұмыстың мақсаты-гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи әдістерін жүйелеу және талдау, халықаралық тәжірибе мысалында әртүрлі қоспалар мен модификаторлардың тиімділігін қарастыру, сондай-ақ Қазақстанның климаттық және ресурстық жағдайлары үшін осы технологияларды бейімдеу мүмкіндіктерін анықтау.

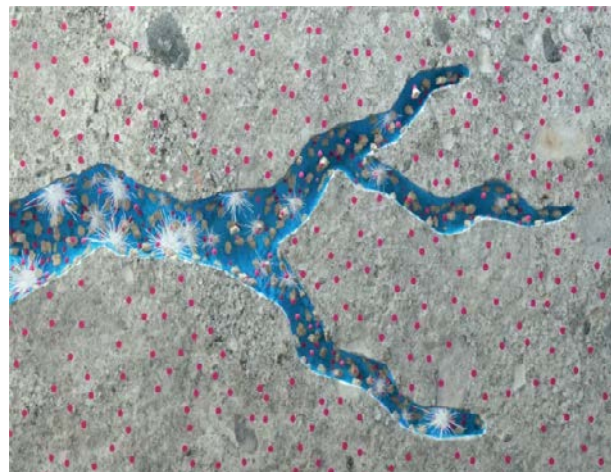
Hydro - Québec компаниясының бірқатар жобалары, сондай - ақ Британдық Колумбия провинциясында орналасқан су тораптары бірнеше рет мұздату - еріту циклдары жағдайында құрылымның жоғары тығыздығы мен беріктігін қамтамасыз етуге бағытталған гидротехникалық бетон құрамдарын енгізді. Бұл технологиялардың негізі су-цемент қатынасын 0,35-0,40 деңгейіне дейін төмендету болып табылады, бұл капиллярлық өткізгіштікті айтарлықтай төмендетеді және цемент тасының кеуек жүйесіне ылғалдың енуін шектейді.

Минералды компоненттер ретінде поззолан қоспалары онтайландырылған дозаларда кеңінен қолданылады: тұтқыр массаның 15-20 % мөлшерінде күл-уноса және 5-8 % көлемінде микрокремнезем. Оларды қолдану микропораларды толтыруға, қайталама ылғалдандыруды күшейтуге және қосымша кальций гидросиликатының (C-S-H) түзілуіне ықпал етеді, бұл су өткізбейтіндігін де, аязға төзімділігін де жақсартады.

Канададағы гидротехникалық құрылыстардың беріктігін арттырудың қосымша бағыты, әсіресе жөндеу жұмыстарын жүргізу үшін қол жетімділігі шектеулі шалғай объектілерде интегралды кристалды Гидроизоляцияны қолдану болып табылады (хурех, Kryton және т.б. бренд атаулары). Бұл материалдар бетон қоспасының құрамына құрғақ ұнтақ қоспалары түрінде енгізіледі немесе қатаюдың алғашқы кезеңдерінде беткі сіндіру ретінде қолданылады.



1 - сурет. Кристалды гидроокшаулағыш бетон матрицасының микроқұрылымы (Хурех), 28 күн, $\times 5000$



2 - сурет. Интегралды кристалды гидроизоляцияның әсер ету механизмінің схемасы

Sem-судың және агрессивті иондардың енуіне жол бермейтін ерімейтін кристалдармен кеуектердің толтырылуын көрсететін сурет.

Белсенді химиялық қосылыстардың бетон тесіктеріне енуі және гидратталған цемент өнімдерімен әрекеттесу нәтижесінде кристалдық құрылымның түзілуі көрсетілген.

Олардың әсер ету механизмі цемент тасының капиллярлық-кеуекті құрылымындағы ерімейтін кристалды қосылыстардың өсуіне негізделген. Бұл кристалдар қоспаның белсенді компоненттерінің цементті ылғалдандыру өнімдерімен және кеуекті сұйықтықта болатын иондармен әрекеттесуі нәтижесінде пайда болады. Микропоралар мен капиллярларды толтыру арқылы олар су мен еріген тұздардың көші-қонына кедергі келтіретін тығыз тосқауыл жасайды.

Мұндай технологияның басты артықшылығы - өзін-өзі емдеу-ылғалмен қайта байланыста болған кезде кристалдану процесі қайта басталады, бұл ені 0,4 мм-ге дейінгі микрокректерді блоктауға және осылайша материалдың су өткізбейтіндігін сыртқы араласусыз қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Қолдану тәжірибесі көрсеткендей, мұндай жүйе суды сіңіру коэффициентін және сүзу коэффициентін тиімді төмендетеді, сонымен қатар өзгермелі ылғалдандыру және қысымды судың әрекеті жағдайында бетонның қызмет ету мерзімін арттырады [3].

Квебек провинциясының солтүстік аудандарының қатал климаты жағдайында, гидротехникалық қондырғылар қарқынды мұздату-еріту циклдарына, мұздануға және мұздың түсуіне ұшырайды, бетон беттерін ылғалмен тікелей байланыста болудан және температураның күрт өзгеруінен қорғауға ерекше назар аударылады.

Бірқатар бөгеттер мен су төгетін құрылыстарда келесі шешімдер сыналды және енгізілді:

- Полиуретан немесе поливинилхлорид (ПВХ) негізіндегі мембраналық жабындар, олар қатты су өткізбейтін тосқауыл жасайды және ылғалдың бетонның беткі қабаттарына енуіне жол бермейді.

- Қорғаныс жабынының қосымша икемділігін қамтамасыз ететін бүріккіш эластомерлі қабаттар температура градиенттерін төмендетеді және нәтижесінде термиялық крекинг қаупін азайтады.

- Бүріккіш әсер ету аймақтарына орналастырылған түйіршікті оқшаулағыш материалдар (минералды немесе полимерлі), бұл бетон элементтерінің циклдік сулану және кату қарқындылығын төмендетуге мүмкіндік береді.

Сынақтар көрсеткендей, мұндай жабындар мен оқшаулау жүйелерін кешенді қолдану құрылымдардың қызмет ету мерзімін 20-30 % - ға ұзартуға мүмкіндік береді, бұл судың

өзгермелі деңгейі мен мұз әсерінің аймақтарындағы бетонның деградация қарқынын төмендетеді [4].

Канаданың бірқатар гидротехникалық нысандарында жүргізілген пайдалану бақылаулары мен зертханалық сынақтардың нәтижелері поззолан қоспаларын кешенді қолдану және интегралды кристалды гидрооқшаулау кезінде бетонның ұзақ мерзімді өнімділігінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. Атап айтқанда, келесі көрсеткіштер тіркелді:

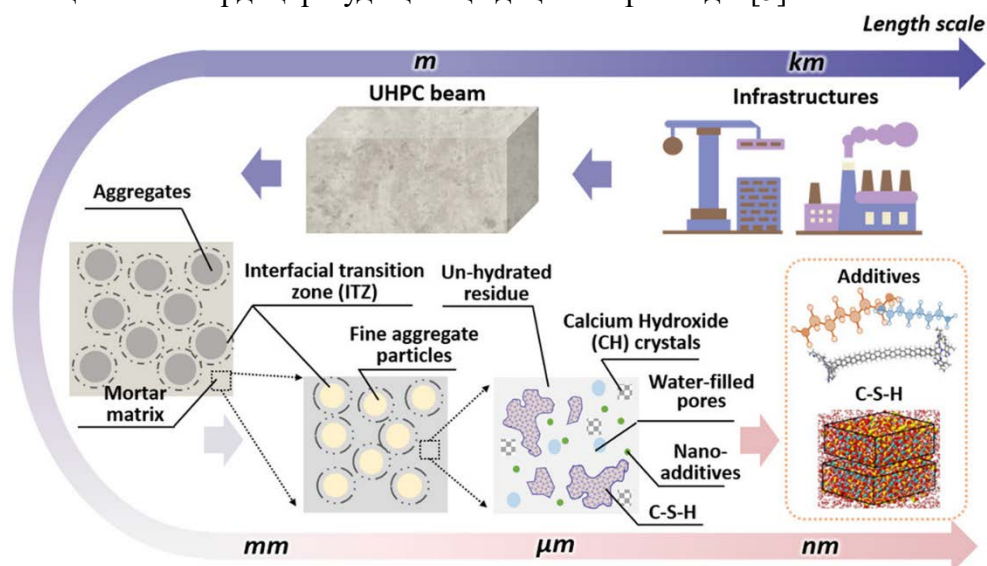
- Су өткізбейтін брендтің W8-ден W16-ға дейін өсуі, бұл цемент тасын поззоландармен тығыздаудың және капиллярлық кеуектердің Кристалл түзетін компоненттермен бітелуінің бірлескен әсеріне байланысты.

- Ауа кеуектері жүйесін онтайландыру кезінде аязға төзімділікті F300–ден F600-ге дейін арттыру, бұл жиі мұздату-еріту циклдары жағдайында бетон ресурсын айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

- RCPT (ASTM C1202) әдістемесіне сәйкес сынақ нәтижелері бойынша хлоридтердің енуін 50 - 70 % - ға төмендету, бұл су деңгейінің өзгермелі аймақтарында арматураның коррозиясын болдырмаудың негізгі факторы болып табылады.

Осылайша, канадалық тәжірибе минералды қоспалар мен заманауи терең гидрооқшаулағыш жүйелердің интеграциясы қатал климат жағдайында су өткізбейтіндігін, аязға төзімділігін және хлорид агрессиясына төзімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді [4].

Жапонияда Ultra-High Performance fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPFRC) технологиялары белсенді дамып келеді, олар жоғары беріктікті, төмен кеуектілікті және жарыққа төтеп беру қабілетін біріктіреді. Бұл материалдар созылу кезінде "strain-hardening" әсерін тудыратын C-S-H және талшықтардың түзілуі арқылы тығыздалған микроқұрылымның дамуымен сипатталады. Атап айтқанда, тығыз матрицасы бар uhpfrc зерттеулері оның төмен өткізгіштігін және күрделі жұмыс жағдайында, соның ішінде ылғал мен жарықтардың әсерінен жоғары төзімділігін растайды. Мұндай композиттерді қолдану гидротехникалық элементтерді қорғаудың жаңа деңгейін ұсынады [5].



3 сурет - Ультра берік бетон құрылымының көп масштабты моделі (UHPFC)

Макро, микро және нано деңгейлердегі компоненттердің өзара әрекеттесуін, соның ішінде болат талшықтарының таралуын, ультра ұсақ бөлшектерді және ылғалдандыру өнімдерін түсіндіреді.

Жапондық бетон қоғамы шеңберінде жүргізілген зерттеулер мұздату - еріту циклдарының әсерінен бетон құрылымдарының мінез-құлқына бағытталған. Атап айтқанда, модельдеу «мұзды күшейту» әсерлерін ескереді-бұл кезде кеуектердегі мұздатылған су статикалық және шаршау жүктемелері кезінде құрылымның беріктігі мен

каттылығын қысқаша арттыра алады. Бұл деректер суық гидродинамикалық жағдайда бетон құрылымдарының беріктігін түсіну үшін пайдалы [6].

Жапондық зерттеулер көрсеткендей, кішірейтетін қоспалар бетонның аязға төзімділігіне теріс әсер етуі мүмкін. Оларды пайдалану толық ылғалдандыру процесіне кедергі келтіруі және кеуек жүйесіндегі ауаның таралуын нашарлатуы мүмкін. Бұл кеуектің өрескел құрылымына және мұздатылған кезде ең кішкентай жарықтарға сезімталдықтың жоғарылауына әкеледі. Осылайша, қоспаларды таңдау олардың шөгу процестеріне ғана емес, сонымен қатар F / T циклдерінің беріктігіне әсерін ескере отырып бақылануы керек [7].

Кесте 1 - Әртүрлі елдердегі бетонның аязға төзімділігін арттыру технологияларын салыстырмалы талдау

Мемлекет	Негізгі технологиялар мен тәсілдер	Бетонның сипаттамаларына әсері	Қолдану ерекшеліктері
Канада	- Ағаш қышқылының шайырларына негізделген ауа тартатын қоспалар, ауаны бақылау (ASTM C457). - Интегралды кристалды гидрооқшаулағыш (Хурех, Kryton). - Мембраналық және бүріккіш жабындар, түйіршікті оқшаулағыш қабаттар. - Поззолан қоспалары мен кристалды Гидроизоляцияны біріктіру.	- W-ны W8-ден W16-ға дейін арттыру. - Аязға төзімділікті F300-ден F600-ге дейін арттыру. - Хлоридтердің енуінің 50-70 % төмендеуі (RCPT).	- Жиі F / T циклдары бар солтүстік аймақтарда кеңінен қолданылады. - Жөндеуге қолжетімділігі шектеулі объектілерде қолданылады. - Ылғал мен тұздардан кешенді қорғауға баса назар аудару.
Япония	- Uhpfrc қолдану (ультра берік талшықты бетон). - Бетонның F/T мінез-құлқын көп масштабты модельдеу («ice-strengthening»). - Шөгу және аязға төзімділік бойынша қоспаларды кешенді бағалау.	- Суды сіңірудің айтарлықтай төмендеуі. - Жарықтардың пайда болуын азайту. - Айнымалы температурада беріктікті арттыру.	- Беріктіктің құннан басымдығы. - Аса жауапты гидротехникалық құрылыстар үшін пайдаланылады. - Ғылыми негізделген қоспаларды таңдауға баса назар аудару.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу үшін портландцемент негізіндегі тұтқыр Сем I 42,5 Н (ГОСТ 31108) көмегімен гидротехникалық бетон үлгілері жасалды. Жергілікті жылу электр станциясынан алынған күл (ФА) цементті ішінара ауыстыру ретінде қолданылды. Күлдің мөлшері цемент массасының 20 % құрады. Құрылымды өзгерту және жарыққа төзімділікті арттыру үшін композицияға полипропилен талшықтары енгізілді (0,9 кг/м³).

Толтырғыштар: ГОСТ 8736 және ГОСТ 8267 талаптарына сәйкес келетін 2,2 ірі модулі бар кварц құмы және 5-20 мм фракциясының қиыршық тастары. Су-цемент қатынасы (В/С) 0,42-ге тең деп қабылданды.



4 сурет - Үлгілерді дайындау процесі

Үлгілердің үш сериясы дайындалды:

- Негізгі бетон (НБ) - минералды және талшықты қоспаларсыз бақылау құрамы;
- Күлмен бетон (КБ) - цементті күлмен алмастырудың 20 % - ы;
- Күл-таспа және талшықты бетон (КЖТБ) - 20 % күл-таспа + 0,9 кг/м3 фибра.

Сынақтар қалыпты жағдайда 28 күндік қатаюдан кейін 100×100×100 мм текшелерде жүргізілді ($t = 20 \pm 2$ °C, $RH = 95$ %).

Суды сіңіруді анықтау МЕМСТ 12730.3-2020 сәйкес жүргізілді. Үлгілер тұрақты массаға дейін сумен қаныққан (5 - сурет), содан кейін (105 ± 5) °C температурада кептірілген.



5 сурет - Үлгілерді қанықтыру процесі

Суды сіңіру формула бойынша анықталды:

$$W = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100 \%,$$

мұндағы m_n - қаныққан үлгінің массасы, г; m_c - құрғақ үлгінің массасы, г.

Капиллярлық суды сіңіруді бағалау үшін үлгілер тұрақты массаға дейін кептіріліп, ішінара 5 мм тереңдікке батырылды. 24 сағат ішінде 30 минут, 1 сағат, 3 сағат, 6 сағат және 24 сағаттан кейін массаның өсуі тіркелді. алынған мәліметтер негізінде капиллярлық суды сіңіру қисықтары салынды.

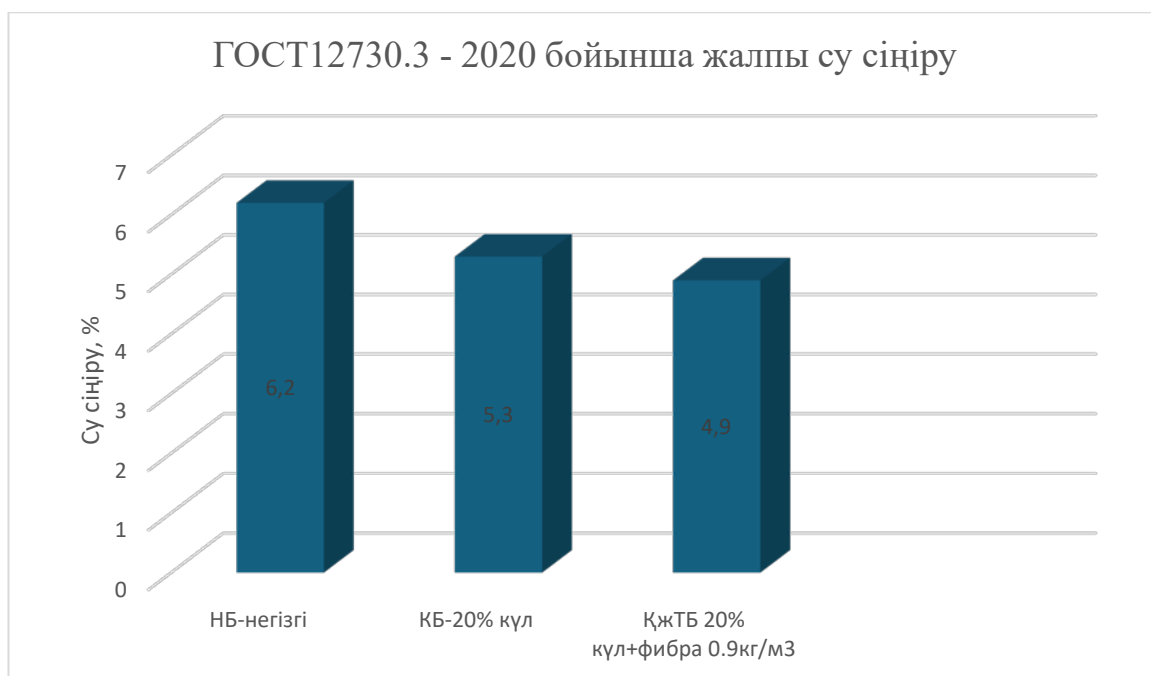
Нәтижелер және талқылау

ГОСТ 12730.3-2020 бойынша жалпы суды сіңіру анықтамасы минералды және талшықты қоспаларды енгізу бетонның гидрофизикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетті (сурет).

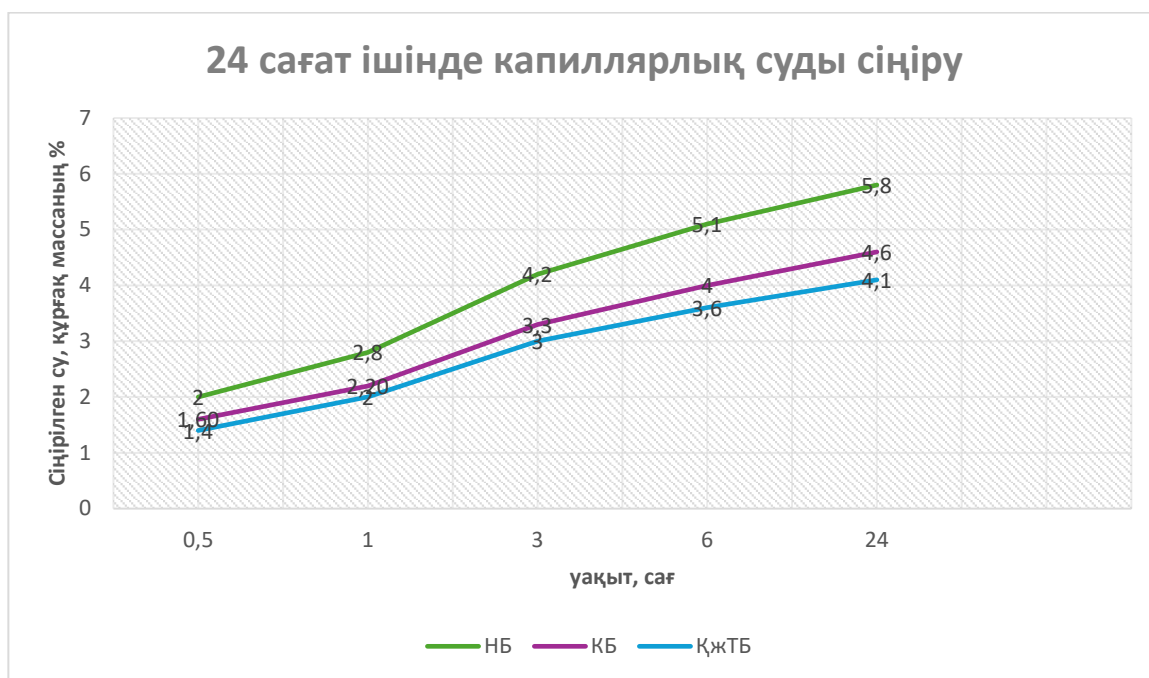
Негізгі құрамда (ВВ) суды сіңіру 6,2 % құрады, бұл арнайы модификаторлары жоқ ауыр бетондарға тән мәндерге сәйкес келеді. Цементтің 20 % - зол күлмен алмастыру (ВЗ) бұл көрсеткішті 5,3 % - ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді, яғни бақылау құрамымен салыстырғанда шамамен 15 % - ға. Бұл күлдің позолан белсенділігімен түсіндіріледі, соның арқасында цемент тасының құрылымын тығыздайтын және ашық кеуектілікті төмендететін кальций гидросиликаттарының қосымша мөлшері пайда болады.

Суды сіңірудің ең төменгі мәні аралас қоспалары бар бетонға (ВЗФ) бекітілген: тек 4,9 %, бұл бақылау үлгісінен 21 % төмен. Төмендеу Қос әсерге байланысты: күлді кетіру арқылы құрылымды тығыздау және полипропилен талшықтары арқылы микрокректердің дамуын блоктау. Соңғысы жарыққа төзімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар капиллярлық каналдардың пайда болуына жол бермейді, бұл суға төзімділікке оң әсер етеді.

Осылайша, күлді талшықтармен бірге пайдалану гидротехникалық бетондардың беріктігін арттырудың тиімді бағыты болып табылады. Суды сіңірудің төмендеуі олардың су өткізбейтіндігінің жоғарылауымен тікелей байланысты және жанама түрде теріс температурада фазалық ауысуларға ұшырайтын кеуектердегі бос ылғал мөлшерін азайту арқылы аязға төзімділіктің жоғарылауын көрсетеді.



6 сурет - ГОСТ 12730.3-2020 бойынша әр үлгінің жалпы суды сіңіру қасиеттері



7 сурет - 24 сағат ішінде капиллярлық суды сіңіру

Нәтижелерді талдау көрсеткендей, күлді шығару цемент тасының құрылымын тығыздау және макропоралардың санын азайту арқылы судың жалпы сіңуін ~ 15 % төмендетеді. Полипропилен талшығымен қосымша күшейту одан әрі төмендеуге қол жеткізді (4,9 % дейін), бұл микрокректер мен капиллярлық өткізгіштіктің дамуына кедергі келтіретін «микроарма» әсерімен байланысты.

Капиллярлық суды сіңіру нәтижелері бойынша модификацияланған қосылыстардағы ылғал жинау жылдамдығы бақылаудан әлдеқайда төмен екендігі анықталды. Ең үлкен әсерге күл мен талшықты бірге енгізу арқылы қол жеткізіледі: 24 сағат капиллярлық сорғыдан кейін сіңірілген судың массасы тек 4,1 % құрады, бұл бақылау бетоннан 29 % төмен.

Осылайша, қоспалардың ұсынылған комбинациясы тығыздық микроқұрылымды қамтамасыз етеді және гидротехникалық бетондардың су өткізбейтін және ықтимал аязға төзімділігін арттыруға көмектеседі.

Қорытынды

Отандық және шетелдік зерттеулерге жүргізілген шолу гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттыруға цемент тасының микроқұрылымын өзгертетін поззолан сипатындағы минералды қоспаларды қолдану арқылы, сондай-ақ жарықтардың дамуына жол бермейтін талшықты арматура арқылы қол жеткізуге болатындығын көрсетті. Ең тиімді бағыт-ашық кеуектілікті азайтуға, құрылымның тығыздығын арттыруға және капиллярлық өткізгіштікті төмендетуге мүмкіндік беретін әртүрлі әдістерді кешенді қолдану.

Өздерінің эксперименттік зерттеулері басқа авторлардың нәтижелерін растады. Күлді шығару (цементті алмастырудың 20 %) судың сіңуін ~ 15 % төмендетуге ықпал ететіні анықталды, ал полипропилен талшығын қосымша енгізу (0,9 кг/м³) бетонның гидрофизикалық қасиеттерін одан әрі жақсартуды қамтамасыз етеді. Капиллярлық сорбцияға сәйкес, аралас қосылыстар судың қанығу жылдамдығының едәуір төмендеуімен және ылғалдың төменгі деңгейімен сипатталады, бұл тығыз және суға төзімді құрылымның қалыптасуын көрсетеді.

Осылайша, алынған нәтижелер гидротехникалық бетондар өндірісінде күл мен полипропилен талшықтарын пайдаланудың жоғары перспективасын растайды. Бұл

қоспалар су өткізбейтіндігін жақсарту және мұздату мен ерітудің бірнеше циклына ұшыраған кезде бұзылу қаупін азайту арқылы олардың беріктігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Жүргізілген зерттеулердің практикалық маңыздылығы мынада: күл мен полипропилен талшықтарын пайдалану гидротехникалық қондырғылардың беріктігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар цементті өнеркәсіптік қалдықтармен ішінара ауыстыру арқылы бетонның құнын төмендетеді. Бұл тәсіл құрылыс саласының тұрақтылығы мен тұрақты дамуына қойылатын заманауи талаптарға жауап береді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Thomas, M., Fournier, B., Folliard, K. «Field and Laboratory Investigations of High-Volume Fly Ash Concrete for Highway and Hydraulic Structures», Canadian Journal of Civil Engineering, 2008. - **журнал**
2. Hooton, R.D. et al., «Performance of air-entrained concretes in Canadian freeze-thaw environments», ACI Materials Journal, 2015. - **журнал (на англ)**
3. Pour-Ghaz, M., Isgor, O.B., «Evaluation of crystalline waterproofing admixtures in concrete structures», Cement and Concrete Composites, 2014. - **журнал (на англ)**
4. Ballivy, G., «Thermal insulation of hydraulic concrete dams: Modelling and field application», Canadian Journal of Civil Engineering, 1995. - **журнал (на англ)**
5. Japan Concrete Institute. Ultra High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPFRC) - Properties and Applications. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 4, No. 1. Доступно по ссылке: https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jact/4/1/_contents/-char/en - **электронный ресурс (на англ)**
6. Japan Society of Civil Engineers. Ice-strengthening effect on fatigue performance of concrete under freeze-thaw cycles. Concrete Committee Newsletter, No. 63. Доступно по ссылке: https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter63/Newsletter63_files/5.html - **электронный ресурс (на англ)**
7. Japanese Society of Cement. Effect of shrinkage-reducing admixtures on frost resistance and pore structure of concrete. Cement Science and Concrete Technology, Vol. 63, No. 1. Доступно по ссылке: https://www.jstage.jst.go.jp/browse/cement/63/1/_contents/-char/en - **электронный ресурс (на англ)**
8. Li V.C. Engineered Cementitious Composites (ECC): Bendable Concrete for Structural Applications // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2003. - Vol. 15(3). - P. 211-218. - **журнал (на англ)**
9. Kazem Shaker M.A., Mostafa M. Influence of Silica Fume and Fly Ash on Durability of Hydraulic Concrete // Construction and Building Materials. - 2020. - №254. - P. 119-129. - **журнал (на англ)**
10. Thomas M., Hooton R. Durability of Concrete Containing High-Volume Fly Ash under Freezing and Thawing Conditions // Cement and Concrete Research. - 2015. - №67. - P. 14-23. - **журнал (на англ)**
11. Yahia A., Tanimura M. Durability Performance of Fiber-Reinforced Hydraulic Structures in Cold Regions // Journal of Advanced Concrete Technology. - 2019. - Vol. 17. - P. 210-225. - **журнал (на англ)**
12. Хусаинов К.Т., Омаров А.С., Исаков Т.У. Прочностные характеристики гидротехнических бетонов с пуццолановыми добавками // Вестник КазННТУ. – 2021. – №3. - С. 45-52. - **книга**
13. Аманов Ж.К., Садыков Е.Б. Повышение морозостойкости бетона для северных регионов Казахстана // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2022. - №4. - С. 23–30. - **книга**
14. Neville A. Properties of Concrete. - 5th ed. - London: Pearson, 2011. - 864 p. - **книга (на англ)**

15. Mindess S., Young J., Darwin D. Concrete. - 2nd ed. - Upper Saddle River: Prentice Hall, 2017. – 642 p. **книга (на англ)**

16. Li V.C. Engineered Cementitious Composites (ECC): Bendable Concrete for Structural Applications // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2003. - Vol. 15(3). - P. 211-218. - **журнал (на англ)**

17. Хурех Chemical Corporation. Crystalline Waterproofing Technology for Hydraulic Structures. - Vancouver, 2021. - 56 p. - **электронный ресурс (на англ)**

18. ACI Committee 201. Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R–21). - American Concrete Institute, 2021. - 98 p. - **книга (на англ)**

19. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. - 4th ed. - McGraw-Hill Education, 2014. - 666 p. **книга (на англ)**

20. Basheer P.A.M., Basheer L., Long A.E. Durability and Performance of Concrete in Harsh Environments // Construction and Building Materials. - 2001. - №15(6–7). - P. 347-357. - **журнал (на англ)**

Авторлар туралы мәліметтер (үш тілде):

Ануарбеков Мұрабек Жасуланұлы - магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, mega.armor1@gmail.com

Ануарбеков Мурабек Жасуланович - магистрант кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, mega.armor1@gmail.com

Anuarbekov Murabek Zhasulanovich - Master's student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, mega.armor1@gmail.com

Кадырханова Данагүл Нұрланқызы - докторант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, dana.kad98@gmail.com

Кадырханова Данагуль Нурлановна - докторант кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, dana.kad98@gmail.com

Kadyrkhanova Danagul Nurlanovna - Doctoral student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, dana.kad98@gmail.com

Утебаев Алибек Ақылбекұлы - магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, alionepower02@gmail.com

Утебаев Алибек Ақылбекович - магистрант кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, alionepower02@gmail.com

Utebayev Alibek Akylbekovich - Master's student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, alionepower02@gmail.com

Авторлардың үлесі:

М.Ж.Ануарбеков – тұжырымдама, әдістемелік қолдау, ресурстар, нәтижелерді интерпретациялауға қатысу.

Д.Н.Кадырханова – негізгі тұжырымдама, әдістемелік тәсіл, деректерді жинау, сынақтар, модельдеу, толық талдау, визуализация, интерпретация, мәтінді дайындау, негізгі редакциялау.

А.А. Утебаев – деректерді жинауға көмек, сынақтар мен бастапқы талдауға қатысу, мәтінге ескертулер, жұмыстың жеке кезеңдеріне техникалық қолдау.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану: Авторлар осы жұмысты дайындау кезінде жасанды интеллект қолданған жоқ.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

ORCID: 0009-0000-2626-888X  **Ануарбеков М.Ж.¹,**
ORCID: 0000-0002-1396-1973  **Қадырханова Д.Н.^{1*},**
ORCID: 0009-0001-6334-9731  **Утебаев А.А.¹**

¹ кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

*Корреспондент: dana.kad98@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию современных способов повышения водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнических бетонов. Цель исследования – определить эффективность уплотнения микроструктуры бетона и повышения его долговременной прочности за счет применения минеральных пуццолановых добавок и дисперсного армирования волокнами. В работе проанализирован международный опыт, включая технологии Канады, Японии и Китая, а также рассмотрена возможность их адаптации к условиям Казахстана.

В качестве методологии использованы три бетонные смеси, изготовленные на основе цемента Сем I 42,5 Н; их общая и капиллярная водопоглощаемость исследованы в соответствии со стандартами ГОСТ. В качестве минеральной добавки применялось 20 % золы-уноса, а для повышения трещиностойкости - 0,9 кг/м³ полипропиленового волокна.

Полученные результаты показали, что введение золы снижает водопоглощение примерно на 15 %, а совместное использование золы и волокон уменьшает этот показатель до 21 %. Капиллярное водопоглощение также снизилось на 29 %. Эти данные подтверждают высокую эффективность добавок в повышении водостойкости и морозостойкости бетона.

Практическая значимость исследования заключается в повышении долговечности и надежности гидротехнических сооружений, а также в снижении стоимости материала за счет частичной замены цемента промышленными отходами.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, водонепроницаемость, морозостойкость, зола-унос, полипропиленовое волокно, капиллярное водопоглощение, пуццолановые добавки.

METHODS FOR ENHANCING THE WATERPROOFING AND FROST RESISTANCE OF HYDRAULIC CONCRETE

ORCID: 0009-0000-2626-888X  **M.Zh. Anuarbekov**¹,
ORCID: 0000-0002-1396-1973  **D.N. Kadyrkhanova**^{1*},
ORCID: 0009-0001-6334-9731  **A.A. Utebayev**¹

¹ Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: dana.kad98@gmail.com

Abstract. This article examines modern approaches to improving the waterproofing and frost resistance of hydraulic concrete. The aim of the study is to determine the effectiveness of densifying the microstructure of concrete and increasing its long-term durability through the use of mineral pozzolanic additives and fiber reinforcement. The research analyzes international practices, including technologies used in Canada, Japan, and China, and considers the potential for their adaptation to conditions in Kazakhstan.

The methodology involved preparing three concrete mixtures based on Cem I 42.5 N cement. Their total and capillary water absorption properties were investigated in accordance with GOST standards. As a mineral additive, 20 % fly ash was used, and 0.9 kg/m³ of polypropylene fiber was added to improve crack resistance.

The findings showed that the addition of fly ash reduced water absorption by approximately 15 %, while the combined use of fly ash and fibers decreased the indicator by up to 21 %. Capillary water absorption was also reduced by 29 %. These results confirm the high effectiveness of the additives in improving the water resistance and frost durability of concrete.

The practical significance of the study lies in enhancing the longevity and reliability of hydraulic structures, as well as reducing material costs through the partial replacement of cement with industrial by-products.

Keywords: hydraulic concrete, waterproofing, frost resistance, fly ash, polypropylene fiber, capillary water absorption, pozzolanic additives.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).