



DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_345
FTAXP 67.09.00

АВТОКЛАВТАЛМАҒАН ҰЯЛЫ БЕТОН ӨНДІРІСІНДЕ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТАЛАМА АЙНАЛЫМҒА ТАРТУ

ВОВЛЕЧЕНИЕ ВО ВТОРИЧНЫЙ ОБОРОТ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

RECYCLING OF METALLURGICAL WASTE IN THE PRODUCTION OF NON-AUTOCRAVED AERATED CONCRETE

Ж.М. Омаров ^{1*}, А.Н. Жаканов ², А.К. Муқышев ³, С.К. Есенгабулов ⁴,
Е.Б. Жаркенов ⁵

^{1,3}Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан

^{2,4,5}Д.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Ж.М. Омаров, e-mail: zhumabek-omarov@mail.ru

Түйінді сөздер:

Кілтті сөздер: автоклавсыз ұялы бетон, микро кремний диоксиді, ағынды сулар, жылу оқшаулағыш материалдар, қалдықтарды жою.

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазіргі жағдайда экологиялық жүктемені азайту және оларды жоюдың экономикалық тиімділігін арттыру үшін металлургия өнеркәсібі мен энергетика қалдықтарын тиімді пайдалану өзекті міндет болып табылады. Перспективалы бағыттардың бірі өнеркәсіптік қалдықтар негізінде құрылыс материалдарын өндіру болып табылады.

Бұл зерттеу металлургия саласының қалдықтарын қолдана отырып жасалған жылу оқшаулау сипаттамалары жақсартылған автоклавсыз газдалған бетонды әзірлеуді қарастырады. Жұмыстың негізгі мақсаты – ұялы бетонның құрамын жобалау, оның қасиеттерін зерттеу және алынған материалдардың техникалық-экономикалық көрсеткіштерін анықтау. Өзірленген құрамда 3,6 МПа-ға дейін сығымдағыш беріктік және 780 кг/м²-ге дейінгі тығыздық көзделеді, бұл құрылымдық және жылу оқшаулағыш материалдарға қойылатын талаптарға жауап береді. Микросиликаны қолдану ашық капиллярларды 25 %-ға төмендетуге мүмкіндік берді. Жұмыс барысында ғылыми әдебиеттерге талдау жүргізілді, ұялы бетон қоспалары мен дайын газдалған бетонның сипаттамалары зерттелді, материалдың құрылымдық қалыптасу процесі зерттелді. Сондай-ақ, өндірістік қалдықтарды қабырға материалдарын өндірудің негізгі шикізаты ретінде пайдалану мүмкіндіктері қарастырылған. Нәтижелер құрылыс индустриясында экологиялық таза және энергияны үнемдейтін технологияларды дамытуға ықпал етуі мүмкін.

Ключевые слова:

Неавтоклавный ячеистый бетон, микрокремнезем, сточные воды, теплоизоляционные материалы, утилизация отходов.

АННОТАЦИЯ

В современных условиях актуальной задачей является эффективное использование отходов металлургической промышленности и энергетике для снижения экологической нагрузки и повышения экономической эффективности их утилизации. Одним из перспективных направлений является производство строительных материалов на основе промышленных отходов.



В данном исследовании рассматривается разработка неавтоклавного газобетона с улучшенными теплоизоляционными характеристиками, созданного с применением отходов металлургической отрасли. Основной целью работы является проектирование составов ячеистого бетона, изучение его свойств и определение технико-экономических показателей полученных материалов. Разработанный состав обеспечивает прочность на сжатие до 3,6 МПа и плотность до 780 кг/м³, что соответствует требованиям для конструктивно-теплоизоляционных материалов. Использование микрокремнезема позволило уменьшить открытые капилляры на 25 %. В ходе работы проведен анализ научной литературы, исследованы характеристики ячеисто бетонных смесей и готового газобетона, изучены процессы структурообразования материала. Также рассмотрены возможности использования промышленных отходов в качестве основного сырья для производства стеновых материалов. Полученные результаты могут способствовать развитию экологически безопасных и энергоэффективных технологий в строительной отрасли.

Keywords:

Non-autoclaved aerated concrete, microsilica, wastewater, thermal insulation materials, waste disposal.

ABSTRACT

In modern conditions, an urgent task is the effective use of waste from the metallurgical industry and energy to reduce the environmental burden and increase the economic efficiency of their disposal. One of the promising areas is the production of building materials based on industrial waste.

This study considers the development of non-autoclaved aerated concrete with improved thermal insulation characteristics, created using waste from the metallurgical industry. The main purpose of the work is to design cellular concrete compositions, study its properties and determine the technical and economic indicators of the obtained materials. The developed composition provides compressive strength up to 3.6 MPa and density up to 780 kg/m³, which meets the requirements for structural and thermal insulation materials. The use of microsilica made it possible to reduce open capillaries by 25%.

In the course of the work, the analysis of scientific literature was carried out, the characteristics of cellular concrete mixtures and finished aerated concrete were studied, the processes of structure formation of the material were studied. The possibilities of using industrial waste as the main raw material for the production of wall materials are also considered. The results obtained can contribute to the development of environmentally friendly and energy-efficient technologies in the construction industry.

КІРІСПЕ

Заманауи құрылыс құрылыс материалдары саласында жаңа, тиімді және экологиялық таза шешімдерді үнемі іздеуді талап етеді. Орнықты дамуға жаһандық көшу жағдайында ресурстарды сақтауға, шикізатты қайта өңдеуге және өнеркәсіптің қоршаған ортаға теріс әсерін төмендетуге ерекше назар аударылады.

Техногендік компоненттерді пайдаланудың экологиялық және экономикалық артықшылықтарын анықтау. Қазақстан дамыған металлургиялық және жылу энергетикасына ие бола отырып, техногенді қалдықтарды жинақтау және кәдеге жарату бойынша күрделі проблемамен бетпе-бет келіп отыр. Республика аумағында жыл сайын миллиондаған тонна ұшатын күлі, шлак, күл және қож қоспалары және басқа да



қалдықтар түзіледі, олар көп жағдайда елеулі аумақтарды алып жатқан және экологиялық жағдайға қолайсыз әсер ететін полигондар мен қоймаларда сақталады.

Оларды ұтымды пайдаланудың перспективалы бағыттарының бірі өндірісте құрылыс материалдарын, атап айтқанда, автоклавсыз қатайтудың ұялы бетон қоспаларын пайдалану болып табылады. Мұндай тәсіл бір мезгілде бірнеше міндеттерді шешуге мүмкіндік береді: табиғи ресурстарды тұтынуды қысқарту, қалдықтарды қайта өңдеу, өндірістің экономикалық көрсеткіштерін арттыру және құрылыс индустриясының экологиялық тұрақтылығын арттыру.

Тақырыптың өзектілігі өнеркәсіптік қалдықтарды кәдеге жаратудың тиімді және технологиялық шешімдерін әзірлеу қажеттілігімен, сондай-ақ құрылыста жергілікті шикізатты пайдалану перспективаларымен байланысты. Ұялы бетон өзінің тығыздығының төмендігіне, жылу оқшаулағыш қасиеті мен қолжетімділігіне байланысты тұрғын үй және өнеркәсіптік құрылыста кеңінен қолданылады. Дәстүрлі компоненттерді (цемент, құм және т.б.) сапаны жоғалтпай техногендік қалдықтармен алмастыру саланың тұрақты дамуына жаңа мүмкіндіктер ашады.

Зерттеудің мақсаты автоклавталмаған аэратты бетон өндірісінде металлургияның техногендік қалдықтарын пайдаланудың тиімділігі, олардың материалдың құрылымына, физикалық-механикалық қасиеттеріне және экологиялық көрсеткіштеріне әсерін бағалау болып табылады.

Белгілі шешімдерге қарағанда, бұл жұмыста ГОК сарқынды суларын араластырғыш сұйықтық ретінде пайдаланады. Гипотеза күлді, микросиликаны және сарқынды суларды біріктіріп пайдалану материалдың микроқұрылымдық және жылу оқшаулау қасиеттерін жақсартады. А.В. Волженский өнеркәсіп қалдықтарын қоса отырып бетондағы құрылым түзуші процестерді зерттеудегі пионерлердің бірі. Ол микросилика мен күлді қолдану микроқұрылымды жақсартып, кеуектілікті төмендете алатынын, өнімнің беріктігінің артуына ықпал ететінін көрсетті (Волженский, 2009).

Әдеби шолу. Құрылыс материалдарын, атап айтқанда клеткалы бетонды өндіру кезінде өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану орнықты құрылыстағы стратегиялық маңызды бағыт болып табылады. Жылу энергетикасы (ұшатын күлі) мен металлургия қалдықтары (домна пештері мен болат балқыту қождары) әлемдік ғылыми практикада тиімді компоненттер ретінде, белсенді минералдық қоспалар және дәстүрлі байланыстырғыштарды алмастырғыштар ретінде қарастырылады.

Аэрациялық бетон өндірісінде техногендік қалдықтарды ұтымды пайдалану саласындағы зерттеулер белсенді жүргізілуде, бұл саланың дамуына отандық және шетелдік ғалымдар елеулі үлес қосты.

К.Ш. Арынғазин энергетика және металлургия өндірісінен күл мен қожды кәдеге жарату мәселелерін қарастырды. Ол шикізатты алдын ала дайындау қажеттілігіне назар аударып, бұл қалдықтарды минералды қоспалар ретінде пайдаланудың жүйелі тәсілін және бетон құрамындағы цементті ішінара ауыстыруды ұсынды (Волженский, 2009).

А.Р. Ахметов күлдің химиялық құрамы және олардың цемент матрицасымен өзара әрекеттесуі жөнінде ауқымды зерттеулер жүргізді. Ол қалдықтарды пайдалана отырып, автоклавталмаған аэрацияланған бетонды өндірудің технологиялық схемаларын ұсынды, оларды пайдаланудың оңтайлы шарттарын негіздеді (Ахметов, 2013).

Ю.М. Бутт әртүрлі жылу электр станцияларының күлін пайдаланып бетонның физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеуге, олардың түпкі өнімнің беріктік



сипаттамаларына әсерін ашуға баса назар аударды. Сондай-ақ, автор теңгерімді көрсеткіштерге қол жеткізу үшін қалдықтардың бірнеше түрін біріктірудің маңыздылығын атап өтті (Бутт, 2022).

Я. Чжан ультрафинді ұшатын күлінің қосылуы бетонның аязға төзімділігін едәуір арттырып, бақылау құрамымен салыстырғанда 50 мұздату циклынан кейін беріктік жоғалтуды 25 %-ға төмендететінін көрсетті (Zhang, 2021).

Дж. Хе бетонды теңіз суымен және күл қосып зерттеп, тіпті агрессивті жағдайда да бетон 75 циклдан кейін өзінің беріктігінің 80 %-ына дейін сақталатынын анықтады, бұл біздің құрамымызды экстремалды жағдайларда одан әрі сынау қажеттігін растайды (He J, 2020).

Я. Ма бетон құрамындағы микросиликаның 13 %-ы оның құрылымын 400 циклдан кейін ұстап тұруға және крекингтің алдын алуға мүмкіндік беретінін анықтады, бұл құрылымын жақсарту және капиллярлықты төмендету туралы біздің тұжырымдарымызға сәйкес келеді (Ma, 2021).

Ю. Юань шолу қағазында ұшатын күлінің, қождың және микросиликаның үйлесімі механикалық өнімділіктің жақсаруына ғана емес, сонымен қатар Қазақстан сияқты қарама-қарсы температуралы аймақтардағы материалдың климаттық тұрақтылығына да ықпал ететіні атап көрсетілді (Yuan et al., 2021).

Т. Әли күл материалдарын аэрациялық бетонға қолдану жылу өткізгіштікті төмендететінін және ылғалға төзімділігін арттыратынын растады, мұны біздің жылу инженерлік сынақтарымыз да растайды (Ali, 2019).

М. Ян күл құрамының 20 %, бетонның аязға төзімділігі F75 деңгейіне дейін көтерілетінін дәлелдеді, әсіресе ылғалды төсеу кезінде, оны Орталық Қазақстанның қатал жағдайында жобалауға қолдануға болады (Yang et al., 2020).

М. Чжоу ұшатын күлі дисперсиясының кеуек құрылымына және көбік бетонының су сіңіруіне әсерін талдады. Алынған нәтижелер майда күлдің жылу оқшаулағышы мен беріктік сипаттамалары жақсартылған біркелкі кеуекті құрылымның қалыптасуына ықпал ететінін көрсетті (Zhou et al., 2020).

А.Я. Хамад аэрациялық бетонға шолуда цементті алмастырғыш ретінде ұшатын күлін пайдалану есебінен тығыздықты айтарлықтай төмендету және жылу оқшаулағышты арттыру мүмкіндігі көрсетілді. Аш құрылыстың біркелкілігін арттыру және кішірейтуді азайту үшін де табылды (Hamad, 2022).

Л.Н. Асси бетонға ұшатын күлі мен домна пешінің шлактарын пайдалану кезінде ылғалдану және фазалық өзара әрекеттесу механизмдерін зерттеді. Мұндай қоспалар беріктігін жоғалтпай Портленд цементінің құрамын азайтуға мүмкіндік беретін синергияны көрсететіні анықталды (Assi et al., 2018).

М.А. Эльрахман сілтілі-активтендірілген ұшатын күлін пайдаланып көбік бетоны деп есептеді. Нәтижелер көрсеткендей, сілтілік белсенділік ерте күштің артуына және C-A-S-H гель түзілуінің белсенді реакциясы салдарынан кеуек түзілуінің жақсаруына ықпал етеді (Elrahman, 2020).

С. Кұмар әртүрлі қождар мен күлдің көбік бетон құрылымының түзілуіне тигізетін әсерін зерттеді. Олар құрамында SiO_2 және Al_2O_3 бар шлактар ұшатын күлімен үйлесімде оңтайлы кеуектілігі бар тұрақты аморфты матрица түзеді деген қорытындыға келді (Kumar, 2020).

Р. Джао ЖЭО күлін автоклавталған және автоклавталмаған кеуекті бетонда қолдану нәтижелерін «Материалдар» журналында ұсынды. Ең жақсы сипаттамаларға күлді



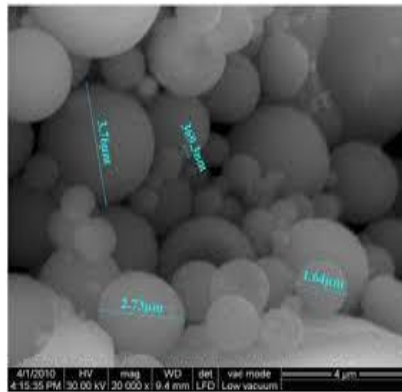
силикат инокулянттымен және алюминий ұнтағымен біріктіру арқылы қол жеткізілді (Zhao, 2020).

С. Самад ұшатын күлінің дұрыс дозалануы кезінде көбікбетонның жылу өткізгіштігін төмендетіп қана қоймай, оның отқа төзімділігі мен беріктігін арттыруға болады, бұл әсіресе жарықты қоршайтын конструкциялар үшін маңызды (Samad & Shah, 2017).

Осылайша, әлемдік тәжірибе мен ғылыми зерттеулер ұялы бетон қоспаларын өндіруде ұшатын күлі мен металлургиялық шлакты пайдаланудың жоғары тиімділігін растайды. Бұл қалдықтар физикалық-механикалық қасиеттерін, жылу оқшаулағышын, қоршаған ортаның тұрақтылығын жақсартады және шығындарды азайтады.

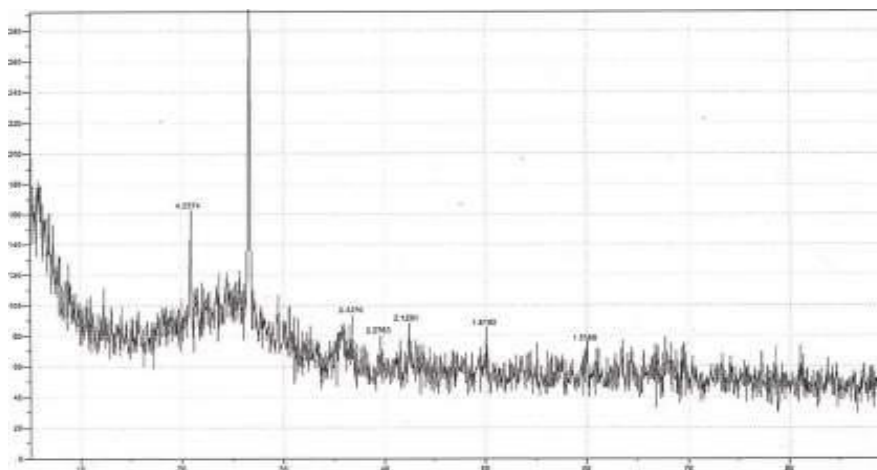
ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Торайғыров университетінің құрылыс материалдары зертханасында, IP-1000 пресінде, Лейка ДМ750 оптикалық микроскопында, зертханалық миксер Хобартта жабдықтарында зерттеулік эксперименттері жүргізілді.



1-сурет. Микроскоптағы ұшатын күлінің көрінісі

Ескерту – Авторлар құрастырған



2-сурет. Күлді рентгендік талдаудың негізгі кристалдық фазалар: Кварц (SiO_2) – 45–50 % Мюллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) – 20-25 % Магнетит (Fe_3O) – 10 % Гематит (Fe_2O_3) – 5 % Free CaO – 4-6 % Алуминосиликаттар (аморфты фаза) – 10 %- ға дейін ұшатын күлі жоғары поцоландық белсеңділікке және реактивті силикаттар мен алюминийлердің болуына ие.

Ескерту – Авторлар құрастырған



Автоклавталмаған аэрациялық бетон алу үшін келесі компоненттер қолданылды:

Портленд цементі қатаюдың бастапқы кезеңдерінде беріктік өсімін қамтамасыз ететін негізгі гидравликалық байлам ретінде қолданылады. Ұшатын күлі Кеңдірлік ЖЭО-да алынады, онда мұнай тақтатастары отын ретінде пайдаланылады. Күл майда дисперсиямен және бетонның беріктігі мен тығыздығының артуына ықпал ететін жоғары поццоландық белсенділікпен сипатталады.

Ұшатын күлі 820 кг/м² көлемді тығыздығымен, бетінің нақты ауданы 4300 см²/г және ылғал мөлшері 2,5 %-дан аспайтындығымен сипатталады.

1-кесте. Ұшатын күлінің химиялық құрамы

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO _{св}	п.п.п.
31,85	33	10,4	10,8	6,40	3,9	4,7-5,9	1,4

Ескерту – Авторлар құрастырған

– Microsilica (microsilica) – материалдың құрылымын жақсарту, кеуектілікті азайту және ерте беріктігін арттыру үшін аз мөлшерде енгізіледі.

2-кесте. Микросиликаның физикалық қасиеттері

Индекс	Бірлік	Мағынасы
Беттің нақты аумағы	см ² /кг	18300
Шын тығыздық	кг/см	2240
Көлемдік тығыздық	кг/м ³	415
pH		6,4
Табиғи радионуклидтердің меншікті тиімді белсенділігі	Бк/кг	57±14

Ескерту – Авторлар құрастырған

Минералданған эффектілер. Күл-силикативтік құрамдардың қатаюын жандандыру үшін жұмыста Бозшакөл ТБК-дан тұзды (минералданған) эффектілер пайдаланылды, олар негізгі өндірістің қосалқы өнімі болып табылады. Тұз эффектілерінің химиялық құрамы мен физикалық қасиеттері 3-кестеде келтірілген. Минералданған сарқыңды сулар тығыздайтын сұйықтық ретінде пайдаланылады.

3-кесте. Тұз эффектілерінің химиялық құрамы мен қасиеттері

Көрсеткіштердің атауы	Көрсеткіштердің маңыздылығы
Сыртқы көрінісі	Аздап ақшыл көгінді ерітінді
Активті заттың құрамы (кальций мен натрийдің хлорид тұздары), г/л ерітінді	80 кем емес 250-ден артық емес
Хлоридтің жалпы құрамындағы кальций хлориді, %	30-50
pH мәні, кем емес	10
NH ₄ құрамы, мг/л-ден артық емес	25
Ерітінді тығыздығы, г/см ³	1,1-1,27

Ескерту – Авторлар құрастырған

Қайталама ресурстарды пайдалану технологияның экологиялық тиімділігін арттыруға ықпал етеді.



– Алюминий ұнтағы біркелкі кеуекті құрылымды қалыптастыру және бетонның тығыздығын төмендету үшін газ түзетін қоспа ретінде қолданылады.

Оңтайлы құрамын анықтау мақсатында ұшатын күлінің, Портленд цементінің және микросиликаның әр түрлі арақатынасы бар эксперименттік рецептуралар дайындалды. Оңтайландырудың негізгі критерийлері мыналар болды:

- Сығымдағыш беріктік (мақсатты мәні: 28 күнде $\geq 2,5$ МПа),
- Құрғақ тығыздық (мақсатты диапазоны: 500-700 кг/м³)
- Жұмыс қабілеттілігі мен біркелкілігі.

Негізгі гидравликалық байлам ретінде «Шымкентцемент» ЖШС цемент зауытында өндірілген ПК-400-Д20 сортты портланд цементі пайдаланылды. Цемент МЕМСТ 31108-2020 талаптарына жауап береді, беткі қабатының ерекшелігі жоғары және тұрақты белсенділігі бар, ол ерте және кеш қатайту кезеңдерінде беріктік сипаттамаларын қамтамасыз етеді. Цементті енгізу гидратация процестерінің қарқын алуына және автоклавталмаған жасушалық бетонның беріктік құрылымының жақсаруына ықпал етеді. Пайдалану алдында материал ылғал мен бөлшектердің агломерациясының әсерін болдырмау үшін герметикалық жағдайда сақталды (ГОСТ 10178-85).

Кендірлік біріккен жылу-электр станциясында (Шығыс Қазақстан) мұнай тақтатастарының жануынан алынған ұшатын күлі пайдаланылды. Бұл қосымша өнімге кальций оксидінің (CaO), кремнеземнің (SiO₂) жоғары құрамы тән, сондай-ақ поццоландық қасиеті де бар. Беткі ауданы жоғары болғандықтан және оксидтердің белсенді фазасына байланысты ұшатын күлі жасушалық бетон матрицасында қосымша цементтеу компонентінің қалыптасуына ықпал етеді. Материал алдын ала кептіріліп, 0,063 мм-ден кем бөлшекке скринингтен өтті.

Тұзды сарқынды сулар герметикалық сұйықтық ретінде пайдаланылып, Павлодар облысында орналасқан Бозшакөл тау-кен байыту комбинатымен (KAZ Minerals Bozshakol ЖШС) бірлесіп қамтамасыз етілді. Сарқынды сулар уыттылығына алдын ала сынақтан өтті (МЕМСТ 17.1.1.02-77 сәйкес), нәтижесі шартты бейтарап және техникалық қолдануға жарамды. Бұл сулар мыс кенін өңдегеннен кейін суды кәдеге жарату нәтижесі болып табылады және құрамында еріген тұздар (сульфаттар, карбонаттар, кальций және магний хлоридтері) бар, бұл цемент матрицасының қатаюын жеделдетуге және кристалл гидраттарының қосымша құрылымын қалыптастыруға оң әсерін тигізуі мүмкін.



3-сурет. МПа-ның сығымдағыш күші

Ескерту – Авторлар құрастырған



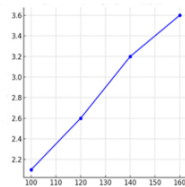
Автоклавталмаған аэрациялық бетонның құрамын зерттеу нәтижелері

4-кесте. Қоспалардың құрамы және олардың сипаттамалары

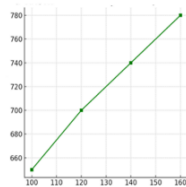
Құрамының №	Ұшатын күлі, кг	Цементті ДК 400, кг	Кремнезем тозаңы, кг	Су кеншілері. Дренаж, л	Алюминий ұнтағы, %	Тығыздығы, кг/м ³	Сығымдағыш беріктік (28 күн), МПа
1	300	100	20	180	0.06	650	2.1
2	300	120	20	180	0.06	700	2.6
3	300	140	20	180	0.06	740	3.2
4	300	160	20	180	0.06	780	3.6

Ескерту – Авторлар құрастырған

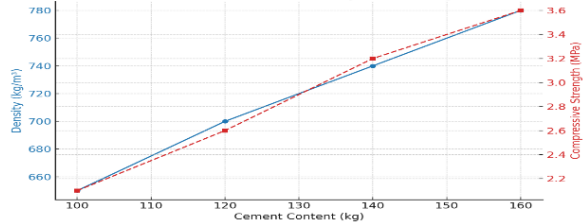
Compressive Strength vs Cement Content



Density vs Cement Content



Effect of Cement Content on Density and Strength of NAAC



4-сурет. Цемент құрамының беріктігі мен тығыздығына тәуелділік графигі

Ескерту – Авторлар құрастырған

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Барлық эксперименттік зерттеулер Торайғыров университетінің зертханасында құрылыс материалдарын сынауға арналған стандартты жабдықтарды пайдалана отырып жүргізілді. Эксперименттік зерттеулер бірнеше кезеңде жүргізілді, оның ішінде сынақ үлгілерін дайындау, беріктік сынақтары, тығыздықты анықтау және кеуек құрылымын талдау.

4-кестеде келтірілген әрбір құрамға 10 литрлік партия дайындалды. Құрғақ компоненттер (ұшатын күлі, цемент және микросилика) біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін 2 минут бойы мұқият араластырылды. Содан кейін минералдандырылған сарқынды су қосылып, кейін қоспа біртекті масса алынғанша тағы 3 минут араластырылды. Соңында алюминий ұнтағын енгізіп, содан кейін қоспаны 30 секунд бойы тез араластырып, бірден қалыптарға құйып (іріктеме өлшемі – 100×100×100 мм).

Толтырылған қалыптар (20±2)°С температурада және алғашқы 24 сағаттың ішінде 90%- дан кем емес салыстырмалы ылғалдылықта ұсталды. Содан кейін үлгілер қалыптан алынып, 28 күнге жеткенше зертханада сақталады.

Құрғақ тығыздық келтірілген үлгілерді тұрақты салмаққа дейін өлшеу арқылы 28 күн қатайғаннан кейін анықталды. Сығымдағыш беріктік МЕМСТ 10180-2012 сәйкес ең жоғары жүктемесі 1000 кН гидравликалық преста анықталды. Әрбір пайызға кем дегенде үш сынама сынақтан өтгі, ал нәтижесі арифметикалық орташа болып есептелді (СТ РК 1225-2003).



Кеуек құрылымын бағалау үшін бөлімдерді оптикалық микроскопиялау және сандық суретке түсіру әдісі қолданылды. №2 және №4 құрам үлгілері кеуектердің диаметрі 0,5-тен 1,5 мм-ге дейін, айқын макро кеуексіз немесе ұстанушы кеуексіз неғұрлым біркелкі таралуын көрсетті. Құрамында 120-160 кг/м² цемент бар қоспаның оңтайлы тұтқырлығы көпіршіктердің желімін жоя отырып, газдардың біркелкі таралуын қамтамасыз етті.

Құрамында бар микросилика тығыз цемент матрицасының қалыптасуына және ашық капиллярлар санының азаюына ықпал етті, бұл беріктік сипаттамаларына оң әсерін тигізді.

Цемент дозасының ұлғаюымен тығыздықтың да, беріктіктің де табиғи өсуі байқалады. 3,6 МПа беріктігі мен тығыздығы 780 кг/м² болатын №4 композиция үздік нәтижені көрсетті, бұл құрылымдық және жылу оқшаулағыш аэрациялық бетонға қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Автоклавалталмаған аэрацияланған бетонның рецептурасы жасалды.
 2. Зертханалық зерттеулер негізінде ұшатын күлі мен цементтің оңтайлы арақатынасы $W/C = 0,45$ су-цемент қатынасымен 60:40 екені анықталды, ол 3,5 МПа-ға дейін сығымдағыш беріктік пен 600-700 кг/м² диапазонындағы тығыздықты қамтамасыз етеді. Бұл көрсеткіштер таза Портленд цементі бойынша бақылау құрамының сипаттамасынан асып түседі, онда цемент құрамы бірдей болған және күл болмаған кезде тығыздығы 820-850 кг/м²-ге жетті, ал беріктігі бар болғаны 3,1 МПа болды.
 3. Микросиликаны қолдану (байланыстырушы салмақтың 10 %-ына дейін) кеуектердің құрылымын жақсартуға, беріктігін арттыруға және су сіңіруін азайтуға көмектеседі. Микросиликасыз құраммен салыстырғанда ашық капиллярлар санының азаюы, кеуектердің айқын таралуы (микрографтардың үстінен) байқалады, ал беріктік орта есеппен 10-12 %-ға артады.
 4. Минералды суды герметикалы сұйықтық ретінде пайдалану газдың түзілуін арттырады және кеуектердің біршама біркелкі таралуына ықпал етеді. Таза су құбыры суын пайдаланумен бақылау рецептурасымен салыстырғанда өзгертілген қоспалар құрылымның біркелкілігінің артуын, кішірейтудің төмендеуін, беріктіктің 0,3–0,5 МПа-ға артуын көрсетті.
 5. Алынған материал жылу оқшаулағыш және құрылымдық ұялы бетон көрсеткіштері бойынша МЕМСТ 25485-2019 талаптарына сәйкес келеді (МЕМСТ 25485-2019).
 6. Жүргізілген зерттеулер құрылыс материалдарын өндіру кезінде ұшатын күлі мен сарқынды суларды тиімді пайдалану мүмкіндігін көрсетеді, бұл экологиялық ауыртпалықты және өндірістік шығындарды төмендетуге ықпал етеді.
- Ұсыныс.* Ұсынылып отырған құрамды аз қабатты құрылыс және жылу оқшаулағыш конструкциялар үшін автоклавалталмаған аэрацияланған бетон өндірісінде пайдалану ұсынылады. Әр түрлі климаттық жағдайдағы материалдың беріктігі, аязға төзімділігі және термиялық мінез-құлқы бойынша қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Жоба 2023-2025 жылдарға арналған БР21882278 «Қазақстан Республикасының құрылыс, жол-құрылыс секторында аккредиттелген қызметтердің толық циклін көрсету үшін құрылыс-техникалық инженерлік орталығын құру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы аясында жүзеге асырылды.



МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Ғылыми мақаланың авторлары өз еңбектерін дайындау барысында жасанды интеллект (ЖИ) құралдарын әртүрлі кезеңдерде, соның ішінде мәтін жазу, редакциялау, фактілерді тексеру және деректерді талдау кезінде қолданған жоқ екенін мәлімдейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Волженский, Н. А. (1984). Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Высшая школа, 241–243. // Volzhenskii, N. A. (1984). *Primenenie zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Application of fly ash and fuel slags in the production of building materials]. Moscow: Vysshaya shkola, 241–243. (In Russ.)
- Арынгазин, К.Ш., Ларичкин, В.В., Алдунгарова, А. К., Свидерский, А.К., Богомолов, А.В., Быков, П.О., Тлеулесов, А.К., & Маусымбаева, Д.К. (2016). Инновационное использование твердых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов. Наука и техника Казахстана, (3–4), 34–39. // Aryngazin, K.Sh., Larichkin, V.V., Aldungarova, A. K., Sviderskiy, A. K., Bogomolov, A. V., Bykov, P. O., Tleulesov, A. K., & Mausymbaeva, D.K. (2016). *Innovatsionnoe ispol'zovanie tverdykh tekhnogennykh otkhodov predpriyatii teploenergetiki i metallurgii Pavlodarskoi oblasti v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Innovative use of solid technogenic waste from thermal power and metallurgy enterprises of Pavlodar region in building materials production]. Nauka i tekhnika Kazakhstan, (3–4), 34–39. (In Russ.)
- Ахметов, А. Р. (1992). Технология и свойства ячеистого бетона. Алма-Ата: Мин. обр. Казахстана, 212 с. // Akhmetov, A. R. (1992). *Tekhnologiya i svoistva yacheistogo betona* [Technology and properties of aerated concrete]. Alma-Ata: Ministry of Kazakhstan, 212 p. (In Russ.)
- Бутт, Ю. М. (1980). Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 472 с. // Butt, Yu. M. (1980). *Khimicheskaya tekhnologiya vyzhushchikh materialov* [Chemical technology of binding materials]. Moscow: Vysshaya shkola, 472 p. (In Russ.)
- Zhang, Y. (2023). Enhancing concrete with ultrafine fly ash: Mechanical strength and frost resistance. Demonstrated frost resistance improvement at 25% ultrafine fly ash dosage. (In Eng.)
- He, J. (2024). Effect of fly ash on seawater freeze–thaw resistance of seawater sand concrete. Mass loss reduced by 57% after 75 cycles at 20% fly ash content. (In Eng.)
- Ma, Y. (2023). Effect of silica fume on frost resistance of recycled aggregate concrete. ScienceDirect. Optimum 13% silica fume improves frost resistance after 400 cycles. (In Eng.)
- Yuan, Y. (2024). Frost resistance and improvement techniques of recycled concrete: A comprehensive review. Frontiers in Materials. Review of the role of fly ash, slag, and silica fume. (In Eng.)
- Ali, T. (2021). Aerated concrete with rice husk ash: Mechanical & durability properties. Focus on porosity and durability of modified material. (In Eng.)



- Yan, M. (2024). Frost resistance of fly ash concrete under extreme temperature range. *Academic Journal of Science & Technology. Optimum 20% fly ash improves frost resistance under harsh conditions.* (In Eng.)
- Zhou, M., Jiang, Y., Shi, S., & Duan, Z. (2022). The effect of fly ash particle size on the properties of foam concrete. *Construction and Building Materials*, 320, 126230. (In Eng.)
- Hamad, A. D. (2014). Materials, production, properties and applications of gaseous lightweight concrete: An overview. *International Journal of Materials Science and Engineering*, 2(2), 152–157. (In Eng.)
- Assi, L. N., Gakhremaninejad, H., Shahrouz, E., & Carrión, E. (2016). Effects of fly ash content and activation on the durability of geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 123, 800–808. (In Eng.)
- Ebrahim, M. A., Chang, M., & Stephan, M. (2019). Effects of different foaming agents on the physical and mechanical properties of lightweight geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 199, 518–527. (In Eng.)
- Kumar, S., Kumar, R., & Mehrotra, A. (2007). Effects of granular blast furnace slag and fly ash on cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 37(4), 485–492. (In Eng.)
- Zhao, R., Liu, J., & Li, B. (2021). The use of power plant ash in the production of aerated concrete. *Materials*, 14(12), 3210. (In Eng.)
- Samad, S., & Shah, A. (2017). The role of fly ash and alkaline activators in the development of lightweight geopolymer concrete. *Building Materials Case Studies*, 6, 10–17. (In Eng.)
- ГОСТ 31108–2020. (2021). Цементы. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 22 с. // GOST 31108–2020. (2021). Tsementy. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Cements. General specifications]. Moscow: Standartinform, 22 p. (In Russ.)
- ГОСТ 10180–2012. (2013). Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 18 с. // GOST 10180–2012. (2013). Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam [Concretes. Methods for strength determination using control specimens]. Moscow: Standartinform, 18 p. (In Russ.)
- ГОСТ 25485–2019. (2019). Материалы и изделия строительные. Метод определения морозостойкости. М.: Стандартинформ, 11 с. // GOST 25485–2019. (2019). Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metod opredeleniya morozostoykosti [Construction materials and products. Method for determination of frost resistance]. Moscow: Standartinform, 11 p. (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Омаров Жумабек Мухтарович – техника ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан
Омаров Жумабек Мухтарович – кандидат технических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, Казахстан
Omarov Zhumabek Mukhtarovich – Candidate of Technical Sciences, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
e-mail: zhumabek-omarov@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1108-9509>



Жаканов Алибек Нуржанович – PhD студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан

Жаканов Алибек Нуржанович – PhD студент, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Zhakanov Alibek Nurzhanovich – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: zhakanov888@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8747-3788>



Мукышев Аскар Кокенович – аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан

Мукышев Аскар Кокенович – старший преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, Казахстан

Mukyshev Askar Kokenovich – senior lecturer, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

e-mail: bfm547@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0258-2336>



Есенгабулов Серикболат Каденович – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан

Есенгабулов Серикболат Каденович – кандидат технических наук, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Yessengabulov Serikbolat Kadenovich – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: serik-y@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2281-8132>



Жаркенов Еркебұлан Берденұлы – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан

Жаркенов Еркебулан Берденович, PhD, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Zharkenov Yerkebulan Berdenovich – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: berdenovich@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3392-574X>