

АҢДАТПА

Аубакирова Зульфия Акылбековнаның

«Аддитивті технологиялар үшін Өскемен ЖЭО күл-қож қалдықтарын пайдалана отырып, ұсақ түйіршікті бетон құрамдарын әзірлеу» тақырыбындағы 8D07302 – «Құрылыс материалдарын, бұйымдары мен конструкцияларын өндіру» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған диссертациялық жұмысына

Зерттеу тақырыбының өзектілігі Қазақстан Республикасының ғылымын дамытудың 2024-2026 жылдарға арналған басым бағыттарына негізделген: «Экология, қоршаған орта және табиғатты ұтымды пайдалану» және «Энергия, озық материалдар және өндіріс». Жылу электр орталықтарының күл-қож қалдықтарын кәдеге жаратудың және олардың негізінде жаңа құрылыс материалдарын әзірлеудің ерекше маңызы бар. Сонымен бір мезгілде құрылыста аддитивтік технологияларды дамыту берілген қасиеттері бар арнайы бетон қоспаларын жасауды талап етеді. Осыған байланысты 3D-басып шығару үшін күл-қож қалдықтарын пайдалана отырып ұсақ түйіршікті бетон құрамдарын әзірлеу өзекті ғылыми-практикалық міндет болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты аддитивті технологияларға (3D-басып шығару) арналған ұсақ түйіршікті бетонның технологиялық қасиеттерінде қолданылатын Өскемен ЖЭО күл-қож қалдықтарын оларды қолданудың оңтайлы құрамы мен параметрлерін ғылыми негіздей отырып кешенді зерттеу болып табылады.

Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін мынадай міндеттер шешілді:

- құрылыста аддитивті технологияларды қолдануды, ЖЭО күл-қож қалдықтарын ұсақ түйіршікті бетон өндірісінде, оның ішінде аддитивті технологиялар үшін пайдалануды және олардың құрамдарын жобалау әдістерін талдау.

- Өскемен ЖЭО күл үйіндісіндегі күл-қож материалдарының түзілуі мен таралу ерекшеліктерін зерттеп, оларды цементті композицияларда қолдану мүмкіндігін бағалау.

- Өскемен ЖЭО күл-қож қалдықтарын пайдалана отырып, аддитивті құрылыс технологияларына (3D-басып шығару) жарамды ұсақ түйіршікті бетон құрамдарын әзірлеу және негіздеу.

- әзірленген бетон қоспалары мен бетондардың реологиялық, технологиялық және физика-механикалық қасиеттерін зерттеу.

- әзірленген құрамдарды аддитивті қалыптау (3D-басып шығару) жағдайында эксперименттік сынақтан өткізіп, алынған бетон элементтерінің сапасын бағалау.

- әзірленген бетондардың пайдалану қасиеттерін бағалау, олардың жұмысын модельдеу және қолданудың техника-экономикалық тиімділігін анықтау.

Зерттеу әдістері. Жұмыста теориялық (отандық және шетелдік тәжірибені талдау және жинақтау, бетондардың қасиеттерін модельдеу),

эксперименттік (шикізат пен бетондардың физикалық-механикалық және реологиялық сипаттамаларын зерттеу, құрамдарды іріктеу, үлгілерді сынау), аспаптық (рентгендік-фазалық талдау, электрондық микроскопия) және тәжірибелік-өндірістік әдістер (үлгілерді эксперименттік 3D-басып шығару, техникалық-экономикалық бағалау) пайдаланылды тиімділігі).

Ғылыми жаңалық:

- Ең тиімді белсенді компонент ретінде 4-аймақтың күлі ғылыми тұрғыдан негізделді, ол ең төменгі үйінді тығыздығымен (350–500 кг/м³) және шыны фазасының ең жоғары мөлшерімен (75–93%) сипатталады. Зерттеулер осы аймақта аморфты алюмосиликаттардың басым болуы жоғары реакциялық қабілетті қамтамасыз ететінін көрсетті, бұл үшін инертті агрегаттарды бұзу және меншікті бетті 3000–4000 см²/г дейін арттыру мақсатында механикалық белсендіру қажет;

- 0,16 мм фракциялы күлдің шар тәрізді бөлшектері қоспаның ішкі үйкелісін төмендетіп, ПГР 7,0–7,5 см кезінде тұрақты экструзияны қамтамасыз етеді, сондай-ақ түйіршікаралық қуыстарды толтыру арқылы бетон құрылымын тығыздайды;

- ұнтақтау арқылы алынған, құрамында 80% портландцемент пен 20% күл (негізінен күл үйіндісінің 4-аймағынан) бар механикалық белсендірілген байланыстырғышты пайдалану бетонның оңтайлы қасиеттерін қамтамасыз ететіні эксперименталды түрде дәлелденді. Бұл тәсіл сығылу кезіндегі беріктіктің 22,9 МПа-ға және қабатаралық адгезия беріктігінің 1,48 МПа жетуін қамтамасыз етеді;

- бетон қасиеттерін статистикалық-регрессиялық модельдеу жүргізілді: *Python* ортасында *pandas* және *NumPy* кітапханаларын қолдану арқылы машиналық оқыту әдістеріне негізделген математикалық модель әзірленді. Детерминация коэффициентінің жоғары мәндері ($R^2=0,87-0,95$) беріктік сипаттамаларының 87–95%-ы дәл осы белсендірілген күл-цементті байланыстырғыш құрамына тәуелді екенін математикалық түрде растады;

- аспаптық зерттеулер (XRD, SEM) негізінде аморфты кремнеземнің портландитпен әрекеттесуі нәтижесінде екіншілік кальций гидросиликаттарының (C–S–H) түзілуі арқылы жоғары тығыз цементті-күлді матрицаның қалыптасатыны дәлелденді. ANSYS бағдарламасында жүргізілген сандық модельдеу нәтижелері оңтайландырылған құрамда (80/20) шағын сәулеттік формаларды басып шығару кезінде пайда болатын эквивалентті кернеулердің 2,51 МПа-дан аспайтынын көрсетті.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

- аддитивті технологияларға арналған ұсақ түйіршікті бетон құрамында Өскемен ЖЭО-ның күл-қож қалдықтарын пайдалану мүмкіндігін негіздеу;

- 3D-басып шығару кезінде күл-қож компоненттерінің құрамы мен минералогиялық сипаттамаларының реологиялық қасиеттерге, пішін тұрақтылығына және қабаттардың адгезиясына әсер ету заңдылықтары;

- аддитивті құрылыс үшін беріктік және технологиялық сипаттамалардың оңтайлы үйлесімін қамтамасыз ететін, күл-қож

қалдықтарын пайдалану негізінде әзірленген ұсақ түйіршікті бетон құрамдары;

- бетон құрылымы мен ұзақ мерзімділігін қалыптастыруда күл-қождарды пайдаланудың тиімділігін растайтын эксперименттік және аспаптық зерттеулердің (XRD, SEM) нәтижелері.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

- аддитивті технологиялар үшін Өскемен ЖЭО күл-қоқыс қалдықтарын пайдалана отырып, ұсақ түйіршікті бетонның ғылыми негізделген құрамы әзірленіп, пайдалануға ұсынылған;

- ҚР пайдалы модельге арналған патенті бетон № 10443. 3D-баспа бетонға арналған бетон қоспасының құрамы;

- ҚР пайдалы модельге арналған патенті № 12067. Күл-қож қалдықтары негізінде бетон бұйымдарын 3D-басып шығаруға арналған шикізат қоспасы.

- басылған қабаттың қозғалысы мен формаға төзімділігін ескере отырып, 3D-баспа үшін бетон қоспасының құрамын іріктеу әдістемесіне 2026 жылғы 5 наурыздағы № 68369 авторлық құқық объектісіне құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы куәлік алынды;

- университет аумағын абаттандыру элементтерін құрылыс 3D-баспа әдісімен дайындау кезінде әзірленген ұсақ түйіршікті бетон құрамын енгізу актісі алынды;

- диссертациялық жұмыстың нәтижелері 6B07305 - «Құрылыс» және 6B07501 - «Стандарттау және сертификаттау» білім беру бағдарламаларының оқу процесіне енгізілген.

Автордың жеке үлесі зерттеу мақсатын қалыптастыруға және міндеттерді қоюға белсенді қатысудан, сондай-ақ ғылыми жарияланымдарды, баяндама тезистерін дайындаудан және патент алуға өтінім беруден тұрады. Зертханалық зерттеулер мен сынақтарды автор өз бетінше орындады. Бірлескен жарияланымдарда автор эксперименттік зерттеулер жүргізуге, алынған деректерді өңдеу мен талдауға, мақалалар мәтіндерін дайындауға, сондай-ақ зерттеу нәтижелерін университет аумағын абаттандыру жұмыстарына және оқу үдерісіне енгізу бойынша ұсынымдар әзірлеуге елеулі үлес қосты.

Зерттеу нәтижелерінің сенімділік дәрежесі. Алынған ғылыми нәтижелердің сенімділігі заманауи зерттеу әдістерін қолданумен және қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттар талаптарының сақталуымен расталады. Эксперименттік зерттеулер «Құрылыс саласындағы құзырет және технологиялар трансферті орталығы» (КЕАҚ ШҚТУ) базасындағы аккредиттелген құрылыс технологиялары мен материалдары зертханасында жүргізілді. Қосымша зерттеулер ғылыми тағылымдама кезеңінде Мадрид политехникалық университетінің (Испания) базасында орындалды. Алынған нәтижелер зертханалық және тәжірибелік-эксперименттік зерттеулер кешенімен расталды.

Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері

- «Optimization of a sustainable composition of fine-grained concrete for 3D-printing with partial substitution of sand with fly ash and slag waste», *Nanotechnologies Constr. Sci. Internet-J.*, с. 296, мамыр. 2025, doi: 10.15828/2075-8545-2025-17-3-296-306;
- «Additive Manufacturing as an Alternative to Core Sampling in Concrete Strength Assessment», *Appl. Sci.*, т. 15, бас. 14, с. 7737, маусым. 2025, doi: 10.3390/app15147737;
- «Fine-grained concrete based on waste from thermal power plants and metallurgical enterprises East Kazakhstan region», *Bull. Serikbayev EKTU*, бас. 1, сс. 313–323, 2023, doi: 10.51885/1561-4212_2023_4_313;
- «Development of composition of fine-grained concrete based on ash-and-slag wastes for additive technology of manufacturing small architectural forms», *Technobius*, т. 4, бас. 4, с. 0069, қараша. 2024, doi: 10.54355/tbus/4.4.2024.0069;
- «XVII Сағынов оқулары. Білім, ғылым және өндіріс интеграциясы» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы», 2024 ж, 3-ші бөлім, Қарағанда, А.Сагинов атындағы КарТУ, 261-263 б;
- «XVII Сағынов оқулары. Білім, ғылым және өндіріс интеграциясы» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы», 2025 ж, 3-ші бөлім, Қарағанда, А.Сагинов атындағы КарТУ, 260 -261 б. Патент Республики Казахстан на полезную модель №10443, от 13.02.2025. «Состав бетонной смеси для создания 3D-печатного бетона»
- Пайдалы модельге патент №10443, 13.02.2025 ж. 3D басып шығарылған бетонды жасауға арналған бетон қоспасының құрамы.
- Пайдалы модельге патент №12067, 17.04.2026 ж. Күл-қож қалдықтары негізінде бетон бұйымдарын 3D-басып шығаруға арналған шикізат қоспасы.
- Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтерді енгізу туралы куәлік №68369, 5 наурыз 2026 ж. (3D-басып шығаруға арналған бетон қоспасының құрамын басып шығарылған қабаттың жылжымалылығы мен пішін тұрақтылығын ескере отырып іріктеу әдістемесі (алгоритмі)).