



XҒТАР 691.12

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-97-113>

Шолу мақала

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану

Алдабергенова Газиза^{1*}, Джексембаева Асель², Конканов Марат²,
Кадыров Абзал², Байдаулет Жұлдызай²

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: ¹ecoeducation@mail.ru)

Аңдатпа. Құрылыс индустриясында инновациялық 3D басып шығару технологияларының енгізілуі материалдардың тиімділігі мен экологиялық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Осы технологияның дамуымен қатар, қалдық материалдарды қолдану арқылы модификациялық қоспалар жасау қажеттілігі туындады. Бұл зерттеу қалдық негізіндегі модификациялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылуын қарастырады.

Қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан ұсақ түйіршікті бетондардың негізгі физика-механикалық қасиеттері мен беріктігі шикізат қоспаларының құрамына, өзара әрекеттесу жағдайына және реотехнологиялық қасиеттердің берілген кешені бар цементтерді, ерітінділерді және бетондарды алу кезінде модификациялық қоспасын қолданудың жоғары тиімділігін көрсету.

Зерттеу барысында қалдық материалдардың қасиеттері зерттеліп, олардың 3D басып шығару үшін пайдаланылатын құрылыс қоспаларының құрамында қолданылу мүмкіндігі талданады. Қалдық материалдардың тиімділігін және олардың құрылыс материалдарының физикалық-механикалық қасиеттеріне әсерін анықтау мақсатында түрлі эксперименттер жүргізілді.

Нәтижесінде, қалдық негізіндегі модификациялық қоспалар құрылыс 3D басып шығару технологиясында құрылыс материалдарының беріктігін, тұрақтылығын және экологиялық достығын арттыруға ықпал ететіні анықталды. Бұл тәсілдердің экологиялық тиімділігі мен экономикалық пайдаларын қарастыра отырып, құрылыс саласында жаңа мүмкіндіктер мен шешімдер ұсынуға бағытталған.

Түйін сөздер: 3D басып шығару, портландцемент, ұсақ толтырғыш, белсенді минералды қоспа, модификациялық қоспа, химиялық қоспа, шөгү деформациясы, реотехнологиялық қасиеттері.

Түсті 12.03.2024. Жөнделді 12.09.2024. Мақұлданды 12.09.2024. Онлайн қолжетімді 30.09.2024

^{1*}хат-хабар үшін автор

Кіріспе

3D басып шығару (көбінесе *жылдам прототиптер* немесе *қоспа өндірісі* деп аталады) – компьютерлік 3D үлгілерін физикалық объектілерге қабатты басып шығару процестері арқылы айналдыруға мүмкіндік беретін өндірістік процесс.

Құрылыста 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану – экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету мен ресурстарды үнемдеудің тиімді жолы. Мұндай қоспалар құрылыс материалдарының физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартып, сонымен қатар экологиялық әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. 3D басып шығару арқылы құйылған ұсақ түйіршікті бетондардың сапасы мен беріктігін арттыру, оның ақаусыз қабаттасуы үшін жеткілікті пішінге төзімділігі мен беріктігі, сонымен қатар қабаттардың жоғары адгезиясы және құрылымның оңтайлы болуы үшін шикізат қоспасының құрамын әзірлеу әлі де толық зерттеуді қажет етеді.

Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыпталатын қоспалардың реотехнологиялық қасиеттеріне қойылатын талаптарды анықтау арқылы ұсақ түйіршікті бетондарды алу негізінде жарықтардың пайда болуын азайту үшін және цемент шығынының артуынан пайда болған шөгуде деформацияларының дамуын тудыратын, беріктік шегін жоғарылату және үзіліссіз, бос қалыптауды қамтамасыз ету мақсатында қажетті біртұтас қоспаны алу үшін пластификациялаушы қоспаларды пайдалану қажет. Пластификациялаушы қоспаны қолдану арқылы ұсақ түйіршікті бетон қоспасын жабу суының мөлшерін азайту оның беріктігі мен пішінге төзімділігін арттыруға ықпал етеді.

Құрылыс саласында 3D басып шығару қабатты экструзия технологиясында ұсақ түйіршікті бетондардың құрамында гидрофобизациялық қоспаларды пайдалану ол ылғалдың айтарлықтай біршама азаюынан пайда болған жарықтар мәселелерін төмендетуге мүмкіндік беретіндігін, сонымен қатар бұл беріктік көрсеткіштерін атап айтқанда суға төзімділік, аязға төзімділік және т.б. қасиеттерінің артқаны зерттелді. Цемент композицияларының құрамындағы гидрофобты қоспалардың артуы ылғалдандыру процестерін төмендетуге ықпал етеді, яғни 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану арқылы үзілістің ұзақтығын арттыру болып табылады.

Бұл зерттеудің мақсаты қалдық негізіндегі модификациялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясында қалай тиімді пайдалануға болатынын зерттеу болып табылады. Қалдық материалдардың 3D басып шығару үшін қолданылатын құрылыс материалдарының қасиеттеріне әсерін анықтау және осы технологияның экологиялық тиімділігін арттыру бағытындағы мүмкіндіктерді қарастыру маңызды.

Біз мақалада белсенді минералды және химиялық қоспалар кешені бар ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын өзгерту арқылы құрылыстағы қоспалар өндірісін жетілдіруді қарастырамыз.

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес қабатты экструзия әдісімен қалыптау үшін ұсақ түйіршікті бетондардың құрамын жетілдіру бағыттары тұжырымдалған:

– белсенді минералды қоспалардың оңтайлы түрі мен мөлшерін енгізу арқылы ұсақ түйіршікті бетон қоспасын неғұрлым тығыз және біртекті құрылымға келтіру;

– қажетті реотехнологиялық қасиеттердің ұсақ түйіршікті бетон қоспасын беру, Шикізат қоспасының бастапқы құрылымын қалыптастыру және қатаю кинетикасын және пластификациялаушы қоспаның оңтайлы түрі мен мөлшерін енгізу арқылы қатайтылған композиттің беріктік қасиеттерін жеделдету;

– гидрофобизациялаушы қоспаны енгізу арқылы судың азаюы мен басқа да көрсеткіштердің (3D-басып шығару кезінде технологиялық үзілістің ұзақтығын ұлғайту мүмкіндігін қамтамасыз ететін гидратацияны баяулату) қоспасын ұсақ түйіршікті бетонға беру, сондай-ақ пластификациялаушы, гидрофобизациялаушы қоспалар мен БМҚ-ны қамтитын кешенді қоспаның құрамын оңтайландыру.

Әдеби деректерді талдау және алдын-ала жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері негізінде жұмыс гипотезасы тұжырымдалды.

Жоғарыда келтірілген мәселелер бойынша шолу мақаласында келесі тараулар қарастырылады. Әр тараудағы зерттеулердің нәтижелері қарастырылатын тарауларда келтірілген.

Әдіснама

Бетон қоспаларына белсенді минералды қоспаларды енгізу цемент шығынын үнемдеуге, цемент тасының тығыздығын, суға төзімділігін арттыруға және өткізгіштігін төмендетуге мүмкіндік береді.

БМҚ саласындағы нормативтік құжаттарды қарастыра отырып, келесі жіктеулерді бөліп көрсетеміз. ГОСТ 56592-2015 [3] минералды қоспалардың белсенділігінің механизмі мен дәрежесі бойынша БМҚ-ды тұтқыр, кеңейтетін және поцзоланикалық қасиеттерге бөледі. Поцзоланикалық белсенділіктің көріну дәрежесі бойынша БМҚ жоғары, орташа және төмен поцзоланикалық белсенділікке бөлінеді. ГОСТ 24640-91 сәйкес [4] белсенділік түріне байланысты цементтерге арналған БМҚ әдетте гидравликалық қасиеттері бар қоспаларға және поцзоланикалық қасиеттері бар қоспаларға бөлінеді. Сәйкес ГОСТ 31108-2016 [5] цементтің негізгі компоненттері ретінде минералды қоспалар ретінде түйіршікті домна немесе электротермофосфор шлактары, белсенді минералды қоспалар – поцзоландар (табиғи немесе жасанды, отын күлдері, соның ішінде қышқыл немесе негізгі күл-алып кету, микро кремний диоксиді, глиж және күйдірілген тақтатастар) және толтырғыш-әктас қоспасы тиісті нормативтік құжаттамаға сәйкес қолданылады.

БМҚ-ны цементтерге, бетондарға және ерітінділерге жіктеуді талдау, нормативтік дереккөздерге сәйкес, қоспалардың реологиялық қасиеттеріне әсер ету критерийі бойынша олардың бөлінбегенін көрсетеді, бұл БМҚ-ны қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару технологиясында қолдану тиімділігінің маңызды шарты болып табылады.

Осы мәселе бойынша әдеби деректерді талдау В.И. Калашников [22] әзірлеген жоғары дисперсті минералды компоненттердің жіктелуін анықтауға мүмкіндік береді, бұл олардың реологиялық қасиеттерге әсерін белгілі бір дәрежеде ескереді.

Осы жіктеуге сәйкес үш топқа бөлінеді:

1. Реологиялық белсенді (реактивті-жасырын) қоспалар, олар жеткілікті мөлшерде сумен және суперпластификаторлардың қатысуымен жеке немесе цемент қоспасында жақсы сұйылтылған суспензиялар түзеді, ал судың орташа жетіспеушілігімен және тұрақтандырғыш қоспаларды енгізгенде тығыз біртекті пластикалық минералды масса түзеді.

2. Олар реактивті-инертті (әктас, доломит) немесе химиялық белсенді емес болуы мүмкін, цементтің гидратация өнімдерімен (кварц немесе кварцит ұны, гранит, диабаз, габбро, базальт) өзара әрекеттесуі баяулайды. Сумен жабылған кезде өздігінен қатып қалмайтын, бірақ цементтің гидратация өнімдерімен әрекеттесіп, қосымша цементтейтін қосылыстар түзетін реактивті қоспалар.

3. Бөлшектер бетінің мозаикалық заряды бар кейбіреулері реологиялық белсенділікке ие. Теріс заряды бар басқалары реологиялық белсенді емес, бірақ цементпен қоспада бетті қайта зарядтау кезінде агрегативті тұрақты суспензиялар пайда болады (микрокремнезем, дегидратацияланған каолин, жанартау күлдері, әйнектер, трассалар және т.б.).

4. Минералды компоненттері сумен өздігінен қатып қалмайтын реологиялық және реактивті қоспалар. Бұл санатқа, ең алдымен, металлургия мен жылу энергетикасының кейбір техногендік қалдықтары жатады. Бұл түрдегі ең танымал қоспалар-бұл портландцементпен салыстырғанда әлдеқайда аз көлемде өндірілетін және барлық елдерде бола бермейтін домна шлактары мен күл.

Жоғарыда аталған қоспалар топтарын қолдану тәжірибесін қарастыра отырып, цементпен және 1% пластификациялаушы қоспамен бірге ұнтақтау кезінде жұмыста реологиялық белсенді қоспа ретінде-ұсақ ұнтақталған әк ұнын (бөлшектердің мөлшері 2,9 мкм) қолдануды атап өткен жөн. Авторлар 12,5 см қозғалғыштығы бар бетон қоспасын алды, бұл қабатты экструдтау 3D басып шығару кезінде мұндай қоспаларды қолдану талаптарын қанағаттандырмайды.

Сонымен қатар, авторлар алған үлгілерде бетонның беріктік көрсеткіштерінің біршама төмендеуі байқалады.

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында химиялық қоспаларды қолдану мәселесін қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетон қоспалары мен бетондарға тән кемшіліктерді атап өткен жөн [1]: цемент шығынының жоғарылауы, айтарлықтай су-цемент қатынасы, нәтижесінде шөгуде деформацияларының дамуы, жарықтар пайда болуы, қабаттарды төсеу кезінде айтарлықтай үзілістерде тігістердің төмен адгезиясы. Кеңінен қолданылатын жылжымалы бетон қоспалары үшін белгіленген кемшіліктерді жою әр түрлі әсер ететін химиялық қоспаларды қолданған кезде, сондай-ақ белсенді минералды қоспалармен бірге сәтті жүзеге асырылады. Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптау кезінде оларды қолдану тиімділігін төмендететін ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының басқа кемшіліктері-бұл өнімнің геометриясы мен бетінің сапасын бұзатын бетон қоспасының төмен байланысы.

Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетонды қалыптау технологиясының маңызды ерекшелігі – құйылатын бетон қоспасын экструзиядан кейін тығыздауға бағытталған технологиялық кезеңнің болмауы. Осылайша, дайын өнімдер жоғары

кеуектілікпен, орташа тығыздығымен, беріктігімен және осы құбылысқа байланысты басқа қасиеттерімен сипатталады. Бұл композиттердің тығыздығын арттырудың және кеуек құрылымын оңтайландырудың басқа балама әдістерінің әлеуетін барынша толық пайдалану қажеттілігін тудырады, мысалы, әр түрлі әсер ететін қоспалармен бетон қоспаларын химиялық модификациялау.

Бетонға арналған химиялық қоспалардың жалпы сипаттамасы ГОСТ 24211-2008 келтірілген, осыған сәйкес:

1. Бетон және ерітінді қоспаларының қасиеттерін реттейтін қоспалар (пластификациялайтын, сутектендіретін, тұрақтандыратын, қозғалғыштығының сақталуын реттейтін, ауа- (газ) құрамын арттыратын);

2. Бетондар мен ерітінділердің қасиеттерін өзгертетін қоспалар: қатаю кинетикасын реттейтін, беріктігін арттыратын, өткізгіштігін төмендететін, болат арматураға қатысты қорғаныс қасиеттерін арттыратын, аязға төзімділікті арттыратын, коррозияға төзімділікті арттыратын және кеңейтетін;

3. Бетондар мен ерітінділерге арнайы қасиеттер беретін қоспалар: аязға қарсы, гидрофобты және фотокаталитикалық.

Байланыстырғыштар мен бетондардың құрылымдық түзілу процестерін реттеудің едәуір үлкен мүмкіндіктері әр түрлі кластарға жататын заттардан тұратын екі немесе бірнеше негізгі әсер ететін полифункционалды қоспаларға ие. Іс-әрекеттің синергиясына ие бола отырып, олар әр қоспаның жеке-жеке беретін пайдалы әсерін өзара күшейтеді және жеке қоспалардың жағымсыз қасиеттерін жояды.

Қабатты экструзия 3D басып шығару технологиясында қолдануға арналған химиялық қоспаларды таңдауды анықтайтын маңызды аспект-олардың әртүрлі қозғалғыштықтағы бетон қоспаларында жұмысының тиімділігі. Әр түрлі химиялық және минералды құрамдағы цемент композицияларындағы белгілі бір химиялық қоспалардың тиімділігі, сондай-ақ қозғалғыштығы айтарлықтай айырмашылықтарға ие болатыны белгілі.

Екінші жағынан, қоспалардың тиімділігіне олардың химиялық құрамы айтарлықтай әсер етеді. Мәселен, А.И. Вовк [21], басқалары тең болған жағдайда, поликарбонаттардағы бүйірлік тізбектерді егу жиілігінің рөлі олардың адсорбциясын және құрама немесе тауарлық бетонда (әр түрлі қозғалғыштықта) қолданудың артықшылығын анықтайды.

Жұмыста пластификациялайтын және ауа тартатын қоспаларды – Полипласт ПҚ 328 бетон және темірбетон бұйымдары мен құрылымдарын үздіксіз пішінсіз қалыптау технологиясында қатты бетон қоспаларының құрамында қолданудың тиімділігі көрсетілген, оларды пайдалану қалыптау машинасының қозғалыс жылдамдығын арттыруға, термиялық өңдеу уақытын азайтуға және беріктік көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді олар – В30, В40 санаттағы бетон, бетон қоспасының байланысын, өнімнің геометриясын және бетінің сапасын жақсарту болып табылады.

«Полипласт ПҚ 328» қоспасынан басқа, пішінсіз қалыптау және дірілді басу желісі үшін экструзия технологиясында қолданылатын бірдей тиімді қоспаларды – беттік белсенді натрий тұздары мен алкил сульфаттарының «полипласт ПҚ» қоспасын бөліп

көрсету керек, «мойынтіректердің әсері» және «Вибропласт» әрекет ету механизмі деп аталатынға негізделген.

Оларды қатты бетон қоспаларына енгізу өнеркәсіптік қалыптау кезінде қалыпталған бұйымдар құрылымының тығыздығы мен біркелкілігін арттыруға, қоспаның жұмысқа қабілеттілігін арттыруға, мөртабанға бетонның жабысуын азайтуға, бұйымдардың сыртқы түрін яғни бетінің сапасын жақсартуға, діріл әсерінен бұйымдардың жарылып кетуіне жол бермеуге мүмкіндік береді, әсіресе жұқа қабырғалы бұйымдар үшін. Бетон қоспасының байланыстылығын, жұмысқа қабілеттілігін жақсарту, қалыптау кезінде қажетті геометрияны қамтамасыз ету, тығыздық пен беріктікті арттыру, сондай - ақ қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетон қоспасын қалыптау технологиясында жабдықтың жұмыс органдарына бетонның жабысуын азайту сияқты қасиеттеріне қол жеткізу өте маңызды.

Сондықтан 3D басып шығару технологиясындағы осы қоспалардың тиімділігін зерттеу айтарлықтай қызығушылық тудырады.

№	Қоспалар атауы	Қолдану тиімділігі
1	Реологиялық белсенді (реактивті-жасырын) қоспалар	Сумен және суперпластификаторлардың қатысуымен жеке немесе цемент қоспасында жақсы сұйылтылған суспензиялар түзеді, ал судың орташа жетіспеушілігімен және тұрақтандырғыш қоспаларды енгізгенде тығыз біртекті пластикалық минералды масса түзеді.
2	Реактивті-инертті (әктас, доломит)	Цементтің гидратация өнімдерімен (кварц немесе кварцит ұны, гранит, диабаз, габбро, базальт) өзара әрекеттесуі баяулайды. Сумен жабылған кезде өздігінен қатып қалмайтын, бірақ цементтің гидратация өнімдерімен әрекеттесіп, қосымша цементтейтін қосылыстар түзетін реактивті қоспалар.
3	Реологиялық және реактивті қоспалар	Минералды компоненттері сумен өздігінен қатып қалмайтын қоспалар. Бұл санатқа, ең алдымен, металлургия мен жылу энергетикасының кейбір техногендік қалдықтары жатады. Бұл портландцементпен салыстырғанда әлдеқайда аз көлемде өндірілетін және барлық елдерде бола бермейтін домна шлактары мен күл.
4	Полипласт ПҚ 328	Бетон және темірбетон бұйымдары мен құрылымдарын үздіксіз пішінсіз қалыптау технологиясында қатты бетон қоспаларының құрамында қолдану тиімді, оларды пайдалану қалыптау машинасының қозғалыс жылдамдығын арттыруға, термиялық өңдеу уақытын азайтуға және беріктік көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді олар - В30, В40 санаттағы бетон, бетон қоспасының байланысын, өнімнің геометриясын және бетінің сапасын жақсарту болып табылады.

Қабатты экструзия әдісімен қалыптау технологиясында қолданылатын отырықшы бетон қоспалары үшін, жоғарыда қарастырылған қатты бетон қоспаларына арналған пластификациялық қоспалардан басқа, әртүрлі композициялар мен химиялық негіздері бар басқа пластификациялық қоспалар тиімді болуы мүмкін.

Нәтижелер мен талқылау

Реактивті қоспалар тобын қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетондарға негізделген өнімдердің беріктігін арттыру мақсатында микро кремний диоксидін қолданудың тиімділігін атап өткен жөн, оны 12% мөлшерінде енгізу сығымдау беріктігін 55% – ға дейін, иілу үшін 14% - ға дейін арттыруға мүмкіндік береді, бұл бос кальций гидроксидін төмен негізді кальций гидросиликаттарына байланыстыруға байланысты. Сондай-ақ, белгілі бір температурада күйдірілген және 250...800 м²/кг балшыққа дейін ұнтақталған реактивті қоспалар ретінде қолдану белгілі, бұл цемент тасының орташа тығыздығы мен жұмсарту коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді. Мұнай-химия синтезінің қалдық катализаторы – метакаолин, диатомит, биокремнезем, трепел, алюмосиликат, ферросилиций [6] реактивті қоспалар ретінде қолданылуы белгілі.

Мақалада [7] жаңа буын бетондарын өндіру үшін шикізатты таңдағанда, бетонның өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік беретін реологиялық және реактивті қоспаларға артықшылық беру ұсынылады. Мұндай қоспаның ең қолайлы түрі ретінде авторлар қоңыр көмірді жағу кезінде пайда болатын жұқа күлді пайдаланады. Оны қолданудың тиімділігі бірнеше факторларға байланысты: олардың химиялық және минералды құрамының цемент клинкерінің құрамымен ұқсастығы, суперпластификаторлардың әсерінен жоғары реологиялық қасиеттері және күшті қатайтылған тасты қалыптастыру үшін гидравликалық белсенділігі; көп мөлшерде бос әктің болуы қамырдың тез қалыңдауына және ерте беріктікке ықпал етеді.

Құрылыста қолданылатын реологиялық және реактивті қоспалар тобының тағы бір түрі - бұл беріктік көрсеткіштеріне жауап беретін кальций гидросиликаттарының әртүрлі құрамы бар силикат жүйелерін құру үшін химиялық реакциялардың көбеюіне ықпал ететін көп компонентті жүйе болып табылатын домна пешінің шламы. Мақалада [8] ұсақ түйіршікті бетонның құрамына 10...50% мөлшерінде домна шламын енгізу беріктікті 12%-ға, ал тығыздықты 7%-ға арттыруға, суды сіңіруді 5% - ға төмендетуге мүмкіндік беретіндігі көрсетілген, бұл дайын ұсақ түйіршікті бетон бұйымдарының пайдалану қасиеттерін қалыптастыруға оң әсер етеді. Сонымен қатар, авторлар алған үлгілер М250 ұсақ түйіршікті бетон маркасын қамтамасыз етеді.

Авторлар жұмыста цементті гидратациялау өнімдерінің аналогтары бар сульфоалюминат клинкеріне (САК) негізделген микродисперсті қоспаларды енгізу цементке қосылған кезде оны ылғалдандыру процесін күшейтетінін анықтады, бұл сайып келгенде цемент тасының ерте қатаюын жеделдетуге ықпал етеді.

Бірқатар жұмыстар әртүрлі минералды қоспаларды 3D басып шығару технологиясы үшін цемент жүйелерінде қолдану тиімділігін көрсетеді: метакаолин [9-11], бентонит түріндегі саз [11,12], диатомит [13], микрокремнезем [11], биокремнезем [14] және т. б. сонымен қатар, қалыпталатын массалардың пластикалық қасиеттерін реттеу үшін каолин қолданылады, волластонит [15].

Бетон технологиясында белгілі бір қоспалардың қолданылуының маңызды шарты олардың әсер ету тиімділігі болып табылады, оны әртүрлі критерийлермен анықтауға болады: кальций гидроксидінің қаныққан ерітіндісінен АМД сіңірілген кальций

оксидінің (СаО) мөлшері бойынша [3], бетіндегі адсорбциялық орталықтар мен әртүрлі белсенділік катиондарының бөлшектерінің болуына байланысты энергия потенциалы бойынша және т.б.

В.С. Лесовик қолданылатын минералды қоспаның тиімділігін бағалау критерийі ретінде тиімділік коэффициентін енгізілетін қоспаның 1%-на бақылаусыз құрамға қатысты беріктіктің пайыздық төмендеуінің кері шамасы ретінде пайдалануды ұсынады:

$$\% \text{ қоспа құрамы} / (R_k - R_d) * 100 / R_k \quad (1)$$

мұндағы R_k – бақылау құрамының беріктігі, МПа; R_d – қоспа мен құрамның беріктігі, МПа.

Бұл тиімділік коэффициенті БМҚ-ның қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару технологиясындағы беріктік көрсеткіштеріне әсерін бағалауда пайдалы болуы мүмкін.

Алайда, қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптауға арналған бетон қоспаларын әзірлеу кезінде реотехнологиялық қасиеттерге ерекше назар аудару керек, бұл өз кезегінде төменгі қабаттардың таралуына байланысты геометрияның өзгеруіне әсер етеді, бұл көбінесе қалыпталған өнімнің сапасын анықтайды, бұл формуламен ескерілмейді (1).

Қазіргі уақытта қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару тиімділігінің критерийі жоқ, ол модификациялаушы қоспалардың, атап айтқанда БМҚ болуына байланысты төменгі қабаттардың таралуы салдарынан құрылыс өнімдерінің геометриясының өзгеруін ескереді.

Пластификациялаушы қоспалардың құрамы мен химиялық негіздерінің алуан түрлілігі, бетонның құрамына және қалыптау әдісіне байланысты пластификациялаушы қоспалардың әртүрлі топтарының тиімділігі туралы көптеген деректердің болуы, сондай-ақ олардың қабат-қабат экструзия 3D-басып шығару әдісімен қалыпталатын ұсақ түйіршікті бетондардың қасиеттеріне әсері туралы эксперименттік деректердің болмауы одан әрі зерттеулер жүргізу кезінде ғылыми қызығушылық тудырады.

А.И. Вовк [21] пластификациялаушы қоспаларды ескере отырып, химиялық қоспаларды қолдану арқылы толығымен жойылмайтын бетон қоспасының пластикалық шөгуіне байланысты жарықшақтардың пайда болу проблемасының бар екендігін атап өтеді. Бұл проблема EN 206-1 сәйкес ең қолайлы жағдайларда да яғни белсенді цементтерді, В/Ц қатынасы төмен композицияларды қолданған кезде, күн радиациясы мен жоғары ылғалдылық болмаған кезде кем дегенде бір тәулік, қолайсыз жағдайларда – он күнге дейін болуы керек қалыпта бетонды ұстау мерзімін қысқарту кезінде күрделене түседі. Бұл ылғалдың айтарлықтай жоғалуын болдырмауға және цементті ылғалдандырудың қалыпты жағдайларын қамтамасыз етуге және қатайтатын композиттің микроқұрылымын қалыптастыруға байланысты.

Бұл мәселе қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетондарды қалыптаудың палубасыз әдісімен ерекше өзектілікке ие болады, өйткені бұл сөзсіз ашық беткі модульге әкеледі, бұл бетон денесінен ылғалдың айтарлықтай жоғалуына және пластикалық шөгуге байланысты жарықтардың пайда болуына әкеледі.

Қазіргі уақытта бұл мәселе, ең алдымен, оңтайлы температура мен ылғалдылық жағдайларын қамтамасыз етуден тұратын қатаю процесінде бетонды күтудің екі әдісімен шешіледі: бетті ылғалдандыру, ылғал материалдармен жабу, мысалы, дымқыл үгінділер және т.б., сондай-ақ мембраналық жабындарды қолдану-қалыптасқан бұйымдар мен құрылымдарға қолданылатын пленка түзетін қосылыстар, мысалы, парафинді эмульсиялар, гидрофобизаторлар.

Айта кету керек, В/Ц қатынасы төмен бетондар үшін бетонды суарумен қамтамасыз етілген «ылғалды қатаю» ең қолайлы болып табылады, бірақ бұл әдіс мембраналық жабындарды қолданумен салыстырғанда көп уақытты қажет етеді, 3D басып шығаруда аз технологиялық және сыртқы климаттық факторлардың көріністеріне көбірек тәуелді. Мәселен, мысалы, төменгі қабаттарды суару кезінде суды капиллярлық сору жаңа төселген жоғарғы қабаттың В/С қатынасына және соның салдарынан оның сапасына әсер етеді.

Жоғарыда аталған кемшіліктер қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптасқан бетондағы жарықтар проблемаларын шешуде осы әдісті толық пайдалануды жоққа шығармайды. Бұл әдіспен ең үлкен тиімділікке оны мембраналық жабындармен бірге қолдану арқылы қол жеткізіледі, бұл төтенше жағдайларда, мысалы, ыстық климат жағдайында бетон жұмыстарын жүргізу кезінде ашық беттерден ылғалдың жоғалуын болдырмайды.

Пленка түзетін (химиялық) мембраналық жабындарды, атап айтқанда гидрофобты қоспаларды қолдану атмосфералық жауын-шашыннан туындаған жаңа төселген бетонның эрозиясын (және басқа ақауларды) болдырмауға немесе азайтуға мүмкіндік береді. Қабатты экструзия әдісімен қалыптау кезінде алынған ұсақ түйіршікті бетондардың құрылымы мен қасиеттеріне көлемді және беттік қолдану әдістеріндегі гидрофобизациялық қоспалардың әсерін зерттеуге байланысты туындаған сұрақ өзекті болып табылады және эксперименттік және теориялық зерттеулерді қажет етеді.

Ұлттық Зерттеу Мәскеу Мемлекеттік Құрылыс Университетінде жүргізілген зерттеулерді [2,16] атап өткен жөн. Портландцементті ылғалдандыру процестеріне ішкі күтімді қамтамасыз ету үшін авторлар натрий полиакрилатына негізделген суперабсорбциялаушы полимер ерітіндісін қолдануды ұсынады. Бұл компоненттің ПЦ массасының 0,5-1,5% мөлшеріндегі құрамы қоспалардың қажетті қозғалғыштығын және цемент тастың беріктігін сақтай отырып, салыстырмалы ылғалдылығы 70%-дан аз жағдайларда ылғалдану процестерінің жүруін қамтамасыз етеді.

Авторлар жұмыста [17] СЭМ және РКТ әдістерімен әктас ұнтағымен, кальцийленген сазбен, поликарбонат эфирлеріне негізделген пластификациялаушы қоспамен және 3D басып шығару әдісімен пішінделген тұтқырлық модификаторымен модификацияланған портландцемент ЦЕМ I 52,5 Б-де ұсақ түйіршікті бетонның құрылымдық түзілу ерекшеліктері зерттелді. Диаметрі 10-1000 мкм болатын кеуектердің едәуір көлемі баспа үлгілері қабатының аймағында біркелкі бөлінгені анықталды, үлкен кеуектер (1000...6000 мкм) негізінен басылған қабаттардың шекарасында шоғырланған. Сонымен қатар, кеуектердің көпшілігі тұрақты емес және ұзартылған, бұл авторлардың пікірінше [17] 3D басып шығару технологиясындағы экструзия процестеріне байланысты болуы мүмкін.

Сонымен қатар, ең тиімді болып табылатын беттік белсенді заттар мен электролиттерді қамтитын кешенді модификаторларды (көпфункционалды әрекет) бөліп көрсету керек. Сонымен, ылғалдану процестерінің баяулауында және бетонның жалпы кеуектілігінің жоғарылауында көрінетін пластификация және гидрофобизация қоспаларының теріс әсерін үдеткіш қоспалармен жоюға болады. Осы топтың ішінде құрамында кремний – органикалық қосылыстар мен электролиттер бар модификаторларды бөліп көрсетуге болады (ГКЖ-10 + НК), (ЛСТ + ГКЖ-94 + СН). Олар бетондардың жеткілікті жоғары қатаю жылдамдығын және олардың жоғары аязға төзімділігі мен коррозияға төзімділігін қамтамасыз етеді. Авторлар жұмыста карбоксилатты полиэфирмен «Одолит-К» біріктірілген сульфат-сода қоспасы (ССК) негізінде әзірленген кешенді қоспаның тиімділігін зерттеді. Оларды бірлесіп қолдану алғашқы тәулікте беріктіктің 70-96% - ға артуына әкелетіні көрсетілген, ал маркалық беріктігі де айтарлықтай артады (60% - ға). Осылайша, ұсынылған кешенді қоспаның тиімділігі компоненттердің жеке жұмысының тиімділігінен 2-3 есе көп.

Цемент композицияларының құрамына органоминаралды кешендерді енгізу олардың құрылымдық-механикалық қасиеттерін ғана емес, сонымен қатар технологиялық қасиеттерін де реттеуге мүмкіндік береді. Сонымен, авторлар жұмыста цемент композицияларында полифенилэтоксисилоксан, полиакриламид және метакаолин негізіндегі органоминаралды модификаторды қолданудың тиімділігін көрсетеді, бұл олардың иілу беріктігі, аязға төзімділігі, судың сіңуін төмендету сияқты физикалық-механикалық сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік береді. Авторлар иілу кезінде цемент композицияларының беріктігін арттыру үшін жұмыста «Melment F-10» пластификациялаушы қоспасына және минералды компонент – ұсақ ұнтақталған вулканогенді-шөгінді жыныстарға негізделген қоспаны қолдану мүмкіндігі зерттелді. Бұл модификаторды пайдалану иілу кезінде беріктік шегінің бақылау құрамымен салыстырғанда 35%-ға артуына әкеледі.

Органикалық минералды қоспалардың технологиялық қасиеттерге әсері жұмыста қарастырылады. Авторлар қарастырылып отырған органоминаралды модификаторлардың ішінде ең үлкен ұтқырлыққа (ОК = 27 см) күл-тасығыштан, вьетнамдық күріш қабығының күлінен және «Sika ViscoCrete 5-New» пластификациялаушы қоспасынан тұратын органоминаралды кешені бар бетон қоспалары, ең аз қозғалғыштығы (ОК = 22 см) күл-тасығыштан жасалған органоминаралды кешені бар, вьетнамдық күріш қабығының күлі және С-3 суперпластификаторы.

В.Г. Шухова [18,19] поливинилацетат дисперсиясының ұсақ түйіршікті бетонын рецептураға енгізу аддитивті технологиялар үшін полимерцемент композит беріктігін, соның ішінде қабаттар арасындағы адгезиялық тігісті арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Бұл жұмыстың маңыздылығын төмендетпей, өнеркәсіптік 3D принтерде алынған нәтижелерді өндірістік сынақтан өткізу туралы деректердің жоқтығын атап өткен жөн. Өндірілген үлгі негізі мен қолданылатын қабат зертханалық жағдайда, болжамды құю арқылы жасалады, бұл алынған нәтижелерді 3D принтерде кейіннен тексеруді қажет етеді.

Н.О. Копаница (ТМҚСУ) [20] жұмысында көрсетілген нәтижелер тиксотропты қасиеттерінің жоғарылауы тұрғысынан цемент-құм қоспасына полиакриламидтің аз мөлшерін қолданудың тиімділігін көрсетеді, бірақ сонымен бірге қоспаның су ұстау қабілетінің төмендеуі байқалады және сайып келгенде қоспаның стратификациясына әкелуі мүмкін, бұл дайын өнімнің беріктігіне теріс әсер етеді.

Құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын реактивті қоспалар тобын қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетондарға негізделген өнімдердің тиімділігін арттыруды салыстыру бойынша:

№№	Қоспалар атаулары	Сығымдау беріктігі	Иілуі	Тығыздығы, кг/м ³
11	Микро кремний диоксиді 12%	55%	14%	-
22	Домна пешінің шламы 10-50%	12%	-	7%
33	Карбоксилатты полиэфирмен «Одолит-К» біріктірілген сульфат-сода қоспасы	70-96%	-	-
44	Melment F-10	-	35%	-

Осылайша, авторлар құрылыс 3D басып шығаруға арналған қоспалардың құрамын қалыптастыру кезінде көп функциялы көп компонентті қоспалар кешенінде қолдануды ұсынады. Флоккуляциялық қоспаны полиакриламидті қолданудың тағы бір оң нәтижесі жұмыста көрсетілген. Сонымен, портландцементке ПАА-ны 0,1% - ға дейін енгізу термос калориметриясы мен контракция әдістерімен зерттелген бастапқы қатаю кезеңінде гидратация процесінің қарқындылығына, цемент-талшықты композициялардың иілуіндегі беріктік шегінің жоғарылауына әкеледі.

Қорытынды

Осылайша, орындалған әдеби шолу қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетондарды қалыптау технологиясында аса маңызды болып табылатын реотехнологиялық қасиеттердің берілген кешені бар цементтерді, ерітінділерді және бетондарды алу кезінде БМҚ қолданудың жоғары тиімділігін көрсетеді.

Көптеген зерттеулер БМҚ-ның әртүрлі химиялық қоспалардың қатысуымен әртүрлі минералогиялық құрамдағы цементтерге негізделген композиттердің құрылымы мен қасиеттеріне әсер ету ерекшеліктерін анықтады.

Бірқатар авторлар минералды қоспаларды әртүрлі критерийлер бойынша жіктеуді ұсынады, бұл оларды қолдану және олардың тиімділігін талдау кезінде өте ыңғайлы.

Бұл ретте қазіргі уақытта БМҚ-ның әртүрлі түрлерінің қабат-қабат экструзия 3D-басып шығару әдісімен қалыптастырылатын бетондардың құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыруға, сондай-ақ бетон қоспаларының оңтайлы реотехнологиялық

қасиеттеріне және қатайтылған композиттің физика-механикалық қасиеттеріне қол жеткізуге әсері мәселесі зерттелмеген күйінде қалып отыр, бұл осы салада одан әрі эксперименттік зерттеулер жүргізу қажеттілігін туғызады.

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында химиялық қоспаларды қолдануға жүргізілген шолу оларды бетон қоспаларының құрамына енгізу бетондардың физикалық-механикалық сипаттамаларына яғни беріктігін, суға төзімділігін арттыру, суды сіңіруді азайту ғана емес, сонымен қатар қоспаның реотехнологиялық қасиеттеріне де әсер ететіндігін анықтады сондай-ақ қалыптылықты жақсарту, қажетті ұтқырлықты қамтамасыз ету. Айта кету керек, осы күнге дейін химиялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясындағы бетон қоспалары мен бетондардың көрсетілген қасиеттеріне әсері туралы мәселелер әлі де аз зерттелген.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты жұмыстың мақсаты белсенді минералды және химиялық қоспалар кешенімен ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын өзгерту арқылы құрылыста аддитивті өндірісті жетілдіруді қамтамасыз ететін ғылыми негізделген технологиялық шешімді әзірлеу болып табылады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті бағдарламалық-мақсаттық қаржыландыру шеңберінде қаржыландырады (грант № «BR21882278 Аккредиттелген мамандардың толық циклін қамтамасыз ету үшін құрылыс-техникалық инженерлік орталық құру» Қазақстан Республикасының құрылыс, жол құрылысы саласындағы қызметтері»)

Авторлардың қосқан үлесі:

Алдабергенова Г.Б., Джексембаева А. – жұмыстың тұжырымдамасы мен дизайнына, жұмыс нәтижелерін жинауға, талдауға және түсіндіруге, мәтін жазуға және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарауға, жұмыстың барлық аспектілері үшін жауап беруге келісуге, мәліметтердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына қатысты мәселелерді дұрыс зерттеуге және шешуге айтарлықтай үлес қосты.

Конканов М., Кадыров А., Байдаулет Ж. – мәтінді жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау, жариялау үшін мақаланың соңғы нұсқасын бекіту, жұмыстың барлық аспектілері үшін жауап беруге келісу, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына қатысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу.

Әдебиеттер тізімі

1. Kruger, P.J. Rheo-mechanics modelling of 3D concrete printing constructability / P.J. Kruger //Dokt, Diss. Stellenbosch University. - 2019. P. 293.

2. Зыонг Т.К. Высокопрочные легкие фибробетоны
3. Конструкционного назначения: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05/Зыонг Тхань Куй. – М., 2020. – 201 с.
4. ГОСТ Р 56592-2015 Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ, 2015. - 11 с.
5. ГОСТ 24640-91 Добавки для цемента. Классификация. - М.: Стандартинформ, 2010. - 10 с.
6. ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2019. - 18 с.
7. Мухаметрахимов Р.Х. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Вестник технологического университета. - 2017. № 6(20). - С. 60-63.
8. Белякова Е.А. Цемент на основе золы-уноса для современных строительных технологий / Е.А. Белякова, Р.Н. Москвин, О.В. Тараканов // Региональная архитектура и строительство. - 2017. - № 1(30). - С. 5-11.
9. Скрипникова Н.К. Мелкозернистый бетон с использованием отходов металлургии / Н.К. Скрипникова, В.В. Шеховцов, Д.К. Григорьевская, М.А. Семеновых, И.Ю. Юрьев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2019. - № 2(21). - С. 185-191.
10. Пат. 2729283 Российская Федерация. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, Е.А. Бритвина, Д.С. Бабенко, А.И. Ибряева; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». - № 2019133428, заявл. 21.10.2019; опубл. 05.08.2020, Бюл. №22 - С. 6.
11. Chen, M. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up / M. Chen, L. Yang, Y. Zheng, Y. Huang, L. Li, P. Zhao, S. Wang, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 252. 119090.
12. Mendoza Reales, O.A. Nanosilica particles as structural buildup agents for 3D printing with Portland cement pastes / O.A. Mendoza Reales, P. Duda, E.C.C.M. Silva, M.D.M. Paiva, R.D.T. Filho // Constr. Build. Mater. - 2019. Vol. 219. - P. 91- 100.
13. Chen, M. Rheological parameters, thixotropy and creep of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites modified by bentonite / M. Chen, B. Liu, L. Li, L. Cao, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Compos. Part B Eng. - 2020. -Vol. 186. 107821.
14. Chen, M. Rheological parameters and building time of 3D printing sulphoaluminate cement paste modified by retarder and diatomite / M. Chen, L. Li, J. Wang, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 234. 117391.
15. Han, R. A comparison of the degradation behaviour of 3D printed PDLGA scaffolds incorporating bioglass or biosilica / R. Han, F. Buchanan, L. Ford, M. Julius,
16. P.J. Walsh // Mater. Sci. Eng. C. - 2021. -Vol. 120. 111755.
17. Zareei, S.A. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study / S.A. Zareei, F. Ameri, P. Shoaie, N. Bahrami // Constr. Build. Mater. - 2019. - Vol. 201. - P. 11-32.
18. Королев Е.В. Способ обеспечения внутреннего ухода за гидратацией цемента в составах для 3D-печати / Е.В. Королев, Т.К. Зыонг, А.С. Иноземцев // Вестник МГСУ. - 2020. - № 6. - С. 834-846.

19. Chen, Y. Characterization of air-void systems in 3D printed cementitious materials using optical image scanning and X-ray computed tomography / Y. Chen, O. Çopuroğlu, C. Romero Rodriguez, F.F. d. Mendonca Filho, E. Schlangen // Mater. Charact. - 2021. - Vol. 173.

20. Новосадов Н.И., Полуэктова В.А. Прочностные характеристики полимерцементного композита для аддитивных технологий / В.А. Новосадов, Н.И., Полуэктова // Сборник материалов III международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 133-137.

21. Полуэктова В.А. Закономерности поверхностных явлений и модифицирования полимерминеральных дисперсий для аддитивных технологий: дис. ... д-ра техн. наук: 1.4.10 / Полуэктова Валентина Анатольевна. – Белгород, 2022. - 517 с.

22. Сорокина Е.А. Исследование влияния добавки Agocel S-2000 на свойства бетонной смеси для 3D-печати / Н.О. Сорокина, Е.А., Копаница // Сборник «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2017). Избранные доклады IV международной научной конференции студентов и молодых ученых». - 2017. - С. 106-109.

23. Вовк А.И. Upgrade добавок: чем может помочь химия / А.И. Вовк // Технологии бетонов. - 2014. - № 8. - С. 8-11.

24. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. - 2011. - № 3. - С. 103– 106.

**Алдабергенова Газиза*¹, Джексембаева Асель², Конканов Марат², Кадыров Абзал²,
Байдаулет Жулдызай²**

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Применение модифицирующих добавок на отходах в технологии строительной 3D печати

Аннотация. Внедрение инновационных технологий 3D-печати в строительной отрасли позволит повысить эффективность и экологичность материалов. Наряду с развитием этой технологии возникла необходимость создания модификационных смесей с использованием отходов. В этом исследовании рассматривается использование модификационных смесей на остаточной основе в технологии строительной 3D-печати.

Основные физико-механические свойства и прочность мелкозернистых бетонов, сформированных методом слоистой экструзии, свидетельствуют о высокой эффективности применения модифицирующей смеси при получении цементов, растворов и бетонов с заданным комплексом сырьевых добавок, условий взаимодействия и реотехнологических свойств.

В ходе исследования изучаются свойства отходов и анализируется возможность их применения в составе строительных смесей, используемых для 3D-печати. Были проведены различные эксперименты с целью определения эффективности отходов и их влияния на физико-механические свойства строительных материалов.

В результате было обнаружено, что модифицирующие добавки на остаточной основе способствуют повышению прочности, устойчивости и экологической дружелюбности строительных материалов в технологии строительной 3D-печати. Эти подходы направлены на предоставление новых возможностей и решений в строительной отрасли с учетом экологической эффективности и экономических выгод.

Ключевые слова: 3D-печать, портландцемент, мелкий наполнитель, активная минеральная добавка, модифицирующая добавка, химическая добавка, усадочная деформация, реотехнологические свойства.

**Aldabergenova Gaziza*¹, Jexembayeva Asel², Konkanov Marat², Kadyrov Abzal²,
Bidaulet Zhuldyzay²**

¹*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

The use of waste-based modifying additives in construction 3D printing technology

Abstract. The introduction of innovative 3D printing technologies in the construction industry makes it possible to increase the efficiency and environmental sustainability of materials. In parallel with the development of this technology, there was a need to create modification mixtures using waste materials. This study examines the use of waste-based modification additives in construction 3D printing technology.

The main physico-mechanical properties and strength of fine-grained concretes formed by the method of layered extrusion show the high efficiency of using a modification mixture in the production of cements, mortars and concretes with a given complex of rheotechnological properties, depending on the composition of raw materials mixtures, interaction conditions and conditions.

In the course of the study, the properties of waste materials are studied and the possibility of their use in the composition of building mixtures used for 3D printing is analyzed. Various experiments were carried out in order to determine the efficiency of waste materials and their effect on the physical and mechanical properties of building materials.

As a result, it was found that waste-based modification additives contribute to increasing the strength, stability and environmental friendliness of building materials in construction 3D printing technology. It aims to provide new opportunities and solutions in the construction sector, considering the environmental benefits and economic benefits of these approaches.

Keywords: 3D printing, portland cement, fine filler, active mineral additive, modification additive, chemical additive, shrinkage deformation, rheotechnological properties.

References

1. Kruger, P.J. Rheo-mechanics modelling of 3D concrete printing constructability / P.J. Kruger//Dokt, Diss. Stellenbosch University. - 2019. P. 293.
2. Zyong, T.K. High-strength lightweight fiber-reinforced concrete for structural purposes: dis. ... Cand. of Engineering Sciences: 05.23.05 / Zyong Thanh Quy. - M., 2020. - 201 p.
3. GOST R 56592-2015 Mineral additives for concrete and mortars. General specifications. - M.: Standartinform, 2015. - 11 p.
4. GOST 24640-91 Additives for cements. Classification. - M.: Standartinform, 2010. - 10 p.
5. GOST 31108-2016 General construction cements. Specifications. - M.: Standartinform, 2019. - 18 p.
6. Mukhametrahimov, R.Kh. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolanic binder / R.Kh. Mukhametrahimov, A.R. Galautdinov // Bulletin of the Technological University. - 2017. No. 6 (20). - P. 60-63.

7. Belyakova, E.A. Fly ash-based cement for modern construction technologies / E.A. Belyakova, R.N. Moskvina, O.V. Tarakanov // Regional architecture and construction. - 2017. - No. 1 (30). - P. 5-11.
8. Skripnikova, N.K. Fine-grained concrete using metallurgy waste / N.K. Skripnikova, V.V. Shekhovtsov, D.K. Grigorevskaya, M.A. Semenovych, I.Yu. Yuryev // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2019. - No. 2 (21). - P. 185-191.
9. Patent. 2729283 Russian Federation. Two-phase cement-based mixture for composites in construction 3D printing technology / G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova, E.A. Britvina, D.S. Babenko, A.I. Ibrayeva; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Technical University" – No. 2019133428, declared. 21.10.2019; published. 05.08.2020, Bulletin No. 22 - p. 6.10. Chen, M. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up / M. Chen, L. Yang, Y. Zheng, Y. Huang, L. Li, P. Zhao, S. Wang, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 252. 119090.
10. Mendoza Reales, O.A. Nanosilica particles as structural buildup agents for 3D printing with Portland cement pastes / O.A. Mendoza Reales, P. Duda, E.C.C.M. Silva, M.D.M. Paiva, R.D.T. Filho // Constr. Build. Mater. - 2019. Vol. 219. - P. 91- 100.
11. Chen, M. Rheological parameters, thixotropy and creep of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites modified by bentonite / M. Chen, B. Liu, L. Li, L. Cao, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Compos. Part B Eng. - 2020. -Vol. 186. 107821.
12. Chen, M. Rheological parameters and building time of 3D printing sulphoaluminate cement paste modified by retarder and diatomite / M. Chen, L. Li, J. Wang, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 234. 117391.
13. Han, R. A comparison of the degradation behaviour of 3D printed PDLGA scaffolds incorporating bioglass or biosilica / R. Han, F. Buchanan, L. Ford, M. Julius,
14. P.J. Walsh // Mater. Sci. Eng. C. - 2021. -Vol. 120. 111755.
15. Zareei, S.A. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study / S.A. Zareei, F. Ameri, P. Shoaiei, N. Bahrami // Constr. Build. Mater. - 2019. - Vol. 201. - P. 11-32.
16. Korolev, E.V. Method for ensuring internal care of cement hydration in compositions for 3D printing / E.V. Korolev, T.K. Zyong, A.S. Inozemtsev // Bulletin of MGSU. - 2020. - No. 6. - P. 834-846.
17. Chen, Y. Characterization of air-void systems in 3D printed cementitious materials using optical image scanning and X-ray computed tomography / Y. Chen, O. Çopuroğlu, C. Romero Rodriguez, F.F. d. Mendonca Filho, E. Schlangen // Mater. Charact. - 2021. - Vol. 173.
18. Novosadov, N.I., Poluektova, V.A. Strength characteristics of polymer-cement composite for additive technologies / V.A. Novosadov, N.I., Poluektova // Collection of materials of the III International scientific and practical conference. - 2017. - P. 133-137.
19. Poluektova, V.A. Patterns of surface phenomena and modification of polymer-mineral dispersions for additive technologies: dis. ... Doctor of Engineering Sciences: 1.4.10 / Poluektova Valentina Anatolyevna. - Belgorod, 2022. - 517 p.
20. Sorokina, E.A. Study of the influence of Agocel S-2000 additive on the properties of concrete mixture for 3D printing / N.O. Sorokina, E.A., Kopanitsa // Collection "Youth, Science, Technology: New Ideas and Prospects (MNT-2017) Selected Reports of the IV International Scientific Conference of Students and Young Scientists". - 2017. - P. 106-109.
21. Vovk, A.I. Upgrade of additives: how chemistry can help / A.I. Vovk // Concrete technologies. - 2014. - No. 8. - P. 8-11.

22. Kalashnikov, V.I. Terminology of concrete science of a new generation of concrete / V.I. Kalashnikov // Construction materials. - 2011. - No. 3. - P. 103–106.

Авторлар туралы мәлімет:

Джексембаева А.Е. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің PhD, Қажымұқан көш., 13, к. 205

Қонқанов М.Д. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің PhD, Қажымұқан көш., 13, к. 205

Алдабергенова Г.Б. – т.ғ.м., ассистент профессор, ЖҚФ декан орынбасары, (Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы), Алматы қ, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Қадыров А.Б. – техника ғылымдарының магистрі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, к. 205

Байдаулет Ж.С. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының техника ғылымдарының магистрі, Қажымұқан көшесі, 13, к. 205

Джексембаева А.Е. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажимукана, 13, к.205

Конканов М.Д. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205

Алдабергенова Г.Б. – м.т.н., ассистент профессор, заместитель декана факультета общего строительства, МОК(КазГАСА), г. Алматы, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Кадыров А.Б. – магистр технических наук, докторант кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства» Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажимукана, 13, к.205

Байдаулет Ж.С. – магистр технических наук кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства» ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205

Jexembayeva Asel – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan str. 13, k.205

Konkanov M.D. – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan str. 13, k.205

Aldabergenova G.B. – Master of Technical Sciences, Assistant Professor, Deputy Dean of the Faculty of General Construction, IEC (KazGASA), Almaty, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Kadyrov A.B. – Master of Engineering Sciences, PhD student, Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan St. 13, k205

Baydaulet Zh.S. – Master of Engineering Sciences, Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan St. 13, k205



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).