



XҒТАР 691.12

Шолу мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-79-96>

## 3D басып шығару арқылы қалдықтар негізінде бетонды қалыптау технологиясының ерекшеліктері

Аруова Л.\*<sup>1</sup>, Алдабергенова Г.<sup>2</sup>, Кадыров А.<sup>1</sup>, Уркинбаева Ж.<sup>1</sup>, Сейтказинов О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

(E-mail: \*ecoeducation@mail.ru)

**Аңдатпа.** Бұл мақалада құрылыс саласында 3D басып шығару арқылы қалдықтар негізінде бетонды қалыптау технологиясының ерекшеліктері мен аддитивті технологияларды қолдану саласы бойынша әлемдік тәжірибеге шолу қарастырылады.

Құрылыстағы аддитивті технологиялық процестердің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңі қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясын бетонды қалыптау технологияларының бірі және аддитивті технологиялық процестеріндегі зерттелетін технологияның орнын анықтау үшін нормативтік құжаттама және әдеби дереккөздер талданады. Әдеби шолу мен талдау негізінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін құрылыс 3D басып шығару технологиясында оңтайлы реотехнологиялық қасиеттерді қамтамасыз ету қажеттігі анықталады.

Мақалада жұмыс қабілеттілігі мен орнату уақыты бойынша бетон қоспасына қойылатын негізгі техникалық талаптар, сондай-ақ бетон құрамын таңдау ерекшеліктері тұжырымдалған. Портландцемент негізінде берілген сипаттамалары бар ұсақ түйіршікті бетондарды алудың принципті мүмкіндігі қарастырылған. Басылған қабаттардың формаға төзімділігін жақсарту, бастапқы құрылымның пайда болуын жеделдету, композиттердің физика-механикалық сипаттамалары (тығыздығы, беріктігі, судың сіңуінің төмендеуі) үшін бетон қоспасының бастапқы құрамын минералды және химиялық қоспалармен өзгертуі зерттеледі.

Осыған байланысты, бірінші кезеңде нормативтік құжаттама, сондай-ақ құрылыс 3D басып шығару процестері мен әдістері, аддитивті өндіріс нарығының жағдайы талданады. Екінші кезеңде құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылатын шикізат қоспаларының құрамы зерттеледі.

**Кілт сөздер:** 3D басып шығару, Қабатты экструзия әдісі, ұсақ түйіршікті бетон қоспасы, аддитивті құрылыс өндірісі, шикізат қоспасы.

Түсті 12.03.2024. Жөнделді 06.09.2024. Мақұлданды 12.09.2024. Онлайн қолжетімді 30.09.2024

<sup>1</sup>\*хат-хабар үшін автор

## Кіріспе

Құрылыс өндірісіне енгізілген аддитивті технологияның бір түрі-қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару. 3D басып шығару дегеніміз ол материалды бір уақытта бір қабатқа қабаттастыру арқылы бөлікті жасау. Басып шығару үшін қосымша құрылыс қондырғылары 3D принтерлер қолданылады. Бұл технология берілген үш өлшемді цифрлық модельге сәйкес шикізат қоспасын қабаттап жағу (экструзия) арқылы объектілерді құруға (өсіруге) мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта қолданылатын бетон қоспаларының құрамдары негізінен ұсақ түйіршікті қабатты экструзия 3D басып шығару үшін 3D құрылыс принтерлерінде «сия» ретінде қолдануға бейімделмеген, бұл қоспалардың төмен реотехнологиялық сипаттамаларында, сондай-ақ олардың негізіндегі өнімдердің төмен пайдалану қасиеттері мен беріктігінде көрінеді [8]. Қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан өнімдердің ең тән ақаулары: қабаттардың таралуына байланысты геометрияның бұзылуы, жыртылу, Бос орындар мен сынықтардың болуы, кеуектіліктің жоғарылауы, жарыққа төзімділіктің төмендігі, жоғары шөгуде деформациясы, қатаюдың біркелкі еместігі және т.б. Сонымен қатар, қабаттардың пішінге төзімділігін қамтамасыз ету үшін қажет ұзақ технологиялық үзілістер, сондай-ақ 3D басып шығаруды қайта бастаған кезде жұмыс ауысымы аяқталған кезде пайда болатын үзілістер құрылыс өнімдерінің сапасын едәуір төмендететін, қабаттардың төмен адгезиясымен және физикалық-механикалық сипаттамаларының төмендеуімен (беріктігі, су өткізбейтіндігі, аязға төзімділігі және т.б.) көрінетін суықбуындардың пайда болуына әкеледі [15]. Осыған байланысты қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан бетон қоспаларына пайдалану, рецепт және технологиялық факторларға тікелей байланысты талаптар қойылады. Олардың ішінде ең маңыздылары: басылған қабаттардың жоғары формаға төзімділігі, жеделдетілген бастапқы құрылымның қалыптасуы, басылған қабаттардың жоғары адгезиясы, қалыптасқан композиттердің физика-механикалық сипаттамаларының жоғарылауы [9]. Осыған байланысты оңтайлы реотехнологиялық сипаттамалары, физика-механикалық қасиеттерінің жоғарылауы және 3D басып шығару үзілісінің ұзақ уақыт аралығында суық тігістердің пайда болуын болдырмауды қамтамасыз ететін ғылыми негізделген технологиялық шешімдерді әзірлеу арқылы қабатты экструзияға (3D басып шығару) арналған ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын әзірлеу арқылы құрылыстағы аддитивті өндірісті жетілдіруге байланысты мәселелерді шешу өзекті болып отыр [18].

В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лapidустың жұмыстарына сүйене отырып, аддитивті құрылыс өндірісінің технологиясы ғылыми тұрғыдан қажетті сападағы өнімді алу үшін жартылай фабрикаттарды, яғни ерітінді мен бетон қоспаларын өңдеуді қамтамасыз ететін және олардың жай-күйінің, физикалық-механикалық қасиеттерінің, геометриялық өлшемдерінің өзгеруімен құрылыс процестерін орындау кезінде теориялық негіздерін, әдістерін мен тәсілдерін қарастырады.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс өнімдерін құру процесі технологиялық операциялардың келесі тізбегін қамтиды:

1. Объектінің сандық трахмер моделін құру;

2. Модельді көлденең қимадағы қабаттарға бөлу;
3. Модельді G-code бағдарламалау тілінде сандық деректерге аудару, бұл модельдеуге, кодтар жасауға және 3D принтерді басқаруға мүмкіндік береді;
4. Берілген қасиеттері бар шикізат қоспасын дайындау және оны құрылыс 3D-принтерінің алынбалы жинақтау бункеріне беру;
5. Әзірленген кодты басып шығару механизміне беру-экструдер;
6. Берілген сандық үш өлшемді модельге сәйкес шикізат қоспасының қабатты экструзиясы;
7. Объектіні (бұйымды) қалыптастыру аяқталғанға дейін материалды қатайту;
8. Кейінгі өңдеу: тірек құрылымын алып тастау (қажет болған жағдайда).

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

## **Әдіснама**

Әртүрлі өнеркәсіптік салаларда, соның ішінде, атап айтсақ құрылыс саласында өндіріс кезінде автоматтандыру мен роботтандыру құралдарын дамыту әрі енгізу бағытында жаңашылдық технологиялардың кеңінен пайдаланылуы байқалады. Құрылыс саласында осылай қарқынды дамып келе жатқан жаңа инновациялық технологиялардың бірі – ол субтрактивті өндіріс яғни механикалық өңдеу мен дәстүрлі өндіріспен айырмашылығы материалды, яғни қабат-қабат қосу арқылы электрондық геометриялық модель бойынша физикалық объектіні құру негізінде ғимараттар мен құрылыстардың бөлшектерін, бұйымдарын, құрылымдарын, қаңқаларын жасауға мүмкіндік беретін аддитивті технологиялық процестерді – құю, штамптау арқылы қолдану болып табылады. Қазіргі уақытта аддитивті процестердің негізгі жеті категориясы бар – олар ваннадағы фотополимерлеу, байланыстырғышты реактивті қолдану, материалды реактивті қолдану, субстраттағы синтез, материалды экструзиялау, энергия мен материалды тікелей жеткізу және парақты ламинациялау. Құрылыста, минералды тұтқыр негізінен, ең бастысы портландцемент шикізат қоспаларын қолдану арқылы, қабатты экструзия әдісі кеңінен таралды. Қабатты экструзия әдісімен бетонды қалыптау технологиясы өзара байланысты процестер және шикізат компоненттерін өңдеу әдістері болып табылады.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясын бетонды қалыптау технологияларының бірі және құрылыс өндірісінің тәсілдерінің бірі ретінде қарастыра отырып, аддитивті технологиялық процестердің бар санаттарын және олардағы зерттелетін технологияның орнын анықтау үшін нормативтік көздерді қарастыру қажет.

Нормативтік құжаттаманы талдау аддитивті технологиялық процестер саласындағы нормативтік реттеудің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңін көрсетеді. Қазіргі уақытта алты ұлттық стандарт бекітілді және қолданысқа енгізілді, олардың үшеуі құрғақ қоспалар, ерітінді қоспалары, сондай-ақ қатайтылған ерітінді түріндегі

шикізатты пайдалана отырып, қосымша құрылыс өндірісінің технологияларында тікелей қолданылады [3-5].

57558-2017 Р Мемст [1] Бөлшектерді өндірудің аддитивті принципіне негізделген аддитивті өндіріс технологияларында қолданылатын терминдер мен анықтамаларды белгілейді, яғни материалды дәйекті қосу арқылы физикалық кеңістіктік бұйымдарды жасау. Бұл стандарттың мақсаты аддитивті өндірістің іргелі принциптерін базалық түсінуді қамтамасыз ету және олардың негізінде осы технологиялар саласында нақты терминологияны енгізу болып табылады.

Аддитивті технологиялық процестердің әртүрлі санаттарында қолданылатын материалдарға қойылатын жалпы талаптар 57589-2017 Р Мемст [6]. Бұл стандарт процестердің келесі категорияларын анықтайды: ваннадағы фотополимерлеу, материалды реактивті қолдану, байланыстырғышты реактивті қолдану, субстраттағы синтез, материалды экструзиялау, энергия мен материалды тікелей жеткізу, парақ ламинациясы. Процестердің мәнін, қолданылатын шикізатты, шикізат қоспасының құрамдас бөліктерінің байланыс механизмін, оны белсендіру көзін және дайын өнімді қайталама өңдеу әдістерін сипаттау келтірілген.

57590-2017 ГОСТ Р [2] осы стандарт аддитивті өндіріс саласындағы ағымдағы және болашақ міндеттерді шешу үшін қолданылатын аддитивті өндіріс файлдарына (AMF) қойылатын талаптарды белгілейді

59095-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Терминдер және анықтамалар [3] алмасу үшін негізгі терминдер мен анықтамаларды белгілейді» құрылыс құрылымдарын өндірудің аддитивті принципіне негізделген құрылыстағы аддитивті өндіріс технологияларында қолданылатын терминдер мен анықтамаларды белгілейді, яғни материалды дәйекті қосу арқылы физикалық кеңістіктік объектілерді құру.

59096-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Сынау әдістері» [4] құрғақ қоспалар, ерітінді (бетон) қоспалары, сондай-ақ қатайтылған бетон (ерітінді) түрінде аддитивті құрылыс өндірісіне арналған материалдар сапасының негізгі көрсеткіштерін анықтау әдістерін (жүзуге төзімділікті, сорғышты және қабаттардың адгезия беріктігін (тұтастығын) анықтау) белгілейді.

59097-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Техникалық талаптар» [5] ғимараттар мен құрылыстарды салу, қайта құру және жөндеу кезінде қолданылатын қосымша құрылыс өндірісіне арналған материалдарды қабылдаудың жалпы техникалық талаптары мен ережелерін белгілейді.

57589-2017 ГОСТ Р [6] сәйкес қабатты экструзия әдісімен бетонды қалыптау «Материалды экструзиялау» процестерінің санатына жатады. Осы стандарт процестердің әртүрлі санаттарында қолданылатын материалдарға қойылатын жалпы талаптарды белгілейді.

Қабатты экструзия әдісі көптеген құрылыс принтерлерін 3D басып шығарудың негізгі әдісі болып табылады. Бұл әдістің мәні мынада: 3D принтерде жұмыс істейтін «саптама» яғни экструдер бөлігі бар, ол тез қататын бетон қоспасын сығып алады, оған болашақ құрылымның сипаттамаларын қандай да бір жолмен жақсартатын әртүрлі қоспалар

кіреді. Әрбір келесі қабат алдыңғы қабаттың үстіне 3D принтермен сығылады, соның арқасында белгілі бір дизайн қалыптасады (1-сурет [7]).



1-сурет. «Құрылыс 3D принтерінде қабатты экструзия өнімін жасау» [7]

Құрылыстағы мұндай технология туралы алғаш рет 2012 жылдың тамызында Оңтүстік Калифорния университетінің профессоры Бехрох Хошневистің еңбектерінде айтылған. Оның ғылыми тобы құрылыс алаңында жиналған көпір кранының түрі бойынша 3D принтерді жобалау идеясын алға тартты.

Сол жылы алғашқы тұтынушылық 3D құрылыс принтерлері ұсынылды, ал екі жылдан кейін Шанхай Винсун (Қытай) бір қабатты тұрғын үйдің алғашқы экспонаты салынды.

Бетонды қабатты экструзиялау әдісін әр түрлі құрылыс 3D принтерлерімен жүзеге асыруға болады: порталды, бұрыштық координаттарда жұмыс істейтін Дельта жетегі бар, өнеркәсіптік манипуляторлар негізінде және т. б.

Жалпы жағдайда 3D принтермен басып шығару жүйесі келесі элементтерді қамтиды [8]:

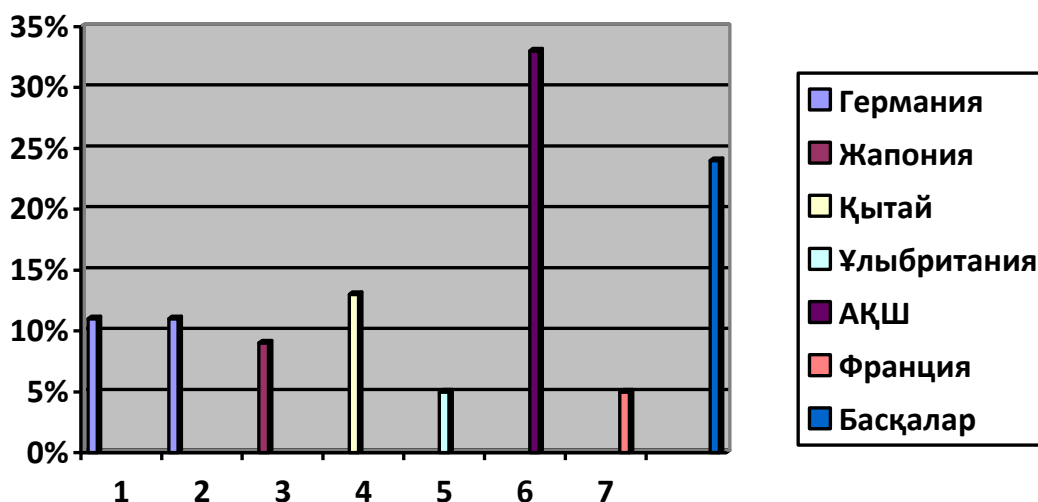
- қозғалыс жүйесі;
- экструзия жүйесі (саптамасы бар баспа басы);
- портативті араластыру қондырғысы;
- сорғы жүйесі (электроникамен басқарылады);
- басқару блогы (электроника, орналасу және басқару жүйесі);
- қауіпсіздік жүйесі.

Әдеби деректерді талдау бойынша [9] қосымша өндіріс нарығының жыл сайынғы өсуін көрсетеді. 2018 жылы оның көлемі 5 млрд. АҚШ долларынан асты, 2025 жылға болжамды көлемі 21 млрд. АҚШ долларынан асады (2-сурет). Айта кету керек, аддитивті технологиялардың әлемдік нарығының 50% -дан астамын АҚШ, Германия, Ұлыбритания, Жапония және т.б. сияқты елдер бақылайды, бұл ұзақ мерзімді перспективада оларды

осы технологияны дамытудың көшбасшылары ретінде анықтайды. Аддитивті өндіріс жабдықтарын өндірушілерді қарастыра отырып, негізгі көшбасшы компанияларды атап өтетін болсақ: ObjectGeometries (АҚШ-Израиль), корпорация 3D Systems (АҚШ), ExOne (АҚШ), EOS GmbH (Германия), SLM Solutions (Германия), Arcam AB (Швеция), Stratasys (АҚШ), Envisiontec (АҚШ-Германия (DLP)), Voxeljet (Германия).

Бүгінгі таңда Қазақстан үлесіне нарықтың шамамен 1%-ы тиесілі. Өкінішке орай, еліміз барлық негізгі бағыттар бойынша көшбасшылардан артта қалды – материалдар мен жабдықтар өндіруден бастап дайын өнімді енгізуге дейін [9].

Қазақстанда 2016 жылдың қорытындысы бойынша бетонмен 3D-басып шығару технологиясы [10]-да келтірілген зерттеулерді бағалауға сәйкес шағын сәулет нысандарын жасау (42%), нысандарды дайындау үшін мастер-модельдер жасау (29%), ғимараттар мен құрылыстар конструкцияларының күрделі элементтерін жасау (18%), шағын сәулет нысандарын жасау (42%) салаларында кеңінен қолданылды. Үлкен сәулет нысандары (5%), басқа (6%).



2-сурет. «Өңірлер бойынша 2025 жылға қарай аддитивті технологиялар нарығының құрылымын болжау. «Басқалар» сегментіне Үндістан, Латын Америкасы елдері, Ресей, Австралия, Швеция, Италия, Бельгия, Испания және Нидерланды кіреді» [9]

Аддитивті құрылыс өндірісіне арналған жабдықтар шығаратын компаниялардың ішінде Ресейдегі «Спецавия» ЖШҚ (портал принтерлерін шығарады), Ariscor компаниясы, Мәскеу (бұрыштық координаттарда жұмыс істейтін принтерлер). Дельта жетегі бар принтерлер және өнеркәсіптік манипуляторларға негізделген принтерлер сирек кездеседі. Жаппай шығарылатын 3D принтерлердің ең көп таралған түрі – портал принтерлері.

Аддитивті технологиялар нарығында аддитивті құрылыс өндірісіне арналған жабдықтар шығаратын отандық компаниялардың позицияларын нығайту қажеттілігі, сондай-ақ импортты алмастыру және импорт озу міндеттерін шешу ғылыми

зерттеулерді орындау үшін отандық жабдықты пайдалану қажеттілігін айқындайды. Осыған байланысты бұл жұмыста зерттеулер Ресейде жасалынған моделі – 3030 «АМТ Спецавия» 3D портал принтерінде орындалады. Принтерлердің осы түріне арналған шикізат қоспаларын таңдау әлемдік нарықта отандық жабдықтар мен оларды қолдана отырып жасалған бұйымдарды қолдауды және бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

Осылайша, құрылыс 3D басып шығарудың нормативтік құжаттамасын, процестері мен әдістерін, аддитивті өндіріс нарығының жай-күйін талдау 3D басып шығару технологиясы құрылыс индустриясындағы өте перспективалы бағыт екенін анықтауға мүмкіндік берді. Қазіргі уақытта алты ұлттық стандарт бекітілді және қолданысқа енгізілді, оның үшеуі бетон және ерітінді қоспаларымен қосымша құрылыс өндірісінде қолданылады. Айта кету керек, 3D басып шығаруға арналған бетон және ерітінді қоспаларының реологиялық және технологиялық қасиеттеріне қойылатын талаптар осы ұлттық стандарттармен реттелмейді. Сондықтан, шолудың келесі кезеңінде құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылатын және қолданылуы мүмкін шикізат қоспаларын зерттеу айтарлықтай қызығушылық тудырады.

Құрылыс 3D басып шығару процестері мен әдістерін, аддитивті өндіріс нарығының жай-күйін талдау бойынша 2025 жылға қарай аддитивті технологиялар нарығының құрылымын салыстырмалы түрде болжау.

№	Аймақтар	%
1	Франция	5
2	АҚШ	33
3	Ұлыбритания	5
4	Қытай	13
5	Жапония	9
6	Германия	11
7	Басқа	24

Соңғы жылдардағы аддитивті технологиялардың әлемдік нарығының тән тенденциялары бойынша:

- Соңғы өнімдер ретінде аддитивті технологияларды қолдана отырып жасалған бөлшектердің үлесін үнемі арттыру;
- 3D басып шығару технологияларының қарқынды дамуы, гетерогенді материалдарды қолдану есебінен өндіріс мерзімі мен құнын төмендету;
- Тұжырымдаманы әзірлеу кезеңінен прототиптік үлгіні жасауға дейінгі уақытты 70 пайызға немесе одан да көп қысқартуға мүмкіндік беретін жылдам қайта реттелетін өндірістерді құру үшін 3D басып шығаруды қолдану;
- Аддитивті өндіріс саласында қаржыландыру көлемінің өсуі.

## Нәтижелер мен талқылау

Әдеби деректерді талдау [11,12] пайдалану, рецептуралық және технологиялық факторларды ескере отырып, аддитивті технологиядағы бетон қоспаларына қойылатын негізгі талаптарды анықтады. Қоспаның қалыптау және қатаю сатысына мыналар жатады: реотехнологиялық қасиеттер (қалыптау немесе жұмысқа жарамдылық, құбырлар арқылы тасымалдау мүмкіндігі, пластикалық беріктік, тиксотроптылық), дисперсия, адгезиялық қасиеттер (қабаттардың тығыз орналасуы), қоспаның үзілмеуі, жарықтар болмауы, төмен шөгу, біркелкі қатаю (орнату), экструзиядан кейін жоғары орнату жылдамдығы. Дайын өнімдерге қажетті беріктікті, жоғары біркелкілік пен қасиеттердің тұрақтылығын, төмен тығыздық пен жылу өткізгіштікті, жоғары адгезия беріктігін, аязға төзімділікті қамтамасыз ету талаптары қойылады.

Құрылыста басып шығаруға арналған композициялардың қасиеттерін қалыптастыруда бетон қоспасының реологиялық сипаттамалары ерекше рөл атқарады, өйткені композициялық тұтқыр заттардың ұтымды таңдалған құрамы қалыптау құрылғыларының тиімді жұмысына әсер етуі мүмкін. Мұндай сипаттамаларға мыналар жатады: ағын басталатын ауысу жылдамдығының градиенті (аққыштық шегі), әртүрлі араластыру жылдамдығындағы тұтқырлық, жүйенің құрылымдылық дәрежесін және бұзылғаннан кейін оның қалпына келу жылдамдығын сипаттайтын гистерезис циклінің ауданы [13]. Сонымен, авторлардың зерттеулеріне сәйкес [13] автоклавты газдалған бетон өндірісінің қалдықтары бар композициялар мұндай жүйелердің төмен кірістілігіне байланысты құрылыс баспа технологиясында қолдануға ең аз дәрежеде жарамды, бұл мұндай қоспалардың құрылымға және берілген пішінді сақтауға бейімділігінің төмендеуінен көрінеді. Ең қолайлы қоспа ретінде авторлар құрамында кварцито құмтас негізіндегі ауыр бетон сынағы бар композициялық тұтқыр қоспаларды пайдалануды ұсынады. Басқа авторлардың еңбектерінде газдалған бетон мен көбік бетонды қолдану 3D басып шығаруға арналған жеңіл қабырға конструкцияларының талаптарына сәйкес келмейтін қалыптаудан кейін (химиялық реакцияның әсерінен) қоспаның көлемінің ұлғаюына байланысты қиын екендігі көрсетілген.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясында шикізат қоспасының құрамдас бөліктерін таңдау кезінде анықтайтын критерийлердің бірі бастапқы қатаю кезеңінде жаңадан құйылған бетон қоспасының беріктігінің жылдам жиынтығын қамтамасыз ету болып табылады. Бұл талаптарды портландцемент тез қатайтады ( $C3S+C3A=60\text{.....}65\%$ ) және әсіресе қатты ( $C3S=65\text{.....}68\%$ ,  $C3A\leq 8\%$ ). Сонымен қатар, портландцементтерді таңдағанда олардың қолжетімділігі мен өнеркәсіптік өндіріс көлемін ескеру қажет. 2020 жылдың қорытындысы бойынша елде өндірілген цементтің негізгі көлемі минералды қоспасыз портландцементтердің үлесіне келді – 34 511 мың тонна (цементтің Бүкілресейлік өндірісінің 61,6%), қоспалары бар портландцементтерге – 18 911 мың тонна (елдегі цемент өндірісінің жалпы көлемінің 33,8%) [14]. Экологияның заманауи талаптарын ескере отырып, қоспасыз портландцементтерден, сондай-ақ белсенді минералдары бар портландцементтерден басқа, саланың ілеспе өнімдерін қамтитын портландцементтерді де қолданған жөн.



Айта кету керек, жоғары шөгу деформациялары қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан өнімдердің сапасына теріс әсер етеді. Қабаттық экструзия әдісімен қалыптасқан бетонның жоғары шөгу деформациялары мәселесін шешу үшін авторлар жұмыста [15] 3D басып шығаруға арналған құрғақ құрылыс қоспасының құрамын ұсынды, мұнда гипсоглиноземді кеңейтетін тұтқыр ұсақ толтырғышпен және қоспалар кешенімен бірге тұтқыр ретінде қолданылады. Алайда, алюминий цемент, бетон қоспасының құрамындағы тұтқыр ерітіндінің балама шешімі бола отырып, дәстүрлі портландцементпен салыстырғанда қымбатырақ.

Конструкциялық жеңіл бетондардың, соның ішінде құрылыс 3D-басып шығаруға арналған құрамдарды әзірлеу жөніндегі зерттеулер Ұлттық Зерттеу Мәскеу Мемлекеттік Құрылыс Университеті ФМБМ-де жүзеге асырылуда [16]. Жоғары беріктігі бар жеңіл фибробетонның әзірленген құрамдарының орташа тығыздығы 1400 кг/м<sup>3</sup> құрайды; қоспаның қозғалғыштығы (бұлыңғырлық диаметрі бойынша) 170...250 мм құрайды; иілу кезіндегі беріктік шегі 6,5 Мпа-ды; қысу кезіндегі беріктік шегі 72,1 Мпа-ды; меншікті беріктігі 51,4 Мпа-ды; жалпы кеуектілігі - 33,4% -ға дейін; серпімділік модулі - 12,9 ГПа; Пуассон коэффициенті - 0,276; аязға төзімділік маркасы - F300 басталады.

Бетондардың пішінсіз қалыптау технологиясындағы технологиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері көрсетілген [17]. Г.М. Хренов бетон қоспаларының пластикалық қасиеттерін эксперименттік бағалау әдісін әзірледі; үздіксіз пішінсіз қалыптау кезінде бетон қоспаларының пластикалық қасиеттеріне әртүрлі факторлардың әсер ету дәрежесі мен сипатын белгілейтін математикалық модель; пластификациялаушы қоспаны және дисперсті күшейтетін талшықтарды енгізу арқылы бетон қоспасының икемділігін реттеу әдістері; бетон қоспасының шекті созылуын анықтау бойынша ұсыныстар. Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы тұжырымдалған [17] құрылыс өнімдерінің сапасын жақсарту тұрғысынан, оның ішінде қабатты экструзия (3D басып шығару) әдісі өте маңызды.

3D принтер қоспаларындағы цемент байланыстырғышқа балама ретінде минералды қоспалармен біріктірілген гипс байланыстырғыш қолданылады: гидротермиялық ерітінділерге негізделген безді кварциттердің және нанодисперсті кремнеземнің дымқыл магниттік сепарациясының қалдықтары. Құрылыс 3D басып шығаруда гипс байланыстырғышты қолданудың артықшылығы ретінде бастапқы құрылымның жоғары жылдамдығын атап өткен жөн, кемшіліктер ретінде қоспаның төмен өміршеңдігін, гипс байланыстырғышқа негізделген өнімдердің төмен суға төзімділігін атап өткен жөн, олардың шешімі жұмыста сипатталған әртүрлі тәсілдермен қамтамасыз етілуі мүмкін.

Профессор В.И. Калашников құрылыс 3D басып шығаруға қолданылатын гранулометриялық құрамы бойынша талаптарды барынша қанағаттандыратын жаңа буынның ұнтақты және жұқа түйіршікті бетондарын жасады.

Жұмыста орындалған құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын отандық және шетелдік ұйымдарды, олардың шикізат қоспаларының құрамына және олардың қасиеттеріне ұсыныстарын анықтауға мүмкіндік берді: Ұлыбританияда Лофборо университеті, Ресейде ArisCor компаниясы,

Қытайда WinSun компаниясы, АҚШ-та Contour Crafting корпорациясы, Ресейде Спецавия ЖШҚ, StroyBot компаниясы (Rudenko 3D принтер), Словенияда BetAbram компаниясы, АҚШ-тағы MIT Media Lab, Голландияда CyBe Construction, DUS Architects компаниялары, Францияда Vatiprint3D компаниясы.

Қытайдағы «WinSun» компаниясы 3D-принтерге арналған «сия» ретінде ғимараттарды бұзудан қалған қалдықтар, шыны талшық және арнайы патенттелген қоспадан тұратын цемент-құм негізіндегі шикізат қоспасын пайдалануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 30...60 мм, орташа тығыздығы-2000...2200 кг / м<sup>3</sup>, иілу беріктігі – 8,2 МПа, қысу кезінде – 34,5 Мпа құрайды.

Ресейдегі ЖШҚ «Спецавия» компаниясы құрылыс 3D басып шығару үшін каолин қоспасын қосып, М300 маркалы құмбетон негізінде талшықтары бар жоғары беріктігі бар цемент қоспасын қолдануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 20...50 мм, орташа тығыздығы – 2200...2350 кг/м<sup>3</sup>, қысу беріктігі – 30 МПа.

Stroybot (Rudenko 3D принтер) компаниясы пайдаланатын шикізат қоспасы жанартау күлінің қоспалары бар геополимерлі бетон болып табылады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 30 мм, қалыңдығы– 10 мм, орташа тығыздығы – 2100...2250 кг/м<sup>3</sup>.

Словениядағы Betabram компаниясы 3D басып шығару үшін құм (4 мм-ге дейін) және қиыршық тас (4...8мм) толтырғыштары бар торкретбетон негізіндегі қоспаны пайдаланады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 40 мм, қалыңдығы– 10...20 мм, орташа тығыздығы – 2300... 2350 кг/м<sup>3</sup>.

АҚШ-тағы Contour Crafting корпорациясы қабатты экструзия әдісімен ғимараттарды тұрғызу кезінде сульфатқа төзімді цемент пен бөлшектердің мөлшері 2,5 мм-ден аспайтын, құрамында 6 мм талшық ұзындығы бар полипропилен талшығы бар құм негізіндегі ерітінділерді қолданады. функционалды қоспалар ретінде поликарбонат негізіндегі пластификатор, баспа қабатының тұтастығын қамтамасыз ету үшін тұтқырлықты реттегіш қолданылады. Сонымен қатар, композиттің беріктігі мен суға төзімділігін арттыру мақсатында тығыздалған кремний диоксиді енгізіледі [57-60]. Орташа тығыздығы – 2250 кг / м<sup>3</sup>, басып шығару кезінде қабаттың ені – 25...50 мм, қалыңдығы – 30...40 мм. Сығымдау беріктігі 45...50 МПа құрайды.

Ресейдегі ApisCor компаниясының әзірлеушілері 3D басып шығару үшін шикізат қоспасы ретінде қысу беріктігі В20, аязға төзімділігі F200, су өткізбейтін маркасы W6 бойынша ұсақ түйіршікті талшықты бетонды қолдануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені-40...50 мм, қалыңдығы – 30 мм, орташа тығыздығы-2050 кг / м<sup>3</sup>, қысу беріктігі – 27,4 Мпа-ды құрайды.

Ұлыбританияда Лофборо университетінің ғалымдары орташа тығыздығы 2250...2350 кг/м<sup>3</sup> болатын 3D басып шығаруға арналған шикізат қоспасын жасады. Басып шығару кезінде қабаттың ені мен қалыңдығы – 25 мм.иілу кезіндегі беріктік – 12-13 МПа, қысу кезінде – 100-110 МПа. Сонымен қатар, оңтайлы шикізат қоспасында құм мен байланыстырғыштың 3:2 қатынасы бар, соңғысында 70%-ы цемент, 20%-ы күлді алып кету және 10%-ы микрокремнезем, сондай-ақ ұзындығы 12/0,18 мм және 1,2 кг/м<sup>3</sup> полипропилен талшықтары бар. қоспаның 1 және 0,5 дозалары бар суперпластификатормен және модератормен бірге 0,26 су-цемент қатынасы бар

байланыстырғыш массасының %. Бұл шикізат қоспасы қалыңдығы алпыс бір қабаттан аспайтын бұйымдарды жасау кезінде диаметрі 9 мм саптама арқылы басып шығаруға арналған.

Голландиядағы Cybe Construction компаниясы 3D басып шығару технологиясы бойынша ғимараттарды салу кезінде орташа тығыздығы 2200 кг/м<sup>3</sup> толтырғышпен (3 мм-ге дейін) бетон қоспаларын пайдаланады. Қоспаны орнату кезеңі 3-5 минутты құрайды, шайқау үстеліндегі қоспаның қозғалғыштығы 160 мм құрайды. алғашқы бес сағатта қатайтылған қабаттың беріктігі 4 және 15 МПа – ға жетеді, ал 28 күн қатқаннан кейін иілу кезінде және қысу кезінде 6 және 45 МПа болады.

Құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын әртүрлі ұйымдардың құрылыс 3D басып шығаруында қолданылатын құрамдар бойынша зерттеулердің орындалған талдауы 3D принтерлердің әртүрлі түрлерінің экструдталған шикізат қоспасының қабатының ені 20...60 мм диапазонында, қалыңдығы – 10...40 мм, орташа тығыздығы – 2000...2350 кг/м<sup>3</sup>, иілу беріктігі – 6...13 МПа, қысу беріктігі-27,4...110 МПа. Айта кету керек, аталған компаниялар мәлімдеген құрылыс қоспалары мен олардың негізінде қатайтылған композициялардың қасиеттерінің көрсеткіштері көбінесе жарнамалық және ақпараттық сипатта болады және әрдайым ғылыми зерттеулердің немесе сертификатталған сынақтардың нәтижесі бола бермейді, бұл ғылыми зерттеулерді жоспарлау кезінде көрсетілген деректерді негізді пайдалануға мүмкіндік бермейді. 3D құрылыс принтерінде зертханалық жағдайда ұсынылған кейбір құрамдардың орындалған сынақтары осы болжамды растайды.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығаруға арналған құрамдарды әзірлеу саласындағы ғылыми жұмыстарды қорытындылай келе, г. С. Славчева, О.В. Артамонова (ВМТУ) [19,20], онда қазіргі уақытта құрылыс 3D басып шығаруға арналған қоспалардың тиімді құрамдарының номенклатурасын жобалау саласындағы зерттеулердің өзекті міндеттері тұжырымдалған, олардың арасында зерттеу қажеттілігі атап өтілген: реологиялық мінез-құлық модельдерін; орнату және қатаю процестерін; реологиялық сипаттамаларға қойылатын талаптарды негіздеу және реологиялық мінез-құлық модельдерін оңтайландыру; құрылыс нысандарының басып шығару жылдамдығына сәйкес құрылымдау және қатаю процестерінің кинетикасына қойылатын талаптардың негіздемесі.

Осылайша, 3D басып шығару технологиясында қолданылатын шикізат қоспаларына жүргізілген талдау әр түрлі зерттеушілер ұсынған композиция компоненттерінің (әсіресе модификациялаушы қоспалардың) құрылыс 3D басып шығару технологиясындағы бетон қоспаларының реотехнологиялық сипаттамаларына әсерін жеткіліксіз зерттегенін көрсетеді. Осыған байланысты келесі кезеңде құрылыс 3D басып шығару технологиясында модификациялық қоспаларды (минералды және химиялық) қолдануды қарастырған жөн.

Құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын отандық және шетелдік ұйымдарды, олардың шикізат қоспаларының құрамы мен қасиеттерін салыстыру бойынша:

№	Компания атаулары	Шикізат қоспасы	Қабаттың ені, мм	Орташа тығыздығы, кг/м <sup>3</sup>	Беріктігі, МПа
1	Қытай «WinSun»	Цемент-құм	30-60	2000-2200	8,2
2	Ресей «Спецавия»	Каолин	20-50	2200-2350	30
3	АҚШ «Contour Crafting»	М300- құмбетон	25-50	2250	45-50
4	Ресей «ApisCor»	сульфатқа төзімді цемент пен бөлшектер	40-50	2050	27,4
5	Голландиядағы «Cybe Construction»	ұсақ түйіршікті талшықты бетон	20-30	2200	45
5	Голландиядағы «Cybe Construction»	бетон қоспалары	20-30	2200	45

Аталған компаниялар мәлімдеген құрылыс қоспалары мен олардың негізінде қатайтылған композициялардың қасиеттерінің көрсеткіштері көбінесе жарнамалық және ақпараттық сипатта болады және әрдайым ғылыми зерттеулердің немесе сертификатталған сынақтардың нәтижесі бола бермейді, бұл ғылыми зерттеулерді жоспарлау кезінде көрсетілген деректерді негізді пайдалануға мүмкіндік бермейді. 3D құрылыс принтерінде зертханалық жағдайда ұсынылған кейбір құрамдардың орындалған сынақтары осы болжамды растайды.

## Қорытынды

1. Нормативтік құжаттаманы және әдеби дереккөздерді талдау құрылыстағы аддитивті технологиялық процестердің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңін көрсетеді, жеткілікті нормативтік құжаттаманың, нұсқаулар мен нұсқаулардың болмауымен байланысты проблемалардың болуын көрсетеді, құрылыс 3D басып шығаруға арналған шикізат қоспаларының құрамын іріктеуді, тағайындауды және өндіріске беруді реттейді.

2. Құрылыс 3D басып шығару үшін негізінен қоспасыз портландцемент негізіндегі және минералды қоспалары бар ұсақ түйіршікті бетондар қолданылатыны анықталды. Экологияның заманауи талаптарын ескере отырып, базалық ретінде қабылданатын қоспасыз портландцементтерден, сондай-ақ Ресейде ең көп өндірілетін белсенді минералды қоспалары бар портландцементтерден басқа, ілеспе өнеркәсіп өнімдерін қамтитын портландцементтерді де қолданған жөн.

3. Әдеби шолу мен талдау негізінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін құрылыс 3D басып шығару технологиясында оңтайлы реотехнологиялық қасиеттерді қамтамасыз ету қажет екендігі анықталды. Бұл жағдайда цемент-құмды ерітінді қоспасының құрылымының формаға төзімділігіне, пластикалық беріктігіне, адгезиясына, ақауына

оның реологиялық және технологиялық сипаттамаларына тәуелділігі жоқ, оларды ұсақ түйіршікті бетонның негізгі құрамын жасау кезінде ескерген жөн.

4. Қоспа құрылыс өндірісінің тиімділігін арттыруға қоспалардың құрамын белсенді минералды, пластификациялаушы, гидрофобизирлеуші және қоспалардың кейбір басқа түрлерімен өзгерту ықпал етеді. Алайда, олардың басылған қабаттардың пішінге төзімділігіне әсері, олардың пластикалық беріктігін теру жылдамдығы, сондай-ақ қатайтылған Композиттердің физика-механикалық сипаттамаларына бірлескен модификаторлардың әсері жеткілікті зерттелмеген.

5. Зерттеу нәтижелерін жалпылау 3D басып шығару әдісімен бетондардың қабатты экструзиясы композиттердің кеуектілігінің жоғарылауына ықпал етеді, әсіресе басылған қабаттардың шекарасында, қалыпталған композиттердің физика-механикалық сипаттамаларына әсер етеді. Осыған байланысты 3D принтерде басып шығарылған модификацияланған композиттердің құрылымының макро-және микроқұрылымын қалыптастыру ерекшеліктерін егжей-тегжейлі зерттеу қажет.

6. Біздің елімізде 3D басып шығарылатын ең көп таралған өнімдер шағын архитектуралық пішіндер болып табылады. Сонымен қатар, қосымша құрылыс өндірісінің технологиялары мен ұйымдары, сондай-ақ 3D басып шығару арқылы өнімді салу кезінде сапаны бақылау жүйесіне аз көңіл бөлінеді, бұл сала аз зерттелген күйінде қалып отыр.

#### **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:**

**Аруова Л.Б., Алдабергенова Г.Б.** – тұжырымдаманы құру, зерттеу жүргізу. әдебиетпен жұмыс, зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу.

**Кадыров А., Уркинбаева Ж., Сейтказинов О.Д.** – зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу және қолжазба мәтінімен жұмыс.

#### **Әдебиеттер тізімі**

1. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2017. - 16 с.

2. ГОСТ Р 57590-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 3. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2017. - 16 с.

3. ГОСТ Р 59095-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2020. - 20 с.

4. ГОСТ Р 59096-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2020. - 12 с.

5. ГОСТ Р 59097-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2020. - 11 с.
6. ГОСТ Р 57589-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2017. - 12 с.
7. Спецавия. Russian 3D-technologies: [Электронный ресурс]. URL: <https://specavia.pro/foto/3d-pachat/>. (Дата обращения: 05.12.2018).
8. Вахитов М. И. Аддитивные технологии возведения зданий и сооружений с помощью строительного 3D-принтера: 08.04.01 / Вахитов Марат Ильмирович. – Казань, 2018. - 112 с.
9. Волостнов А. Frost & Sullivan: технологии аддитивного производства – рынок, тенденции и перспективы до 2025 года: [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/frost-sullivan-additive-manufacturing-technologies-market-trends-and-p/>. (Дата обращения: 30.03.2019).
10. Оспищев П.И. Отраслевые особенности и динамика развития рынка инновационных технологий в строительном секторе / П.И. Оспищев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2018. - № 10. - С. 157-167.
11. Chen, Y. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture / Y. Chen, S. Chaves Figueiredo, Z. Li, Z. Chang, K. Jansen, O. Çopuroğlu, E. Schlangen // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd. - 2020. - Vol. 132. - P. 106040.
12. Xu, J. Inspecting manufacturing precision of 3D printed concrete parts based on geometric dimensioning and tolerancing / J. Xu, R.A. Buswell, P. Kinnell, I. Biro, J. Hodgson, N. Konstantinidis, L. Ding // Autom. Constr. Elsevier. - 2020. - Vol. 117. 103233.
13. Когут Е.В. К вопросу формирования свойств композиций для строительной печати / М.Ю. Когут, Е.В. Абсиметов, М.В. Стариков, М.С., Лесниченко, Е.Н, Елистраткин // Сборник материалов международной научно- технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2017. - С. 1615-1621.
14. ГС-Эксперт: Рынок цемента итоги 2020 года: [Электронный ресурс]. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html>. (Дата обращения: 14.04.2021).
15. Удодов С.А. Уточнение состава сухой строительной смеси для 3D- печати методом математического моделирования / А.Е. Удодов, С.А., Белов, Ф.А., Золотухина // Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Наука и просвещение». - 2017. - С. 132–138.
16. Зыонг Т.К. Высокопрочные легкие фибробетоны конструкционного назначения: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Зыонг Тхань Куй. – М., 2020. – 201 с.
17. Хренов Г.М. Проектирование бетонных смесей в технологии непрерывного безопалубочного формования: дисс.канд. техн. наук: 05.23.05 / Хренов Георгий Михайлович. СПб., 2021. - 195 с.
18. Иноземцев А.С. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев, Зыонг Т.К. // Вестник МГСУ. - 2018. - № 7(118). - С. 863–876.
19. Славчева Г.С. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3D-печати: проблема управления на основе возможностей арсенала «Нано» / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова // Нанотехнологии в строительстве научный интернет-журнал. - 2018. - № 3(10). - С. 107–122.

20. Slavcheva, G. S. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation / O. V. Slavcheva, G. S., Artamonova // Инженерно-строительный журнал. - 2018. № 8(84). - С. 97–108.

**Л.Аруова\*<sup>1</sup>, Г.Алдабергенова<sup>2</sup>, А.Кадыров<sup>1</sup>, Ж.Уркинбаева<sup>1</sup>, О.Сейтказинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

<sup>2</sup>*Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан*

### **Особенности технологии формования бетонов на отходах методом 3D печати**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается обзор мировой практики в области применения аддитивных технологий и особенностей технологии формования бетона на основе отходов с помощью 3D-печати в строительной отрасли. Начальный этап формирования и развития аддитивных технологических процессов в строительстве технология 3D-печати строительства методом многослойной экструзии является одной из технологий формования бетона и анализируется нормативная документация и литературные источники для определения места исследуемой технологии в аддитивных технологических процессах. На основе литературного обзора и анализа определяется необходимость обеспечения оптимальных реотехнологических свойств в технологии строительной 3D-печати для достижения максимальной эффективности. В статье сформулированы основные технические требования к бетонной смеси по работоспособности и времени установки, а также особенности выбора бетонного состава. Предусмотрена принципиальная возможность получения мелкозернистых бетонов с заданными характеристиками на основе портландцемента. Излагаются результаты исследования с использованием методологии математического планирования и аналитической оптимизации результатов, целью которого является создание научных предпосылок для продвижения 3D-строительства на основе бетона и представлены результаты исследования реологических и физико-механических свойств модифицированного бетона с добавлением специального щелочестойкого стекловолокна для трехмерной строительной печати. В данном случае показаны реологические и технологические характеристики структуры цементно-песчаной растворной смеси на ее формоустойчивость, пластическую прочность, адгезию, дефект. В связи с этим на первом этапе анализируется нормативная документация, а также процессы и методы строительной 3D-печати, состояние рынка аддитивного производства. На втором этапе изучается состав сырьевых смесей, используемых в технологии строительной 3D-печати.

**Ключевые слова:** 3D-печать, метод многослойной экструзии, мелкозернистая бетонная смесь, аддитивное строительное производство, сырьевая смесь.

**Aruova Lyazat\*<sup>1</sup>, Aldabergenova Gaziza<sup>2</sup>, Kadyrov Abzal<sup>1</sup>, Urkinbayeva Zh.<sup>1</sup>, Seitzkazinov Orazaly<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan*

### **Features of the technology for molding concrete based on waste using 3D printing**

**Abstract.** This article provides an overview of world practice in the field of additive technologies and features of waste-based concrete molding technology using 3D printing in the construction industry. The initial stage of the formation and development of additive manufacturing processes in construction 3D printing technology of construction by multilayer extrusion is one of the technologies of concrete molding and regulatory documentation and literature sources are analyzed to determine the place of the technology under study in additive manufacturing processes. Based on the literature review and analysis, the need to ensure optimal rheotechnological properties in the construction 3D printing technology in order to achieve maximum efficiency is determined. The article formulates the main technical requirements for the concrete mix in terms of performance and installation time, as well as the features of the choice of concrete composition. It is possible in principle to obtain fine-grained concretes with specified characteristics based on Portland cement. The results of a study using the methodology of mathematical planning and analytical optimization of the results are presented, the purpose of which is to create scientific prerequisites for the promotion of 3D concrete-based construction and the results of a study of the rheological and physico-mechanical properties of modified concrete with the addition of special alkali-resistant fiberglass for three-dimensional construction printing. In this case, the rheological and technological characteristics of the structure of a cement-sand mortar mixture are shown for its shape stability, plastic strength, adhesion, and defect. In this regard, the first stage analyzes the regulatory documentation, as well as the processes and methods of construction 3D printing, the state of the additive manufacturing market. At the second stage, the composition of raw materials mixtures used in construction 3D printing technology is studied.

**Keywords:** 3D printing, multilayer extrusion method, fine-grained concrete mix, additive construction production, raw material mix.

### **References**

1. GOST R 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 Additive manufacturing processes. Basic principles. Part 1. Terms and definitions. - M.: Standartinform, 2017. - 16 p.
2. GOST R 57590-2017 Additive manufacturing processes. Basic principles - part 3. General requirements. - M.: Standartinform, 2017. - 16 p.
3. GOST R 59095-2020 Materials for additive construction production. Terms and definitions. - M.: Standartinform, 2020. - 20 p.
4. GOST R 59096-2020 Materials for additive construction production. Test methods. - M.: Standartinform, 2020. - 12 p.
5. GOST R 59097-2020 Materials for additive construction production. Technical requirements. - M.: Standartinform, 2020. - 11 p.
6. GOST R 57589-2017 Additive manufacturing processes. Basic principles - part 2. Materials for additive technological processes. General requirements. - M.: Standartinform, 2017. - 12 p.



7. Specavia. Russian 3D-technologies: [Electronic resource]. URL: <https://specavia.pro/foto/3d-pechat/>. (Accessed: 05.12.2018).
8. Vakhit I.M. Additive technologies for the construction of buildings and structures using a construction 3D printer: 08.04.01 / Vakhit Marat Ilmirovich. - Kazan, 2018. - 112 p.
9. Volostnov, A. Frost & Sullivan: additive manufacturing technologies - market, trends and prospects until 2025: [Electronic resource]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/frost-sullivan-additive-manufacturing-technologies-market-trends-and-p/>. (Accessed: 30.03.2019).
10. Ospishchev, P.I. Industry features and dynamics of development of the market of innovative technologies in the construction sector / P.I. Ospishchev // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2018. - No. 10. - P. 157-167.
11. Chen, Y. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture / Y. Chen, S. Chaves Figueiredo, Z. Li, Z. Chang, K. Jansen, O. Çopuroğlu, E. Schlangen // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd. - 2020. - Vol. 132. - P. 106040.
12. Xu, J. Inspecting manufacturing precision of 3D printed concrete parts based on geometric dimensioning and tolerancing / J. Xu, R.A. Buswell, P. Kinnell, I. Biro, J. Hodgson, N. Konstantinidis, L. Ding // Autom. Constr. Elsevier. - 2020. - Vol. 117. 103233.
13. Kogut, E.V. On the issue of forming the properties of compositions for construction printing / M.Yu. Kogut, E.V., Absimetov, M.V., Starikov, M.S., Lesnichenko, E.N., Elistratkin // Collection of materials of the International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2017. - P. 1615-1621.
14. GS-Expert: Cement market results of 2020: [Electronic resource]. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html>. (Accessed: 14.04.2021).
15. Udovov, S.A. Clarification of the composition of dry building mixture for 3D printing using mathematical modeling / A.E. Udovov, S.A., Belov, F.A., Zolotukhina // Collection of materials of the V International scientific and practical conference "Science and Education". - 2017. - P. 132-138.
16. Zyong, T.K. High-strength lightweight fiber-reinforced concrete for structural purposes: dis. candidate of technical sciences: 05.23.05 / Zyong Thanh Quy. - M., 2020. - 201 p.
17. Khrenov, G.M. Design of concrete mixtures in the technology of continuous formwork-free molding: diss. candidate of technical sciences: 05.23.05 / Khrenov Georgy Mikhailovich. St. Petersburg, 2021. - 195 p.
18. Inozemtsev, A.S. Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction / A.S. Inozemtsev, E.V. Korolev, Zyong T.K. // Bulletin of MGSU. - 2018. - No. 7 (118). - P. 863-876.
19. Slavcheva, G.S. Rheological behavior of dispersed systems for construction 3D printing: a control problem based on the capabilities of the arsenal "Nano" / G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova // Nanotechnology in Construction scientific online journal. - 2018. - No. 3(10). - P. 107-122.
20. Slavcheva, G. S. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation / O. V. Slavcheva, G. S., Artamonova // Engineering and Construction Journal. - 2018. No. 8(84). - P. 97-108.

#### **Авторлар туралы мәлімет:**

**Л.Б. Аруова** – т.ғ.д., профессор, «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедра меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университет, Астана қ, Қазақстан, +7 771 839 88 88, [ecoeducation@mail.ru](mailto:ecoeducation@mail.ru).

**Г.Б. Алдабергенова** – т.ғ.м., профессордың ассистенті, ЖҚФ декан орынбасары, ХБК (ҚазБСҚА), Алматы қ, +7 747 556 09 40, gaziza\_ab@mail.ru.

**Кадыров А.** – Л.Н.Гумилев атындағы Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университетінің докторанты

**Ж.И. Уркинбаева** – Л.Н.Гумилев атындағы Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университет, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Астана қ, Қазақстан

**О.Д. Сейтказинов** – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Өндірістік және азаматтық құрылыс» кафедра меңгерушісі, ХБК(ҚазБСҚА), Алматы қ.

**Л.Б. Аруова** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет им. Гумилева, г. Астана, Казахстан, +7 771 839 88 88, ecoeducation@mail.ru.

**Г.Б. Алдабергенова** – м.т.н., ассистент профессора, заместитель декана факультета общего строительства, МОК(КазГАСА), г. Алматы, +7 747 556 09 40, gaziza\_ab@mail.ru.

А.Кадыров– докторант Евразийский национальный университет им. Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205.

**Ж.И. Уркинбаева** – старший преподаватель кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет им. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

**О.Д. Сейтказинов** – к.т.н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Промышленно-гражданское строительства», МОК(КазГАСА), г. Алматы.

**L.B. Aruova** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Technology of Industrial and Civil Engineering», L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, +7 771 839 88 88, ecoeducation@mail.ru.

**G.B. Aldabergenova** – Master of Technical Sciences, Assistant Professor, Deputy Dean of the Faculty of General Construction, IEC (KazGASA), Almaty, +7 747 556 09 40 , gaziza\_ab@mail.ru.

**Kadyrov A.** – doctoral student of L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Zh.I. Urkinbaeva** – Senior Lecturer of the Department of “Technology of Industrial and Civil Construction”, L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

**O.D. Seitzkazinov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Of Industrial and Civil Engineering», IEC (KazGASA), Almaty



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/>).