

М. Сағынтай¹, А. Мустафа¹, Е. Нұғман¹

¹Сәтбаев университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com

3D баспаланған бетонды арматуралауға арналған автоматты арматуралаушы механизм

Аннотация. Құрылыстағы аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі – 3D баспаланған бетонды арматуралау болып тұр. Осы уақытқа дейінгі зерттеу жұмыстары 3D баспаланған бетонды арматуралауда тек стандартты бұдырлы болат арматураны қолданғанда ғана оның механикалық қасиеттері дәстүрлі темірбетонның қасиеттеріне жақындайтынын дәлелдеді. Ендігі шешімін табу керек мәселе – 3D баспаланған бетонды стандартты бұдырлы болат арматурамен арматуралау үрдісін автоматтандыру. Осы мәселені шешу мақсатында бұл жұмыста түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, автоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор құратын автоматты арматуралаушы механизмнің тұжырымдамасы жасалынып, сол тұжырымдамаға сай оның прототипі жасалынды және жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін зертханалық сынақтар жүргізілді. Атап айтқанда, түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып автоматты режимде жасалатын арматуралаушы тордың механикалық қасиеттері DIN 488-4 стандартының талаптарына сәйкестігін анықтау үшін және прототиптің түйіспелі дәнекерлеу жүйесін тексеру мақсатында крест тәріздес үлгілер жасалынып, динамомашинида ығыстыру әдісімен үзіп тексерілді. Сонымен қатар, автоматты арматуралаушы механизмнің прототипінің барлық жүйелерінің жұмыс қабілеттілігі тексерілді. Сөйтіп ұсынылған концепцияның жұмыс қабілеттілігі дәлелденді.

Кілт сөздер: 3D баспаланған бетон, Құрылыстағы аддитивті технология, стандартты болат арматура, бетонды арматуралау, автоматты арматуралаушы механизм.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-236-249

1. Кіріспе

3D басып шығару ретінде белгілі болған Аддитивті өндіріс әртүрлі салалардағы жаңа өндіріс әдісі болып табылады [1,2]. Аддитивті өндірістің жаңа технологиясы ретінде экструзияға негізделген бетонды 3D баспалау технологиясы алдын ала белгіленген цифрлық жол бойынша 3D нысандарын автоматты түрде қабаттап құяды, бұл құрылыс тиімділігін айтарлықтай жақсартады және еңбек шығындарын азайтады [3]. Сонымен қатар, бетонды 3D баспалау технологиясы құрылыс жылдамдығын жеделдете алады, жұмыс күші мен шикізатты үнемдейді, яғни құрылыс шығындарын азайтады және бетонды қалыпсыз қабаттап құю арқылы архитектуралық және жобалау еркіндігін қамтамасыз етеді [4].

Бүгінгі күнге дейін бетонды 3D басып шығару процесінің көптеген мәселелері зерттеліп шешім тапты. Атап айтқанда: бетонды 3D басып шығарудағы қабат аралық байланыстар [5-7], реологиясы [8,9], айдалуы және эктрудталуы [10,11], экономикалық және экологиялық бағалау [12] сияқты көптеген мәселелер зерттелді және шешілді.

3D баспаланған бетонды арматуралау мәселесі әлі өзектігін жоғалтпаған мәселелердің бірі болып тұр. Себебі, дәстүрлі бетон конструкцияларында жүзеге асырылатын

арматуралау тұжырымдамалары мен қағидалары (бетонның созылу шектеулерін жеңуге арналған) әдетте бетонды 3D басып шығаруға қолдануға келмейді [13]. Дәстүрлі бетонды құюда бірінші арматуралық тор жасалып, оның сыртына қалып құрылып, сол қалыптың ішіне бетон құйылады және бетон қалып пен арматуралық тордың барлық қуыстарын толтыру үшін дірілдеткіштер қолданылады. Ал, бетонды 3D басып шығарудың негізгі қағидасы қалыптан бас тарту, демек қалыпсыз бетон ағып кетпей пішінін сақтап қалу үшін ол жеткілікті дәрежеде қою болу керек. 3D баспаланған бетонның тағы бір тұжырымдамалық ерекшелігі – ол оның қабаттап құйылатыны, яғни дәстүрлі әдіспен алдын ала арматуралық тор жасалып қойса, онда құрылыс 3D принтерінің жылжымалы бөліктері мен бетон құятын шүмек арматуралық торға соғысып қалады.

Қазіргі уақытта бетонды 3D басып шығарудағы ең үлкен технологиялық кедергі 3D баспа барысында тиімді арматуралау әдісі болып табылады [14]. Болашақта құрылыстың негізгі әдістерінің бірі болу үшін 3D баспа барысында арматуралау үрдісін автоматтандыру қажет. Осы мақсатта арматуралау үрдісі үздіксіз болуы үшін 3D баспа барысында бетон қабаттың ортасына болат сымды және шынжырды [15], микрокабельді [16, 17], тросты [18], тікенек сымды [19], металл талшықтар, қысқа шыбықтар мен қапсырмалар [20- 23], металл тор [24], және көміртекті талшықтарды эпозитті желіммен желімдеп, арқан жасап [25], арматура ретінде салып отыру әдістері зерттелді. Бұл әдістер арматуралау үрдісін автоматтандыруға мүмкіндік бергенімен, аталған әдістердің ортақ кемшіліктері бетонға стандартты бүдірлі болат арматурадай беріктік бере алмайды.

Стандартты бүдірлі болат арматура 3D басып шығарылған бетонды арматуралау үшін пайдалану оның механикалық қасиеттерін дәстүрлі әдіспен жасалған темірбетонның механикалық қасиеттеріне жақындайтыны зерттеу жұмыстарда [26-28] дәлелденді. Бірақ, бүгінге дейін 3D баспаланған бетонды стандартты бүдірлі болат арматурамен арматуралау бойынша зерттеу жұмыстарында арматуралау үрдісі қолмен жүргізіледі, айырмашылықтары арматура 3D баспа барысына дейін [29], 3D баспа барысында [30,31] және басып шығарудан кейін [32, 33] салынған.

3D баспаланған бетонның механикалық қасиеттерін дәстүрлі әдіспен жасалған темірбетонмен бірдей болуын қамтамасыз ету және арматуралау үрдісін автоматтандыру үшін бұл мақалада жаңа 3D баспаланған бетонды арматуралаудың жаңа тұжырымдамасы ұсынылады. Жаңа тұжырымдама бойынша түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, көлденең және тік арматуралардан аутоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор жасалады, оны арнайы жобаланып жасалатын аутоматты арматуралаушы механизм жүзеге асырады. Аутоматты арматуралаушы механизм бетонды қабаттап құятын арнайы шүмектің алдында жүріп, әр қабатта немесе бірнеше қабатты өткізіп көлденең арматура салып, оны тік арматураға түйіспелі дәнекерлеу арқылы біріктіріп, арматуралаушы тор жасап отырады. Арматуралаушы тор 3D баспа барысында жасалатындықтан оның құрылыс 3d принтерінің жылжымалы бөліктері мен шүмекке соғысып қалу қауіпі болмайды.

2. Материалдар мен әдістер

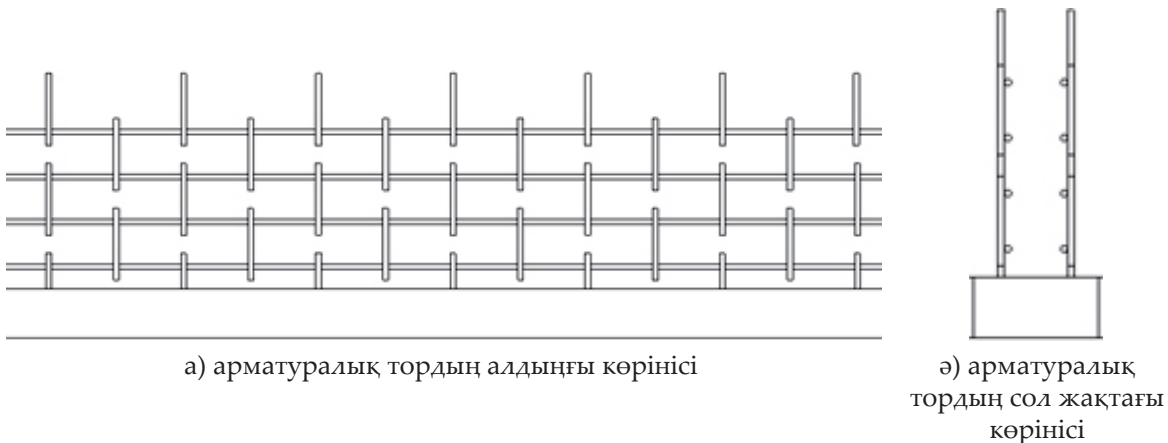
2.1 Арматура

Арматура ретінде диаметрі 6 мм болатын DIN 488-1:2009-08 стандартына сәйкес жасалған бүдірлі болат арматураны таңдалды. Диаметрі 6 мм-лік арматура DIN 488-1:2009-08 стандартындағы 3-кестесіндегі темірбетон үшін қолданылатын арматураның ең кіші диаметрі. Бүдірлі болат арматураның таңдалу себебі оның бетонмен адгезиясы жақсы, яғни бетон мен болат арматура арасында жүктеме жақсы таралады. Диаметрі 6 мм-лік арматура бастапқы кезеңде ұсынылған тұжырымдаманың жұмыс қаблеттілігін тексеру үшін оңтайлы, өйткені ол нақты құрылыста қолданылады және контактілі нүктелік дәнекерлеу кезінде тым көп энергияны қажет етпейді.

2.2 Түйіспелі дәнекерлеу әдісімен стандартты бүдірлі болат арматурадан арматуралық торды құру.

2.2.1 Тұжырымдама бойынша арматуралық торды құру.

Ұсынылып отырған тұжырымдама бойынша арматуралық тор шахмат тақтасына тәріздес орналасқан қысқа тік арматуралық сырықтар мен оларды өзара байланыстыратын ұзын көлденең арматуралық сырықтарды түйіспелі дәнекерлеумен біріктіру арқылы жасалады (1-сурет, а). Құрылған арматуралық тор қабырғаның қалыңдығына және қабырғаға қойылатын талаптарға байланысты бір немесе бірнеше қатардан тұруы мүмкін. Тұжырымдамада құрылыста жиі кездесетін екі қатарлы арматуралық торды (1-сурет, б) ретінде қабылданған. Арматуралық торды құрар алдын іргетас құйылғанда екі қатар тік арматуралық сырықтар іргетасқа белгілі бір қашықтықпен орналастырылуы керек. Аутоматты арматуралаушы механизм сол іргетастан шығып тұратын тік арматуралық сырықтарды база ретінде пайдаланып, соның негізінде арматуралық торларды жасайды. Арматуралық тордағы тік және көлденең арматуралық сырықтардың өзара арақашықтықтары қабырғаның геометриялық параметрлеріне және оған түсетін жүктемеге тікелей байланысты болады. Бірақ, ол арақашықтық бетон кепкенде сызаттанбайтындай қашықтықта болуы керек [34].



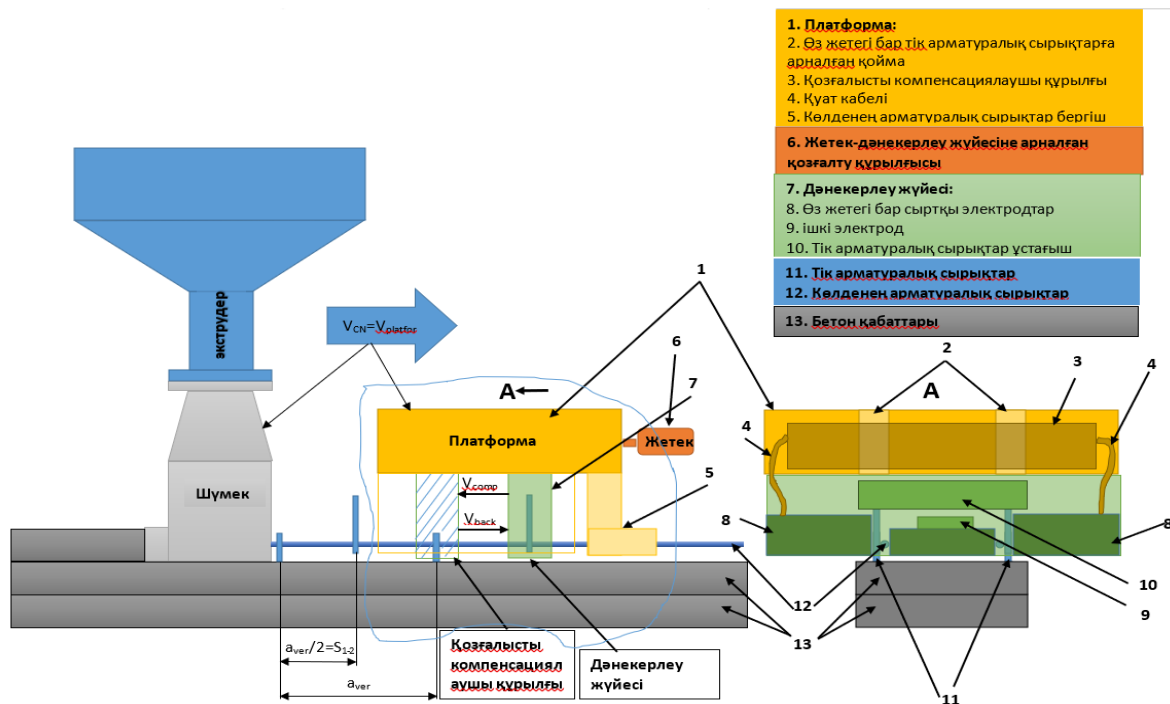
1-сурет. Тұжырымдама сәйкес екі қатарлы арматуралық тор

2.2.2 Тұжырымдаманы жүзеге асыратын аутоматты арматуралау механизмінің жұмыс қағидасы.

Аутоматты арматуралаушы механизмнің құрылымы келесідей (2-сурет): платформа 1 механизмнің базасы болып табылады және шүмектің фланцына бекітіледі де шүмектің алдыңғы жағына орналастырылады; платформаның 1 жоғарғы жағында тік арматуралық сырықтарға арналған қойма 2 орналасқан және арматуралық тор екі қатарлық болғандықтан оның саны да екеу, әрқайсысының өз жетектері бар; сонымен қатар, дәнекерлеу жүйесінің 7 алға-артқа қозғалысын компенсациялаушы құрылғы 3 орналасқан; платформаның 1 төмен жағында көлденең арматуралық сырықтарды бергіш 5 құрылғы орналасқан; түйіспелі дәнекерлеу аппаратынан шыққан кабельдер 4 дәнекерлеу жүйесінде 7 орналасқан өз жетектері бар сыртқы электродтарға 8 жалғанған; және де дәнекерлеу жүйесінде 7 ішкі электрод 9 пен тік арматуралық сырықтарды ұстағыш 10 орналасқан, оның қызметі тік арматуралық сырықтарды 11 көлденең арматуралық сырықтарға 12 біріктіріп дәнекерлеу кезінде тік арматуралық сырықтарды мықтап ұстап тұру.

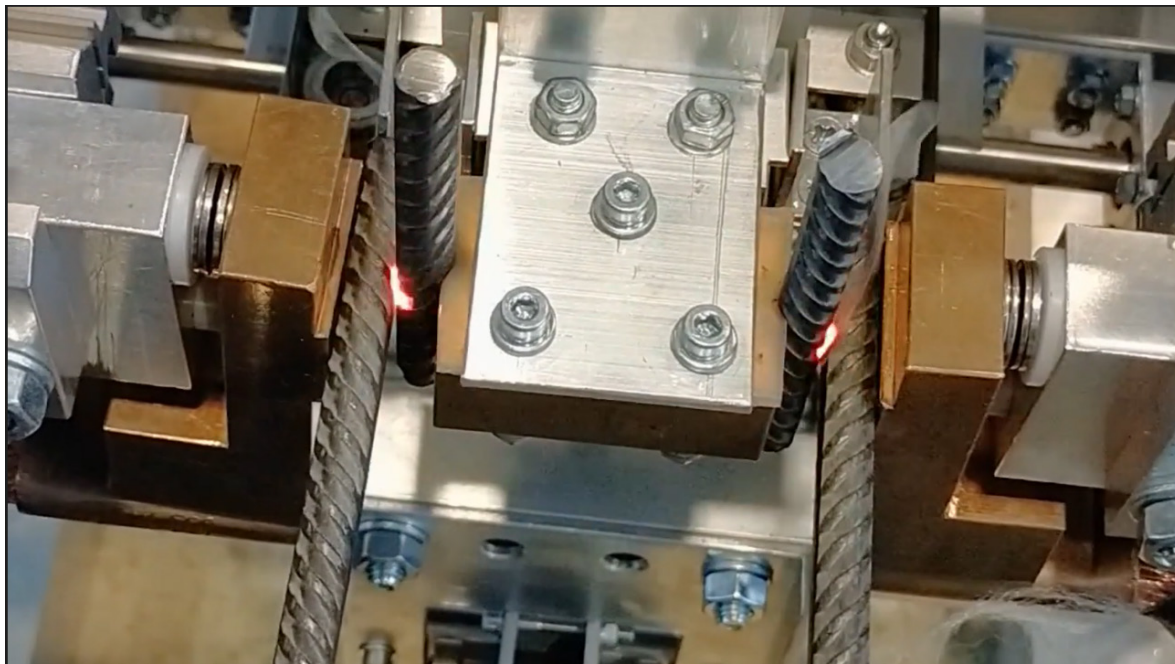
Тұжырымдаманы жүзеге асыратын аутоматты арматуралау механизмінің жұмыс қағидасы келесідей: көлденең арматуралық сырықтарды бергіш құрылғысы дәнекерлеу аймағына ұзындығы 1-2 м болатын көлденең арматуралық сырықтарды автоматты түрде береді, олар бір-біріне параллель және бірдей биіктікте 50 мм болатын өсаралық қашықтықпен екі қатар болады; тік арматуралық сырықтарды беру құрылғысы қоймадан

автоматты түрде дәнекерлеу аймағына бір-біріне параллель екі тік арматуралық сырықты түсіреді; түйіспелі дәнекерлеу аймағында тік және көлденең арматуралық сырықтар сыртқы және ішкі электродтармен қысылып, бір уақытта екі қатар өте тез дәнекерленеді (шамамен 0,3-0,5 секунд); дәнекерлеу кезінде 3D басып шығару процесі тоқтап қалмас үшін қозғалысты компенсациялаушы құрылғы дәнекерлеу жүйесін автоматты арматуралау механизмінің жүріс бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалтады, ал дәнекерлеуден кейін ол тез арада дәнекерлеу жүйесін бастапқы орнына қайтып алып келеді. Осылай аталған қадамдар циклмен арматуралық торды жасап болғанша қайталана береді.



2-сурет. Арматуралаушы механизмнің сұлбасы

Тұжырымдаманың жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін аутоматты арматуралаушы механизмнің жұмыс параметрлері анықталып, жобаланып, оның прототипі жасалынды (3-сурет) және оның көмегімен арматуралық тор жасалынып сынақтан өткізілді.



3-сурет. Аутоматты арматуралаушы механизмнің алғашқы прототипі

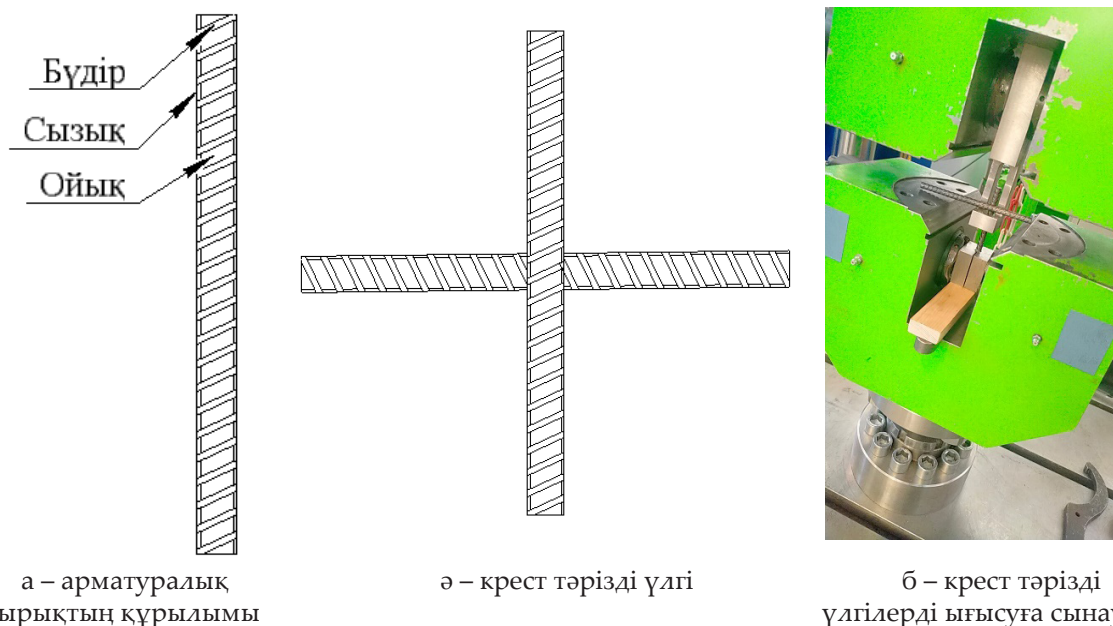
Арматуралаушы механизмнің прототипін пайдаланылып жасалған үлгілердің сынағы мен нәтижелері келесі бөлімде келтірілген.

2.2.3 Түйіспелі дәнекерлеу параметрлері және ығыстыру сынақтары.

Тік және көлденең арматураны қосу үшін нүктелі түйіспелі дәнекерлеу әдісі таңдалды, өйткені, ол арматуралық торларды өндіруде кеңінен қолданылады және ең бастысы, бұл әдіс толығымен стандартталған және DIN 488-4 стандартында сипатталған, яғни тек осы стандартқа сәйкес нәтижелерді алынса, демек, ол құрылыста қолдануға жарамды болады.

Арматуралық сырықтар бір-біріне қатысты әртүрлі комбинацияларда орналастырылған үлгілер жасалды: бүдір бүдірге, ойық ойыққа, ойық бүдірге, сызық сызыққа (4-сурет, а). Барлық жағдайларда арматуралық сырықтар 90 градус бұрышта бір-біріне қатысты айқастырылып орналастырылды (4-сурет, ә) және аутоматты арматуралаушы механизмнің прототипі арқылы түйіспелі дәнекерленіп біріктірілді.

Әр комбинация үшін 5 үлгіден жасалды және DIN EN ISO 15630-2 стандартына сәйкес 800 кН/с тұрақты жүктеме жылдамдығымен 4,б-суретте көрсетілгендей динамомашинанда ығыстырылып сыналды.



4-сурет. Арматуралық сырықтардан крест тәрізді үлгілерді жасау және ығысуға сынау

Үлгілер ығыстыру күшінің әсерінен дәнекерленген жерінен үзіліп кеткенше сыналды. Үлгілерді дайындау кезіндегі түйіспелі дәнекерлеу параметрлері және ығысуға сынақ нәтижелері 3-бөлімдегі 1-кестеде келтірілген.

3. Нәтижелер және талқылау

Бір-біріне қатысты әртүрлі комбинацияларда дәнекерленген диаметрі 6 мм крест тәрізді арматураларды ығысуға сынақтардың нәтижелері 1-кестеде келтірілген. Аталған комбинациялар келесідей болды: бүдір бүдірге, ойық ойыққа, бүдір ойыққа, сызық сызыққа. Сынақ нәтижелері DIN 488-4 стандартында талап етілетін нәтижелерге қол жеткізуге болатындығын көрсетті, ол минималды ығысу Күшін 3,53 кН құрайды (1-кестеде жасылмен боялған мәндер стандарт талабына сай келетін, ал қызылмен боялғандар сай келмейтін нәтижелер). 5-суретте 2-кестедегі мәліметтер талдауға ыңғайлы график түрінде келтірілген. Мұндағы көлденең үзік түзу сызық DIN 488-4 стандартында сәйкес минималды ығысу күші. Сәйкесінше, осы үзік сызықтың жоғары жағындағы және сызықпен беттескен мәндер DIN 488-4 стандартында сай мәндер, ал, оның төменгі жағындағы мәндер стандартқа сай келмейтін мәндер.

«Бүдір бүдірге» комбинациясында (5-сурет, «х» белгіленген) бес үлгінің үшеуі үзік сызықтан жоғары, біреуі беттесіп жатыр, қалған біреуі сәл төмен орналасқан. Бұл бүдір мен бүдір жанасқан жерде түйіспелі дәнекерлеуден кейін бірігу ауданы жетерліктей қалыптасуымен түсіндіруге болады. Ал, үзік сызықтан төмен болып қалған мән түйісетін екі сырықтың бүдірлерінің бір-бірінің қырларымен жанасуынан болуы мүмкін, яғни, бірігу ауданы кішірек болып қалыптасқан.

1-кесте. Диаметрі 6 мм крест тәрізді арматуралық сырықтарды ығыстырып сынау нәтижелері

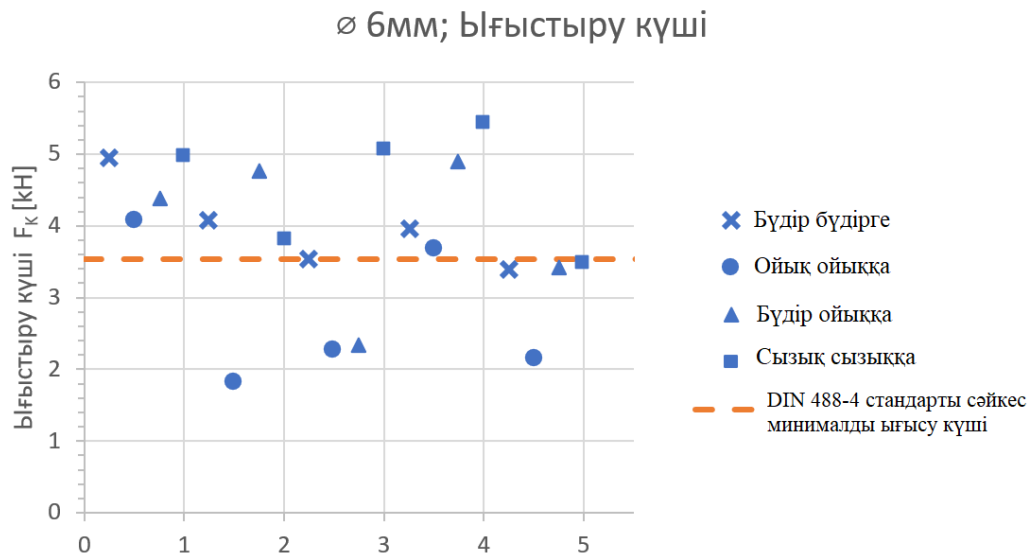
№	Уақыт [с]	Өлшенген ток күші [кА]	Электродтардың қысу күші [кН]	DIN 488-4 стандарты бойынша қажетті ығыстыру күші [кН]	Өлшенген ығыстыру күші [кН]
Сырықтардың орналасуы: бүдір бүдірге					
1	0,3	3	2,5	3,53	4,96
2	0,3	3,1	2,5	3,53	4,08
3	0,3	3,1	2,5	3,53	3,54
4	0,3	3	2,5	3,53	3,97
5	0,3	3,1	2,5	3,53	3,4
Сырықтардың орналасуы: ойық ойыққа					
1	0,3	3,1	2,5	3,53	4,08
2	0,3	3	2,5	3,53	1,83
3	0,3	3,2	2,5	3,53	2,26
4	0,3	3,4	2,5	3,53	3,67
5	0,3	3,3	2,5	3,53	2,14
Сырықтардың орналасуы: бүдір ойыққа					
1	0,3	3,3	2,5	3,53	4,39
2	0,3	3,1	2,5	3,53	4,75
3	0,3	3,2	2,5	3,53	2,35
4	0,3	3,1	2,5	3,53	4,9
5	0,3	3,2	2,5	3,53	3,41
Сырықтардың орналасуы: сызық сызыққа					
1	0,3	2,9	2,5	3,53	4,97
2	0,3	2,9	2,5	3,53	3,81
3	0,3	3	2,5	3,53	5,06
4	0,3	3,1	2,5	3,53	5,44
5	0,3	3	2,5	3,53	3,5

«Ойық ойыққа» комбинациясында (5-сурет, «●» белгіленген) бес үлгінің екеуі үзік сызықтан жоғары, қалған үшеуі төмен орналасқан. Бұл екі жағдайда «ойық ойыққа» дәл түспей, бүдірлердің қырлары бір-бірімен түйісіп, екі не одан да көп бірігу ауданы қалыптасуынан болуы мүмкін. Ал, қалған үш жағдайда ойықтардың түбі бір-біріне бірігіп кететіндей жанаспай қалғаннан болуы мүмкін, яғни, оларды жеткілікті дәрежеде біріктіріп жіберуге ток күші мен электродтардың қысу күші жеткіліксіз болған.

«Бүдір ойыққа» комбинациясында (5-сурет, «▲» белгіленген) бес үлгінің үшеуі үзік сызықтан жоғары, қалған екеуі төмен орналасқан. Үш жағдайда бүдірдің төбесі ойықтың түбіне толық жанасып, жетерліктей бірігу ауданымен түсіндіруге болады. Қалған екі жағдайда бүдірдің төбесі ойықтың түбіне толық жанаспай, бірігу ауданы жеткіліксіз болған.

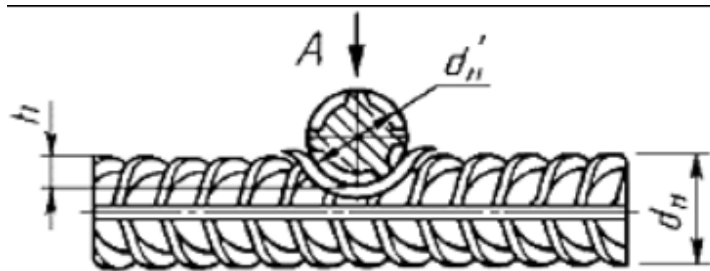
«Сызық сызыққа» комбинациясында (5-сурет, «■» белгіленген) бес үлгінің төртеуі үзік сызықтан жоғары, қалған біреуі үзік сызықпен беттескен. Бес жағдайда да мәндер DIN 488-4 стандартында сай. Бұл сызық пен сызық жанасқанда төртбұрышты аудан пайда болуымен, және ток күшінің әсерінен жанасу нүктесіндегі балқыған сырықтарды электродтардың

жаншу күшінің әсерінен бірігу ауданының үлкеюімен әрі біртұтас болуымен түсіндіруге болады.



5-сурет. Өртүрлі комбинацияларда диаметрі 6 мм крест тәрізді арматуралық сырықтарды ығысуға сынау нәтижелері

ГОСТ 14098-91 стандартында талап тек дәнекерлеу тереңдігіне қойылған және ол келесі тәуелділікте орнатылады: $h / d_n = 0,4-0,8$ немесе минимум $h / d_n = 0,2$ (6-сурет). Бірақ, ол талапқа қол жеткізу үшін дәнекерлеу тоғын 5-6 кА дейін арттыру қажет [35], бұл дәнекерлеу генераторының қуатын арттыруға, сәйкесінше оның салмағын арттыруға әкеледі. Яғни, түйіспелі дәнекерленуші арматуралық сырықтардың диаметрі үлкейген сайын ток күші мен электродтардың қысу күші де еселеп көбейе береді, ал, ол өз кезегінде аутоматты арматуралаушы механизмнің салмағын арттырады.



6-сурет. ГОСТ 14098-91 стандартының талабы бойынша дәнекерлеу тереңдігі

Демек, егер құрылыс 3D принтерінің жүк көтергіштік қабілеті айтарлықтай көп болса, онда аутоматты арматуралаушы механизмді қуатты дәнекерлеу генераторы мен электродтарды жаншыйтын механизмдермен жабдықтап, жоғарыда келтірілген арматуралық сырықтардың комбинацияларын елемесе болады. Бастысы ГОСТ 14098-91 стандарты талап ететін дәнекерлеу тереңдігі қамтамасыз етілсе жеткілікті. Ал, егер аутоматты арматуралаушы механизмінің салмағын жеңілдету қажет болса, онда арматуралық сырықтарды қажетті комбинацияда бағдарлап тұратын қосымша құрылғымен және датчиктермен жабдықтау қажет. Оны жүзеге асыру салыстырмалы түрде аз энергия шығындарымен және салмақтың аз өсуімен жасауға болады.

4. Қорытынды

Бұл жұмыста 3D баспалық бетонды 3D баспа барысында арматуралау мәселесін шешу мақсатында түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, аутоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор құратын аутоматты арматуралаушы механизмнің тұжырымдамасы ұсынылды. Ұсынылған тұжырымдама бойынша оның прототипі жасалынды. Тұжырымдаманың жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін әртүрлі («бүдір бүдірге», «бүдір ойыққа», «ойық ойыққа» және «сызық сызыққа») комбинацияларда крест тәріздес үлгілер түйіспелі дәнекерленіп жасалды, сол арқылы прототиптің барлық бөліктерінің жұмысы тексерілді. Түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып аутоматты режимде жасалатын арматуралаушы тордың механикалық қасиеттері DIN 488-4 стандартының талаптарына сәйкестігін анықтау үшін жасалған крест тәріздес үлгілер динамомашинанда ығыстыру әдісімен үзіп тексерілді. Барлық комбинацияларда DIN 488-4 стандартының талаптарын қанағаттандыратын нәтижелер алынды. Сөйтіп, ұсынылған тұжырымдаманың жұмыс қабілеттігі дәлелденді және зерттеу бағытының дұрыс әрі болашағы бар екенін көрсетті.

Зертханалық сынақ нәтижелері бойынша «сызық сызыққа» комбинациясының ең тиімді әрі сенімді екені анықталды. Осы тұста тұжырымдама бойынша зерттеуді екі бағытта дамытуға боланытыны анықталды. Біріншісі, энергия аз тұтынатын және баспа бастиегінің салмағына шектеу қойылатын жағдайлар үшін тік және көлденең арматуралық сырықтарды дәнекерлеу аймағына «сызық сызыққа» комбинациясы болатындай бағдарлайтын қосымша құрылғымен жабдықтау, яғни, арматуралық сырықтарды танып-білетін автоматтандырылған жүйелерді қоса зерттеу. Екіншісі, энергия мен салмаққа, және де арматуралық сырықтар комбинациясына көңіл аудармай, тек арматуралық тордың қажетті механикалық сипаттамаларын алу үшін зерттеу жұмыстарын жүргізу.

Растау

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды: Грант №AP19178044 «Әскери мақсаттағы құрылыс объектілерін салуға арналған құрылыс 3D принтерінің баспа бастиегін жобалау және әзірлеу».

Әдебиеттер

1. Hull C. W. The birth of 3D printing //Research-Technology Management. – 2015. – Vol. 58. – №. 6. – P. 25-30.
2. Сағынтай М., Байгунчеков Ж. Бетонды қабаттап құятын 3d принтерлердің конструкцияларын талдау // Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Т. 143(1). – Б. 120–127. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.16>
3. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating //Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
4. Shaodan Hou, Zhenhua Duan, Jianzhuang Xiao, Jun Ye. A review of 3D printed concrete: Performance requirements, testing measurements and mix design //Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121745>.
5. Ehsan Hosseini, Mohammad Zakertabrizi, Asghar Habibnejad Korayem, Guanzhong Xu. A novel method to enhance the interlayer bonding of 3D printing concrete: An experimental and computational investigation // Cement and Concrete Composites.– 2019. – Vol. 99. – P. 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.008>.
6. Jay G. Sanjayan, Behzad Nematollahi, Ming Xia, Taylor Marchment. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete // Construction and Building Materials.– 2018. – Vol. 172. – P. 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232>.

7. Yi Wei Daniel Tay, Guan Heng Andrew Ting, Ye Qian, Biranchi Panda, Lewei He & Ming Jen Tan. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. Vol. 14:1. – P. 104-113. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1500420>
8. Yun-Chen Wu, Mo Li, Effects of Early-Age rheology and printing time interval on Late-Age fracture characteristics of 3D printed concrete // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128559>.
9. Yiwen Wu, Chao Liu, Huawei Liu, Zhenzi Zhang, Chunhui He, Shuhua Liu, Rongfei Zhang, Youqiang Wang, Guoliang Bai. Study on the rheology and buildability of 3D printed concrete with recycled coarse aggregates // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103030>.
10. V.N. Nerella, M. Näther, A. Iqbal, M. Butler, V. Mechtcherine, Inline quantification of extrudability of cementitious materials for digital construction // *Cement and Concrete Composites*. – 2019. – Vol. 95. – P. 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.015>.
11. Spandana Paritala, Kailash Kumar Singaram, Indira Bathina, Mohd Ataulah Khan, Sri Kalyana Rama Jyosyula. Rheology and pumpability of mix suitable for extrusion-based concrete 3D printing – A review // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132962>.
12. Yilong Han, Zhihan Yang, Tao Ding, Jianzhuang Xiao. Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123884>.
13. Domenico Asprone, Costantino Menna, Freek P. Bos, Theo A.M. Salet, Jaime Mata-Falcón, Walter Kaufmann. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.020>.
14. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Reinforcement method for 3D concrete printing using paste-coated bar penetrations // *Automation in Construction*. – 2021. – Vol. 127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103694>.
15. Bos F., Zeeshan Y. Ahmed, Evgeniy R. Jutinov, Theo A. M. Salet. Experimental Exploration of Metal Cable as Reinforcement in 3D Printed Concrete // *Materials*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1314. <https://doi.org/10.3390/ma10111314>
16. Zhijian Li, Guowei Ma, Fang Wang, Li Wang, Jay Sanjayan. Expansive cementitious materials to improve micro-cable reinforcement bond in 3D concrete printing // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104304>.
17. Guowei Ma, Zhijian Li, Li Wang, Gang Bai. Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 235. – P. 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.159>.
18. Jianzhuang Xiao, Zixuan Chen, Tao Ding, Shuai Zou, Bending behaviour of steel cable reinforced 3D printed concrete in the direction perpendicular to the interfaces // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104313>.
19. Maryam Hojati, Ali M. Memari, Mehrzad Zahabi, Zhengyu Wu, Zhanzhao Li, Keunhyoung Park, Shadi Nazarian, José P. Duarte. Barbed-wire reinforcement for 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104438>.
20. F. P. Bos, E. Bosco & T. A. M. Salet. Ductility of 3D printed concrete reinforced with short straight steel fibers // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. – Vol. 14:2. – P. 160-174. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1548069>
21. Luong Pham, Phuong Tran, Jay Sanjayan. Steel fibres reinforced 3D printed concrete: Influence of fibre sizes on mechanical performance // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118785>.
22. Perrot A. Jacques Y, Rangedard D, Courteille E, Sonebi M. Nailing of Layers: A Promising Way to Reinforce Concrete 3D Printing Structures // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1518. <https://doi.org/10.3390/ma13071518>
23. I Wang, Guowei Ma, Tianhao Liu, Richard Buswell, Zhijian Li. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails // *Cement and Concrete Research*. – 2021. – Vol. 148. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106535>.
24. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Mesh reinforcing method for 3D Concrete Printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 109. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102992>.
25. Mechtcherine V., Michel A, Liebscher M, Schmeier T. Extrusion-Based Additive Manufacturing with Carbon Reinforced Concrete: Concept and Feasibility Study // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 2568.

26. Tao Ding, Fei Qin, Jianzhuang Xiao, Xiaoming Chen, Zibo Zuo. Experimental study on the bond behaviour between steel bars and 3D printed concrete // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104105>.
27. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
28. A. Aramburu, I. Calderon-Uriszar-Aldaca, I. Puente. Bonding strength of steel rebars perpendicular to the hardened 3D-printed concrete layers // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127827>.
29. Miao Liu, Li Wang, Guowei Ma, Weiwei Li, Yuanyuan Zhou. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // *Materials Letters*. – 2023. – Vol. 331. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133429>.
30. <https://www.youtube.com/shorts/bMlvx9u4kkA>
31. <https://www.youtube.com/shorts/b97-PX8HIU>
32. Domenico Asprone, Ferdinando Auricchio, Costantino Menna, Valentina Mercuri. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 165. – P. 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>.
33. Lukas Gebhard, Jaime Mata-Falcón, Ana Anton, Benjamin Dillenburger, Walter Kaufmann. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // *Engineering Structures*. – 2021. – Vol. 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380>.
34. Kämpfe, Hansgerd: *Bewehrungstechnik: Grundlagen - Praxis - Beispiele - Wirtschaftlichkeit*. 2. Aufl. Wiesbaden. – Springer Vieweg. – 2020. – S. 184-185.
35. Scotchmer, Nigel. The Other Resistance Process: Cross Wire Welding // *In: Welding Journal*. – 2007. – Vol. 12. – P. 36-39.

Автоматический армирующий механизм для армирования 3D печатного бетона

М.К. Сагынтай¹, А.К. Мустафа¹, Е.З. Нугман¹

¹Сатбаев университет, город Алматы, Казахстан

Аннотация. Одной из актуальных проблем аддитивной технологии в строительстве на сегодняшний день является армирование 3D печатного бетона. Исследования, проведенные до сих пор, доказали, что при армировании 3D печатного бетона только при использовании стандартной арматуры из рифленой стали ее механические свойства приближаются к свойствам традиционного железобетона. Теперь вопрос, который необходимо решить, заключается в том, чтобы автоматизировать процесс армирования бетона, напечатанного на 3D-принтере, стандартной рифленой стальной арматурой. В целях решения данной проблемы в данной работе разработана концепция автоматического армирующего механизма, образующего двухрядную армирующую сетку в автоматическом режиме с использованием метода контактной сварки, разработан его прототип в соответствии с той же концепцией и проведены лабораторные испытания для проверки работоспособности. В частности, с целью определения соответствия механических свойств армирующей сетки, изготавливаемой в автоматическом режиме методом контактной сварки, требованиям стандарта DIN 488-4 и проверки системы контактной сварки прототипа, были изготовлены крестообразные образцы и проверены методом на срез на динамомашине. Кроме того, проверена работоспособность всех систем прототипа автоматического армирующего механизма. Таким образом, доказана работоспособность предложенной концепции.

Ключевые слова: 3D напечатанный бетон, аддитивная технология в строительстве, стандартная стальная арматура, армирование бетона, автоматический армирующий механизм.

An automatic reinforcement mechanism for reinforcing the 3D printed concrete

M.K. Sagyntay¹, A.K. Mustafa¹, E.Z. Nugman¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Annotation. One of the pressing problems of additive technology in construction today is the reinforcement of 3D printed concrete. Research conducted so far has proven that when reinforcing 3D printed concrete, only when using standard corrugated steel reinforcement, its mechanical properties approach those of traditional reinforced concrete. Now the question that needs to be solved is how to automate the process of reinforcing 3D printed concrete with standard grooved steel rebar. In order to solve this problem, this work developed the concept of an automatic reinforcing mechanism that forms a double-row reinforcing mesh automatically using the resistance welding method, developed its prototype in accordance with the same concept, and carried out laboratory tests to verify its performance. In particular, in order to determine the compliance of the mechanical properties of the reinforcing mesh, produced automatically by the resistance welding method, with the requirements of the DIN 488-4 standard and to test the prototype resistance welding system, cross-shaped samples were made and tested by the shear method on a dynamo. In addition, the performance of all systems of the prototype automatic reinforcing mechanism was tested. Thus, the efficiency of the proposed concept has been proven.

Keywords: 3D printed concrete, additive technology in construction, standard steel reinforcement, concrete reinforcement, automatic reinforcing mechanism.

References

1. Hull C. W. The birth of 3D printing //Research-Technology Management. – 2015. – Vol. 58. – №. 6. – P. 25-30.
2. Sagyntay M., Baigunchekov Zh. Analysis of the design of 3d printers for layer by layer concrete pouring. // Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Vol. 143(1). – P. 120–127. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.16>
3. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating //Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
4. Shaodan Hou, Zhenhua Duan, Jianzhuang Xiao, Jun Ye. A review of 3D printed concrete: Performance requirements, testing measurements and mix design //Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121745>.
5. Ehsan Hosseini, Mohammad Zakertabrizi, Asghar Habibnejad Korayem, Guanzhong Xu. A novel method to enhance the interlayer bonding of 3D printing concrete: An experimental and computational investigation // Cement and Concrete Composites.– 2019. – Vol. 99. – P. 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.008>.
6. Jay G. Sanjayan, Behzad Nematollahi, Ming Xia, Taylor Marchment. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete // Construction and Building Materials.– 2018. – Vol. 172. – P. 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232>.
7. Yi Wei Daniel Tay, Guan Heng Andrew Ting, Ye Qian, Biranchi Panda, Lewei He & Ming Jen Tan. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete // Virtual and Physical Prototyping. – 2019. Vol. 14:1. – P. 104-113. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1500420>
8. Yun-Chen Wu, Mo Li, Effects of Early-Age rheology and printing time interval on Late-Age fracture characteristics of 3D printed concrete // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128559>.
9. Yiwen Wu, Chao Liu, Huawei Liu, Zhenzi Zhang, Chunhui He, Shuhua Liu, Rongfei Zhang, Youqiang Wang, Guoliang Bai. Study on the rheology and buildability of 3D printed concrete with recycled coarse aggregates // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103030>.
10. V.N. Nerella, M. Näther, A. Iqbal, M. Butler, V. Mechtcherine, Inline quantification of extrudability of cementitious materials for digital construction // Cement and Concrete Composites. – 2019. – Vol. 95. – P. 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.015>.

11. Spandana Paritala, Kailash Kumar Singaram, Indira Bathina, Mohd Ataulloh Khan, Sri Kalyana Rama Jyosyula. Rheology and pumpability of mix suitable for extrusion-based concrete 3D printing – A review // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132962>.
12. Yilong Han, Zhihan Yang, Tao Ding, Jianzhuang Xiao. Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123884>.
13. Domenico Asprone, Costantino Menna, Freek P. Bos, Theo A.M. Salet, Jaime Mata-Falcón, Walter Kaufmann. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.020>.
14. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Reinforcement method for 3D concrete printing using paste-coated bar penetrations // *Automation in Construction*. – 2021. – Vol. 127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103694>.
15. Bos F., Zeeshan Y. Ahmed, Evgeniy R. Jutinov, Theo A. M. Salet. Experimental Exploration of Metal Cable as Reinforcement in 3D Printed Concrete // *Materials*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1314. <https://doi.org/10.3390/ma10111314>
16. Zhijian Li, Guowei Ma, Fang Wang, Li Wang, Jay Sanjayan. Expansive cementitious materials to improve micro-cable reinforcement bond in 3D concrete printing // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104304>.
17. Guowei Ma, Zhijian Li, Li Wang, Gang Bai. Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 235. – P. 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.159>.
18. Jianzhuang Xiao, Zixuan Chen, Tao Ding, Shuai Zou, Bending behaviour of steel cable reinforced 3D printed concrete in the direction perpendicular to the interfaces // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104313>.
19. Maryam Hojati, Ali M. Memari, Mehrzad Zahabi, Zhengyu Wu, Zhanzhao Li, Keunhyoung Park, Shadi Nazarian, José P. Duarte. Barbed-wire reinforcement for 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104438>.
20. F. P. Bos, E. Bosco & T. A. M. Salet. Ductility of 3D printed concrete reinforced with short straight steel fibers // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. – Vol. 14:2. – P. 160-174. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1548069>
21. Luong Pham, Phuong Tran, Jay Sanjayan. Steel fibres reinforced 3D printed concrete: Influence of fibre sizes on mechanical performance // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118785>.
22. Perrot A. Jacquet Y, Rangedard D, Courteille E, Sonebi M. Nailing of Layers: A Promising Way to Reinforce Concrete 3D Printing Structures // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1518. <https://doi.org/10.3390/ma13071518>
23. I Wang, Guowei Ma, Tianhao Liu, Richard Buswell, Zhijian Li. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails // *Cement and Concrete Research*. – 2021. – Vol. 148. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106535>.
24. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Mesh reinforcing method for 3D Concrete Printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 109. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102992>.
25. Mechtcherine V., Michel A, Liebscher M, Schmeier T. Extrusion-Based Additive Manufacturing with Carbon Reinforced Concrete: Concept and Feasibility Study // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 2568.
26. Tao Ding, Fei Qin, Jianzhuang Xiao, Xiaoming Chen, Zibo Zuo. Experimental study on the bond behaviour between steel bars and 3D printed concrete // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104105>.
27. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
28. A. Aramburu, I. Calderon-Uriszar-Aldaca, I. Puente. Bonding strength of steel rebars perpendicular to the hardened 3D-printed concrete layers // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127827>.
29. Miao Liu, Li Wang, Guowei Ma, Weiwei Li, Yuanyuan Zhou. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // *Materials Letters*. – 2023. – Vol. 331. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133429>.
30. <https://www.youtube.com/shorts/bMlvx9u4kkA>
31. <https://www.youtube.com/shorts/b97-PX8HIU>

32. Domenico Asprone, Ferdinando Auricchio, Costantino Menna, Valentina Mercuri. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 165. – P. 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>.

33. Lukas Gebhard, Jaime Mata-Falcón, Ana Anton, Benjamin Dillenburger, Walter Kaufmann. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380>.

34. Kämpfe, Hansgerd: Bewehrungstechnik: Grundlagen - Praxis - Beispiele - Wirtschaftlichkeit. 2. Aufl. Wiesbaden. – Springer Vieweg. – 2020. – S. 184-185.

35. Scotchmer, Nigel. The Other Resistance Process: Cross Wire Welding // In: Welding Journal. – 2007. – Vol. 12. – P. 36–39.

Сведения об авторах:

Қаз.:

М.Қ. Сағынтай – аға оқытушы, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

А.Қ. Мұстафа – доктор PhD, қауымдасқан профессор, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, кафедра меңгерушісі, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Рус.:

М.К. Сағынтай – старший преподаватель, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

А.К. Мұстафа – доктор PhD, ассоциированный профессор, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, заведующий кафедры, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Англ.:

M.K. Sagyntai – senior lecturer, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, phone: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

A.K. Mustafa – PhD, Associate Professor, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, phone: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

E.Z. Nugman – PhD, head of department, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, tel: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.