

М.Н. Нұрбаева, Л.Б. Аруова, Р.Е. Лукпанов

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан  
(E-mail: marzhan\_nurbaeva@mail.ru, ecoeducation@mail.ru, rauan\_82@mail.ru )*

## Талшықтардың бетонның беріктік сипаттамаларына әсерін бағалау

**Аңдатпа.** Мақалада ұсақ түйіршікті бетонның беріктік сипаттамаларына әсер ететін әртүрлі талшықтарды зерттеу нәтижелері келтірілген. Фибробетон үшін қолданылатын талшық түрлерінің негізгі сипаттамалары көрсетілген. Бетондарды дисперсті арматуралауға арналған полипропилен және базальт талшығының зертханалық зерттеу нәтижелері келтірілген. Беріктіктің өзгеруін бағалау үшін үлгілер әзірленіп, қалыпты ылғалдылықта қатайған 3, 14 және 28 тәулік мерзімінде сығылу беріктігіне сыналды. Талшықсыз (бақылау үлгісі) және цемент массасынан 0,1, 0,5, 1,5, 2,5 % полипропилен талшығын және цемент массасынан 0,05, 0,1, 0,2, 0,5 % базальт талшығын енгізу арқылы сығылу кезіндегі беріктік шегін анықтау нәтижелері келтірілген. Полипропилен талшығын қоспаға енгізудің ең тиімді шектерін цемент массасынан 0,5 % деп санауға болатындығы көрсетілді, бұл бақылау үлгісімен салыстырғанда 9,09 %-ға дейін сығылу беріктігінің артуына әкеледі. Цемент массасының 0,1 % мөлшерінде ұсақ түйіршікті базальт талшықты бетон қоспасына енгізу сығылу беріктігін 11,4 % арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** фибробетон, полипропилен талшығы, базальт талшығы, беріктік, қоспа.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-143-2-36-45](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-143-2-36-45)

### Кіріспе

Дисперсті арматураланған құрылыс материалдары мен бұйымдары кейінгі кезде кеңінен қолданыла бастады. Соңғы жылдары бетонға серпімділік қасиеттерін беру үшін, созылу беріктігін және сызаттарға төзімділікті арттыру үшін, құрылыс индустриясында арматураны пайдалануды азайту, әмбебап конструкцияларды жасау үшін дисперсті арматуралау кеңінен қолданылады [1].

Бетондар мен құрылыс ерітінділерінің пайдалану сипаттамаларын арттырудың перспективалық тәсілдерінің бірі олардың құрамына микрофибраны енгізу болып табылады [2-3]. Бұл материалды пайдалану цемент тасының беріктігін арттыруға мүмкіндік береді, сығылу мен иілу кезінде жоғары беріктікті қамтамасыз етеді, сонымен қатар, цемент негізіндегі құрылыс материалдарының басқа да сипаттамаларын арттырады.

Полипропилен талшығын фибробетон технологиясында, сылақ, қалау және монтаждау ерітінділерінде, гидротехникалық және ұялы бетон технологиясында қоспалардың қатпарлануын азайту үшін, су өткізбеушілікті, аязға төзімділікті, коррозияға төзімділікті, соққы беріктігін арттыру үшін қолдануға болады.

Сипаттамалары жақсартылған фибробетонды өндіру үшін бетон-матрица мен талшықтардың технологиялық үйлесімділігіне қол жеткізу керек. Талшықтың қоспаға кесек күйінде түсуіне тыйым салынады, оны өте мұқият араластыру қажет [4].

Фибробетонның артықшылықтарына оның жоғары өнімділігін жатқызуға болады. Құрамында талшығы бар бетон қарапайым бетонға қарағанда сапасы, беріктігі бойынша әлдеқайда жоғары. Одан жасалған бұйымдар қажалуға және химиялық әсерге төзімді болады, жұмыс кезінде деформацияланбайды және үзілу мен созылу беріктігі жоғары болады. Фиброталшықты арматуралық материал ретінде пайдалану – бетон өнімдерін өндірудің күрделілігін едәуір төмендетеді. Мұндай конструкцияларға металл жақтаулар мен торлардың көмегімен қосымша күшейту қажет емес. Бұл фактор құрылыс процесін едәуір жылдамдатады және еңбекті көп қажет ететін шығындардан арылтады [5-6].

Талшықты енгізу кезінде бетонның сипаттамаларын жақсарту талшықтың композит матрицасымен өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болады. Талшық бетон матрицасымен бірыңғай жүйені қалыптастыру арқылы шөгу деформациясын төмендетумен және өткізгіштігін арттырумен қатар, созылу жүктемелері кезде бетонның беріктігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бетондағы талшықтың дұрыс таңдалған мөлшері физика-механикалық және пайдалану көрсеткіштерін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Полимерлі талшықтың ең көп қолданылатын түрлерінің қатарына полипропилен талшығы жатады. Полипропилен талшығы органикалық талшықтар класына жатады. Талшықтың бұл түрі төмен бағасымен, төмен серпімді модульмен, жоғары созылу коэффициентімен және коррозияға төзімділігімен сипатталады [7]. Коррозияға төзімділігі жоғары талшық қышқылдар мен сілтілердің әсеріне ұшыраған кезде қолдануға мүмкіндік береді, бұл әсіресе сілтілік ерітінділермен белсендірілген бетондар үшін өте маңызды [8]. Полипропилен талшығы экструзия арқылы таза полипропилен түйіршіктерінен үздіксіз әдіспен алынады. Талшықтар белгілі бір температураға жеткенде, олардың бетіне майлы құрамды қолданады. Дәл осы құрам арқасында бетінің ілінуіне және полипропилен талшығының бетон ерітіндісіне таралуына ықпал етеді. Талшық әртүрлі мөлшердегі жұқа ақ полипропилен талшықтары сияқты, олар сілтілерге және әртүрлі химиялық заттарға төзімді инертті зат болып табылады [9].

Базальт талшығын қолдану қарапайым агрегаттық түзілімдердің пайда болуына әкеледі, тұтқыр иілімді қасиеттері өзгереді, бұл жүйенің пластикалық беріктігінің жоғарылауынан көрінеді. Талшықтар микроқұрылымды жақсартады, цемент тасының ішкі кернеуі мен шөгуін азайтады. Құрылымы ілінісі есебінен немесе қататын материалдың жаңа талшықтарының бірігуі арқылы күшейтіледі [10].

Базальт талшығы базальт тау жыныстарының балқымаларынан алынады. Дисперсті арматуралауға арналған базальт талшығының артықшылығы – жоғары беріктікпен қатар, ол жүктемелердің әсерінен созылмайды, қоршаған ортаның химиялық, коррозиялық және термиялық әсеріне температура өзгерісі мен қарқынды ауыспалы жүктемелеріне төзімді, сонымен қатар, бағасы арзан. Базальт талшығы (кесілген базальт талшығы) – бұл әр түрлі бетон үшін беріктікті күшейтетін қоспа болып табылатын базальт талшығының сегменттері [11]. Базальт жыныстарынан жасалған талшықтар жоғары табиғи бастапқы беріктікке, агрессивті ортаға төзімді, электрлік оқшаулау қасиеттеріне ие, табиғи, экологиялық таза шикізаттан жасалған. Сондықтан, базальт талшықтары өнеркәсіпте, құрылыста, энергетикада жиі қолданылады.

Ғылыми жұмыстың негізгі мақсаты: стандартты бетон үлгілерінің сығылуға беріктігіне талшықтың әсерін бағалау.

### **Зерттеу әдістері**

Эксперименттік жұмыстарды жүргізу үшін байланыстырғыш ретінде портландцемент ПЦ400Д0 қоспасыз, шын тығыздығы – 3100 кг/м<sup>3</sup>, үйінді тығыздығы – 1100-1600 кг/м<sup>3</sup> пайдаланылды.

Толтырғыш ретінде МЕМСТ 31424—2010 сәйкес қиыршық тас елегі (отсев) қолданылды. Шын тығыздығы 2,66 г/см<sup>3</sup>, үйінді тығыздығы 1400 кг/м<sup>3</sup>, ірілік модулі 32,66.

Толтырғыштың ұсақ фракциясы ретінде МЕМСТ 8736-2014 «Құрылыс жұмыстарына арналған құм» талаптарын қанағаттандыратын 1,48 ірілік модулі бар табиғи кварц құмы қолданылды.

Механикалық қасиеттерді сынау үшін ұсақ түйіршікті фибробетонның арматуралау дәрежесіне байланысты полипропилен және базальт талшықтары таңдалды (1сурет).



а) полипропилен талшығы, б – базальт талшығы

Полипропилен талшығы цемент массасынан 0,1, 0,5, 1,5, 2,5% мөлшерінде ұсақ түйіршікті бетонға арналған құрғақ қоспаға енгізіліп, кейіннен мұқият сумен араластырылды. Базальт талшығы цемент массасынан 0,05, 0,1, 0,2, 0,5% мөлшерінде алынды. Талшықты мөлшерлеудің таңдалған аралығы нормативтік құжаттардың талаптарына және дайындаушының ұсыныстарына сәйкес келеді. Талшықтардың физика-механикалық сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

1 кесте. Талшықтардың негізгі қасиеті

Талшық түрі	Тығыздығы, кг/м <sup>3</sup>	Ұзындығы, мм	Диаметрі, мкм	Үзілуге беріктігі, МПа	Үзілуге дейінгі ұзаруы, %
Полипропилен	620	10	22	170-260	150-250
Базальт	3100	12	18	3000-4840	3,1-6,0

МЕМСТ 23732-2011 «Бетондар мен құрылыс ерігінділеріне арналған су» талаптарына сәйкес келетін бетон қоспасын алуға арналған су қолданылды.

Беріктікті бағалау ылғалды ауа жағдайында сақталған және МЕМСТ 10180-2012 «Бетондар. Бақылау үлгілері бойынша беріктікті анықтау әдістері» сәйкес 3, 14 және 28 тәулігінде қалыпты қатайған, 100×100×100 мм өлшемдегі текшелі үлгілерде тексерілді.

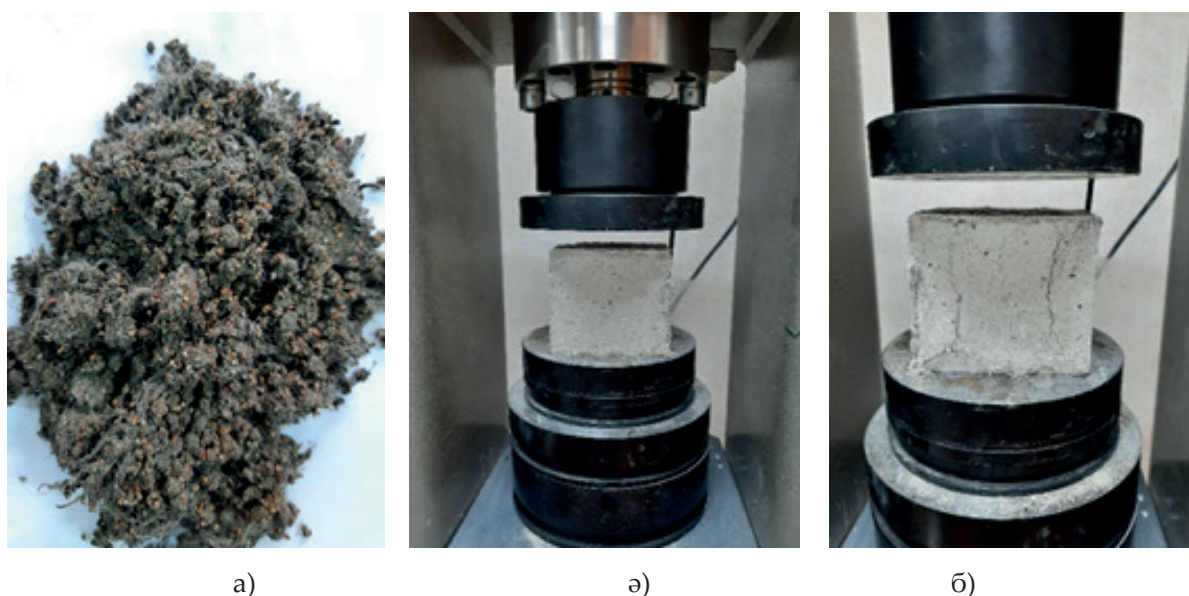
Үлгілерді дайындауға кеткен шикізат шығыны 2-кестеде көрсетілген.

2 кесте. Бетон үлгілерінің құрамы

Бетон қоспасының түрлері	Цемент, гр	Қиыршық тас елегі (отсев), гр	Құм, гр	Талшық, %	Су/Цемент қатынасы
Полипропилен талшығымен					
1 түрі	500	1120	530	-	0,5
2 түрі	500	1120	530	0,1	0,5
3 түрі	500	1120	530	0,5	0,5
4 түрі	500	1120	530	1,5	0,5
5 түрі	500	1120	530	2,5	0,5

Базальт талшығымен					
6 түрі	500	1120	530	0,05	0,5
7 түрі	500	1120	530	0,1	0,5
8 түрі	500	1120	530	0,2	0,5
9 түрі	500	1120	530	0,5	0,5

Қоспалар МЕМСТ 310.3-76 сәйкес ыдыста қолмен араластырылды (2 (а) сурет). Алдын ала дайындалған цемент, қиыршық тас елегі және құм қоспасы 2 минут араластырылды, содан кейін оған 4 минут бойы тұрақты араластыра отырып, талшық біркелкі енгізіліп, сумен араластырылды. Қоспаны дайындағаннан кейін оның консистенциясы МЕМСТ 310.4-81 сәйкес сілкілеу үстелінде анықталды. 28 тәулік ылғалды жағдайда қатайған цемент массасынан 0,1, 0,5, 1,5, 2,5 % полипропилен талшығынан және цемент массасынан 0,05, 0,1, 0,2, 0,5 % базальт талшығынан дайындалған үлгілер, сонымен қатар, бақылау үлгісі (талшықсыз) зерттелді.

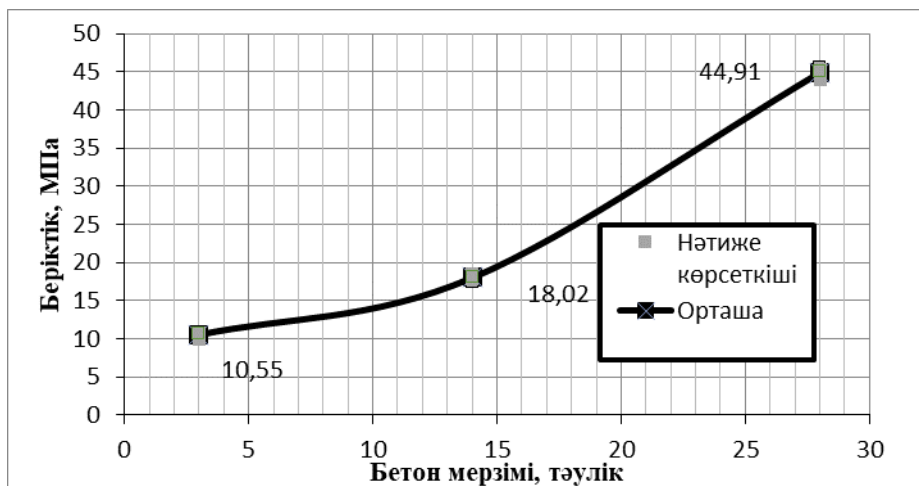


Сурет 2. а – қоспаны дайындау; ә – сынақ басталғанға дейін; б – сынақ аяқталғаннан кейін

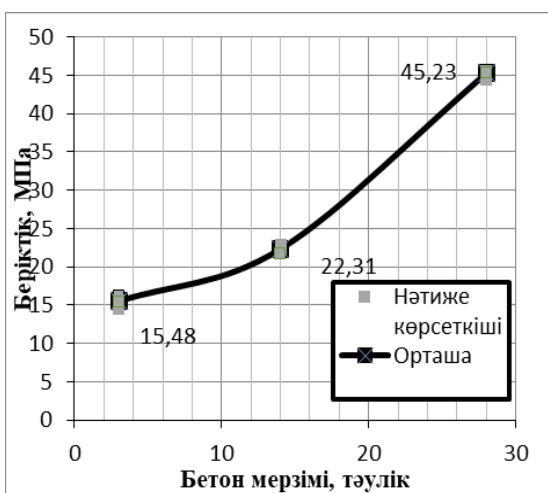
3, 14 және 28 тәулік бойы қалыпты қатаюдан кейін Automatic Pilot 500kN пресінде сығылуға беріктік шегі анықталды (2 (ә, б) – сурет).

### Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

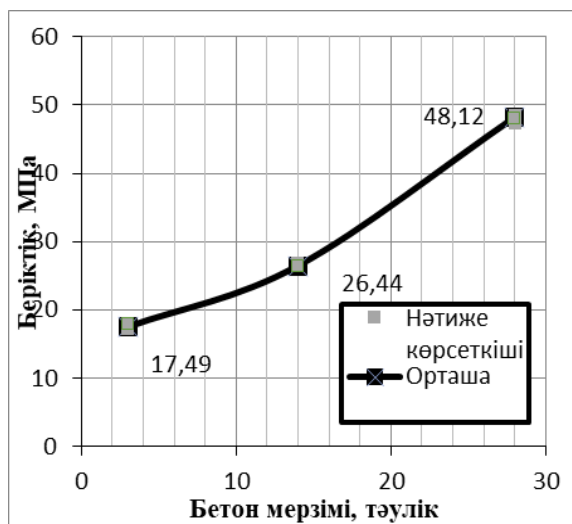
Полипропилен талшығын қосылған бетон үлгілерінің сығылуға беріктігін сынау нәтижелері 4-7- суреттерде көрсетілген. 3 – суретте 3, 14 және 28 тәуліктегі талшықсыз ұсақ түйіршікті бетонның сығылуға беріктік шегі көрсетілген. Әр үлгі түрінің 3 мәнінен орташа нәтиже көрсеткішінің мәні алынды. Диаграммаға сәйкес, 3 тәуліктегі орташа мәнінің нәтиже көрсеткіші 10,15 МПа, 14 тәуліктегі орташа мәнінің нәтиже көрсеткіші 18,02 МПа, 28 тәуліктегі орташа мәнінің нәтиже көрсеткіші 44,91 МПа көрсетеді.



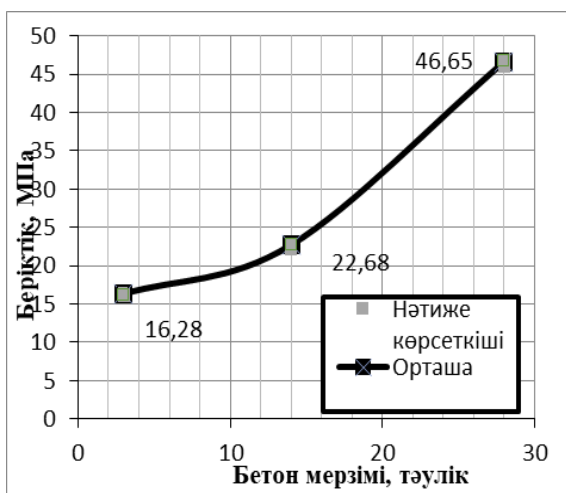
Сурет 3. бақылау үлгісі



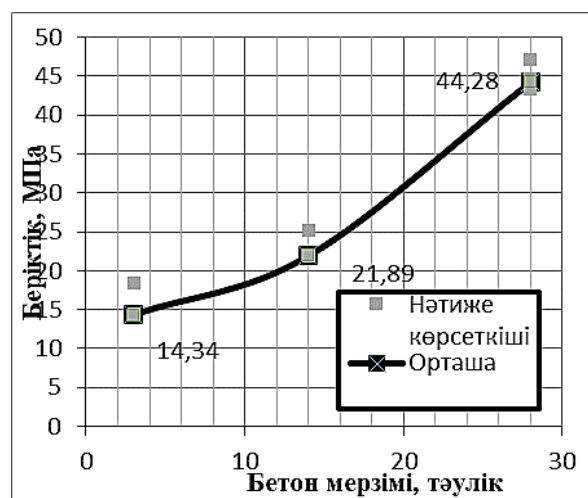
Сурет 4. 0,1 % полипропилен талшығымен



Сурет 5. 0,5 % полипропилен талшығымен



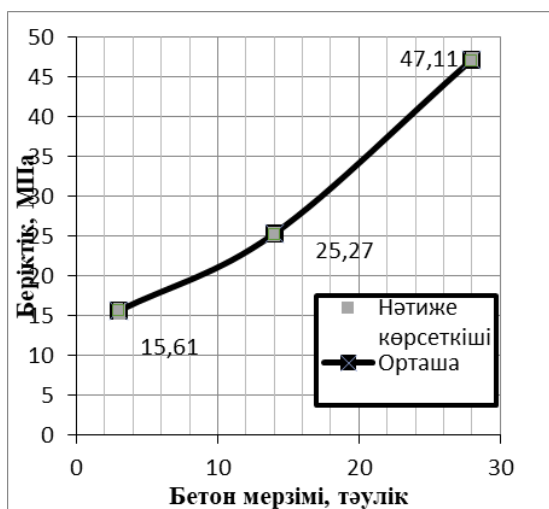
Сурет 6. 1,5 % полипропилен талшығымен



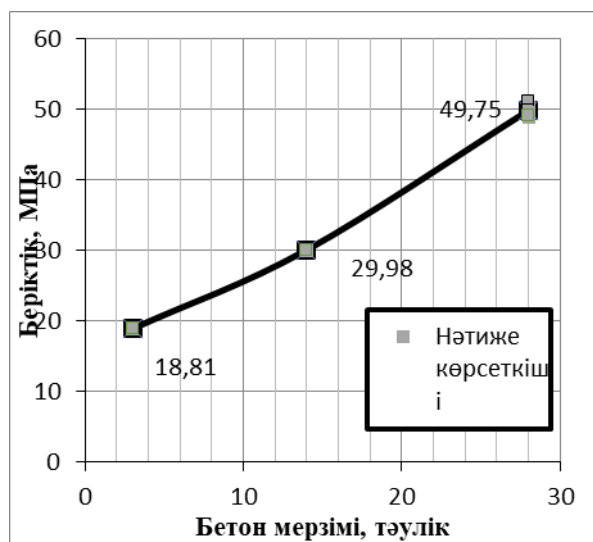
Сурет 7. 2,5 % полипропилен талшығымен



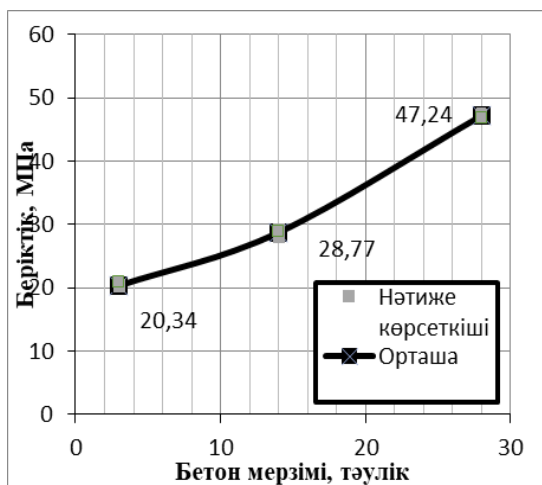
Жоғарыдағы диаграммаға сәйкес, 28 тәуліктегі бақылау үлгісімен салыстырғанда 0,1% полипропилен талшығын қосқан кезде (4 – сурет) сығылу беріктігінің 2,27% – ға шамалы ұлғаюы байқалады. 0,5% талшық қосылған кезде (5 – сурет) сығылу беріктігі 9,09 % артады. Ұсақ түйіршікті бетонға полипропилен талшықтарын цемент массасынан 1,5% енгізгенде (6 – сурет), нәтиже көрсеткіші цемент массасынан 0,5% полипропилен талшығын енгізгендегімен салыстырғанда 4,17% төмендегені байқалады. Ары қарай полипропилен талшығын цемент массасынан 2,5% қосқанда (7 – сурет), сығылуға беріктік шегі цемент массасынан 0,5% қосқан үлгі нәтижесіне қарағанда 8,3 % төмендейді. Нәтижелерге сәйкес бетондағы полипропилен талшығының оңтайлы құрамы цемент массасынан 0,5% талшықты енгізу болып табылады.



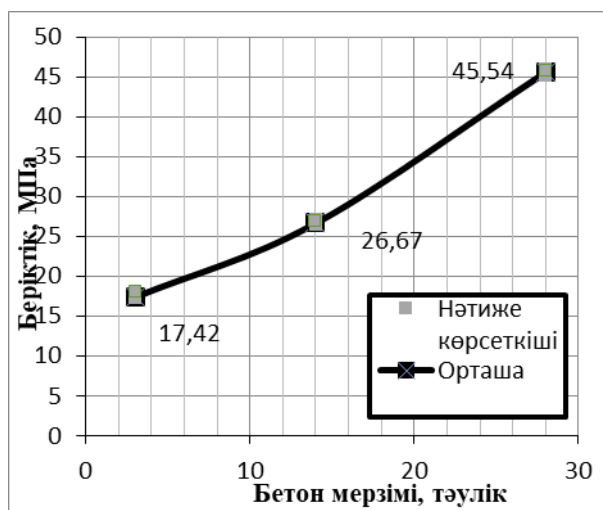
Сурет 8. 0,05 % базальт талшығымен



Сурет 9. 0,1 % базальт талшығымен



Сурет 10. 0,2 % базальт талшығымен



Сурет 11. 0,5 % базальт талшығымен

8 – суретте базальт талшығын цемент массасынан 0,05 % мөлшерде енгізген кезде, талшықсыз үлгі нәтижелерімен (3 – сурет) салыстырғанда сығылуға беріктік көрсеткіші 6,8 % артады, сәйкесінше 0,1 % мөлшерде (9 – сурет) 11,4 % артады. Ұсақ түйіршікті бетонға базальт талшықтарын цемент массасынан 0,2 % енгізгенде (10 – сурет), нәтиже көрсеткіші

талшықсыз бақылау үлгімен салыстырғанда 6,8 % жоғарлағаны байқалады. Ары қарай базальт талшығын цемент массасынан 0,5 % мөлшерде енгізген кезде (11 – сурет), нәтиже көрсеткішінің орташа мәндері басқа базальт талшығы қосылған үлгілерге қарағанда төмендегенін байқаймыз.

Басқа да авторлардың зерттеу жұмыстарының нәтижелерін салыстырмалы түрде талқылайтын болсақ, Чаохуа Цзян және Кефаль [12] 0,05%, 0,1%, 3% көлемдік үлесі бар базальт талшығының қосқан кезде қысу беріктігін 3,74%-дан 6,49%-ға дейін арттырғанын хабарлады. Ұсақ түйіршікті базальтты фибробетонды сынау нәтижелерін талдай отырып, цемент массасынан 0,1 %-ын ұсақ түйіршікті бетон қоспасына базальт талшығын енгізудің оңтайлы шегі деп санауға болатындығын атап өткен жөн. Бұл жағдайда сығылу беріктігінің ең үлкен өсуі 11,4 % құрайды.

### Қорытынды

Сығылу кезінде ұсақ түйіршікті бетон үлгілерінің беріктігі талшықты қоспаны қолдануға байланысты. Цемент массасынан 0,5% қосқан кезде полипропилен талшығы қосылған бетон үлгілерінің сығылу беріктігінің 9,09 % – ға өсуі байқалады. Бұл ең тиімді мөлшері болып табылады, себебі полипропилен талшығының мөлшерін одан әрі артуы сығылу күшінің төмендеуіне әкеледі.

Осылайша, бетон қоспасына цемент массасынан 0,1 % мөлшерінде базальт талшығын ұсақ түйіршікті бетонға енгізу сығылу беріктігін 11,4 % арттыруға мүмкіндік береді. Базальт талшығын мөлшерден тыс енгізген кезде, ұсақ түйіршікті бетон қоспасының жылжымалылығын едәуір төмендетеді, борпылдақ және байланыспай қалады, бұл сығылу беріктігіне теріс әсер етеді.

### Әдебиеттер тізімі

1. Kamal M. M., Safan M. A., Etman Z. A., Kasem B. M. Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes. HBRC J. 10, 25–34 (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.05.012>
2. Nurbayeva MN Influence of Fiber on the Strength Characteristics of Fine-Grained Concrete. docx. // Proceedings of 2021 4th International Conference on Civil Engineering and Architecture: Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Singapore, 2022. [doi.org/10.1007/978-981-16-6932-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6932-3_13)
3. Pothisiri T., Soklin C. Effects of Mixing Sequence of Polypropylene Fibers on Spalling Resistance of Normal Strength Concrete. Eng. J. 18, 55–64 (2014). <https://doi.org/10.4186/ej.2014.18.3.55>.
4. Karimipour A., Ghalehnovi M., de Brito J., Attari M. Retraction notice to “The effect of polypropylene fibres on the compressive strength, impact and heat resistance of self-compacting concrete” [Struct. 25C (2020) 72–87]. Structures 44, 1797 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.022>
5. Okolnikova G. E., Kunno Y., Gazizova S. A. Kurbanmagomedov A. K. Usability of basalt fibers in reinforced concrete. (2019).
6. Denisiewicz A., Socha T., Kula K., Pasula M. Influence of Steel and Polypropylene Fibers Addition on Selected Properties of Fine-Grained Concrete. Civ. Environ. Eng. Rep. 28, 138–148 (2018) <https://doi.org/10.2478/ceer-2018-0057>.
7. Aisheh Y. I. A., Atrushi D. S., Akeed M. H., Qaidi S., Tayeh B. A. Influence of polypropylene and steel fibers on the mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced geopolymer concrete. Case Stud. Constr. Mater. 17, e01234 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01234>.
8. Ruslan I., Ruslan B., Evgenij K. The effect of metal and polypropylene fiber on technological and physical mechanical properties of activated cement compositions. Case Stud. Constr. Mater. 16, e00882 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00882>
9. Zhenshan Wang, Kai Zhao, Zhe Li, Hui Ma. Experimental study on durability and mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete under sodium sulfate erosion. Chem. Eng. Trans. 62, 961–966 (2017) <https://doi.org/10.3303/CET1762161>.

10. Su Q., Xu J. The Effect of Basalt Fiber on Concrete Performance under a Sulfate Attack Environment. *J. Renew. Mater.* 11, 233–244 (2023) <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.020573>.
11. Kosior-Kazberuk M. Krassowska J. Post-cracking behaviour of basalt fibre reinforced concrete. (2015).
12. Jiang C., Fan K., Wu F., Chen D. Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *Mater. Des.* 58, 187–193 (2014) <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.056>.

**М.Н. Нурбаева, Л.Б. Аруова, Р.Е. Лукпанов**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

### **Оценка влияния фиброволокон на прочностные характеристики бетона**

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования различных фибр на влияние прочностных характеристик мелкозернистого бетона. Даны основные характеристики видов волокон, используемые для изготовления фибробетона. Приведены результаты лабораторных исследований полипропиленовой и базальтовой фибры для дисперсного армирования бетонов. Для оценки изменений прочности были изготовлены образцы и испытаны на сжатие в возрасте 3, 14 и 28 суток нормально-влажностного твердения. Даны результаты определения предела прочности при сжатии мелкозернистого фибробетона без добавления фибры (контрольный состав) и с добавлением полипропиленовой фибры 0,1, 0,5, 1,5, 2,5% от массы цемента и базальтовой 0,05, 0,1, 0,2, 0,5% от массы цемента. Показано, что самыми оптимальными пределами введения полипропиленовой фибры в смесь могут считаться 0,5 % от массы цемента, что приводит к приросту прочности при сжатии до 9,09 % по сравнению с контрольным составом. Введение в бетонную смесь мелкозернистого бетона базальтовой фибры в количестве 0,1% от массы цемента позволяет повысить прочность на сжатие на 11,4 %.

**Ключевые слова:** фибробетон, полипропиленовая фибра, базальтовая фибра, прочность, смесь.

**M. Nurbayeva, L. Aruova, R. Lukpanov**

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

### **Evaluation of the effect of fibers on the strength characteristics of concrete**

**Abstract:** The article presents the results of research of different fibers on the effect of strength characteristics of fine-grained concrete. The basic characteristics of the types of fibers used for the manufacture of fiber concrete are given. The results of laboratory research of polypropylene and basalt fibers for dispersion reinforcement of concrete are given. To estimate the strength changes the samples were made and tested in compression at the age of 3, 14 and 28 days of normal-moist hardening. The results of determining the compressive strength of fine-grained fiber concrete without adding fiber (control composition) and with the addition of polypropylene fiber 0.1, 0.5, 1.5, 2.5% of the mass of cement and basalt fiber 0.05, 0.1, 0.2, 0.5% of the mass of cement are given. It is shown that the most optimal limits of the introduction of polypropylene fiber in the mixture can be considered 0.5% of the weight of cement, which leads to an increase in compressive strength up to 9.09%, compared with the control composition. The introduction of basalt fiber in the mixture of fine-grained concrete in an amount of 0.1% of the weight of cement can increase the compressive strength by 11.4%.

**Key words:** fiber concrete, polypropylene fiber, basalt fiber, strength, mixture.



## References

1. Kamal M. M., Safan M. A., Etman Z. A., Kasem B. M. Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes. HBRC J. 10, 25–34 (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.05.012>
2. Nurbayeva M.N. Influence of Fiber on the Strength Characteristics of Fine-Grained Concrete. docx. // Proceedings of 2021 4th International Conference on Civil Engineering and Architecture: Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Singapore, 2022. doi.org/10.1007/978-981-16-6932-3\_13
3. Pothisiri T., Soklin C. Effects of Mixing Sequence of Polypropylene Fibers on Spalling Resistance of Normal Strength Concrete. Eng. J. 18, 55–64 (2014). <https://doi.org/10.4186/ej.2014.18.3.55>.
4. Karimipour A., Ghalehnovi M., de Brito J., Attari M. Retraction notice to “The effect of polypropylene fibres on the compressive strength, impact and heat resistance of self-compacting concrete” [Struct. 25C (2020) 72–87]. Structures 44, 1797 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.022>
5. Okolnikova G. E., Kunno Y., Gazizova S. A. Kurbanmagomedov A. K. Usability of basalt fibers in reinforced concrete. (2019).
6. Denisiewicz A., Socha T., Kula K., Pasula M. Influence of Steel and Polypropylene Fibers Addition on Selected Properties of Fine-Grained Concrete. Civ. Environ. Eng. Rep. 28, 138–148 (2018) <https://doi.org/10.2478/ceer-2018-0057>.
7. Aisheh Y. I. A., Atrushi D. S., Akeed M. H., Qaidi S., Tayeh B. A. Influence of polypropylene and steel fibers on the mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced geopolymer concrete. Case Stud. Constr. Mater. 17, e01234 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01234>.
8. Ruslan I., Ruslan B., Evgenij K. The effect of metal and polypropylene fiber on technological and physical mechanical properties of activated cement compositions. Case Stud. Constr. Mater. 16, e00882 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00882>
9. Zhenshan Wang, Kai Zhao, Zhe Li, Hui Ma. Experimental study on durability and mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete under sodium sulfate erosion. Chem. Eng. Trans. 62, 961–966 (2017) <https://doi.org/10.3303/CET1762161>.
10. Su Q., Xu J. The Effect of Basalt Fiber on Concrete Performance under a Sulfate Attack Environment. J. Renew. Mater. 11, 233–244 (2023) <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.020573>.
11. Kosior-Kazberuk M. Krassowska J. Post-cracking behaviour of basalt fibre reinforced concrete. (2015).
12. Jiang C., Fan K., Wu F., Chen D. Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. Mater. Des. 58, 187–193 (2014) <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.056>.

### Авторлар туралы мәлімет:

**М.Н. Нұрбаева** – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Л.Б. Аруова** – т.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Р.Е. Лукпанов** – PhD, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**М.Н. Нұрбаева** – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**Л.Б. Аруова** – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**Р.Е. Лукпанов** – PhD, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**M. Nurbayeva** – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

**L. Aруова** – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

**R. Лукпанов** – PhD, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.