

FTAMP 67.09.91

Ж.Е. Ескермесов¹ – негізгі автор, | ©
У.Б. Абдикерова², Ж.Н. Тұрсынбек³

^{1,2}PhD, ³Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-6464-2748> ²<https://orcid.org/0000-0002-1630-6229>³<https://orcid.org/0009-0007-3185-6580>^{1,3}Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,
Тараз, Қазақстан²Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

@

¹z.yeskermesov@kaznuvhi.edu.kz<https://doi.org/10.55956/ORIS3331>

3D БАСЫП ШЫҒАРУ ҮШІН РЕЗИНОБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫН ІРІКТЕУ

Аңдатпа. Мақалада пайдаланылған шиналардан алынған резеңке үгіндісін ұсақ толтырғыштың орнына қолдану арқылы өндірілген резеңкебетонның механикалық қасиеттерін анықтау бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері келтірілген. Өртүрлі мөлшердегі резеңке үгіндісі бар резеңкебетонның созылу беріктігі, иілу беріктігі, сонымен қатар үгінді өлшемі мен алдын ала өңдеу тәсілдерінің әсері жан-жақты қарастырылды. Резеңке үгіндісінің бетон беріктігіне әсер ету механизмдері талданды. Алынған нәтижелер айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті; атап айтқанда, резеңке мөлшері 0,0%-дан 20,0%-ға дейін артқанда, резеңке үгіндісі бар бетонның қысу беріктігі тиісінше 26,45 МПа-дан 14,8 МПа төмендеді. Сондай-ақ, зерттеу барысында резеңке үгіндісінің енгізілуіне байланысты бетон қуыстарының құрылымындағы өзгерістер оның механикалық қасиеттеріне елеулі әсер ететіні анықталды. Бұл жұмыс резеңкебетонды аналитикалық тұрғыдан бағалаудағы айтарлықтай олқылықтың орнын толтырып, оны орнықты құрылыс тәжірибесінде қолдануды ілгерілетуге жол ашады.

Тірек сөздер: резеңкебетон, беріктік, әсер ету механизмі, бетон, механикалық қасиет.



Ескермесов, Ж.Е. 3D басып шығару үшін резинобетон қоспаларының құрамын іріктеу [Мәтін] / Ж.Е. Ескермесов, У.Б. Абдикерова, Ж.Н. Тұрсынбек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.268-274. <https://doi.org/10.55956/ORIS3331>

Кіріспе. Соңғы жылдары көлік пен автомобиль саласының қарқынды дамуы экологиялық мәселелерді ушықтырғаны белгілі, бұған ең алдымен миллиардтаған тозған шиналардың жиналуы себеп болып отыр [1,2]. Бұл мәселені шешудің бір тиімді жолы – тозған шиналарды қажетті бөлшек өлшеміне дейін қайта өңдеп, олардан резеңкебетон өндіру [3,4]. Мұндай тәсіл тек шиналарды қайта пайдалануға мүмкіндік беріп қана қоймай, сонымен қатар резеңкебетонның беріктік теориясы мен практикалық инженерлік қолданылуына қатысты білім қорын толықтырады [5-7].

Резеңке үгіндісі қосылған резеңкебетонды алғаш қолдану жол жабындарын [8], көпір төсемдерін [9] және су шаруашылығы нысандарын

(мысалы, Қытайдың Хэнань провинциясындағы Хэкоу және Цяньпин су қоймалары) салуда айтарлықтай артықшылықтарды көрсетті. Оған беріктіктің артуы, жарықшаға төзімділік және динамикалық жүктемелерге шыдамдылық сияқты қасиеттер жатады [10]. Бұл резеңкебетонды бетондау жобаларында баламалы материал ретінде қолдануға болатынын дәлелдейді.

Резеңке үгіндісімен араластырылған бетон құрам мен өлшемдер дұрыс оңтайландырылған жағдайда эталондық бетонға қарағанда жоғары беріктікке, жарықшаға төзімділікке, ұзақмерзімділікке және динамикалық жүктемелерге шыдамдылыққа ие екендігі анықталған [11]. Бетонның кеуектік жүйесінің сипаттамалары резеңке бөлшектерінің өлшемі, мөлшері және араластыру әдістеріне байланысты өзгеріске ұшырайды [12].

Қазіргі зерттеулерде ұсынылған резеңкебетонның болжамдық моделі мен f_{cu} төмендету коэффициенті [13] оны одан әрі зерттеу, жобалау және қолдануға маңызды негіз береді. Дегенмен бұл модельдерді әмбебап пайдалану мәселесі құрам, бөлшек өлшемі және алдын ала өңдеу әдістері сияқты факторлармен шектеледі. Сондықтан әртүрлі беріктіктер арасындағы сандық қатынастарды дәлірек анықтап, қанағаттанарлық модельдер әзірлеу үшін қосымша зерттеулер жүргізу аса маңызды.

Созылу беріктігі (f_t), иілу беріктігі (f_f) және серпімділік модулі (E_c) арасындағы ішкі байланысты анықтап, резеңкебетон беріктігін бағалауға эталондық бетон, ауа енгізгіш қоспасы бар бетон және алдын ала өңдеу әдістері әртүрлі резеңке үгінділері қосылған 39 түрлі резеңкебетон қоспасы дайындалды. Осы қоспалардың f_t , f_f және E_c көрсеткіштері бағаланып, резеңке мөлшері, бөлшек өлшемдері және алдын ала өңдеу әдістерінің әсері ескеріліп талданды.

Зерттеудің мақсаты – резеңкебетонның физикалық-механикалық сипаттамаларының резеңке мөлшеріне тәуелділігін, сондай-ақ домна шлағы мен микрокремнеземді шикізат ретінде қолданудың ықпалын анықтау.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Резеңкебетон үлгілерін жасау үшін мынадай шикізат материалдары және құрамдас бөліктер пайдаланылды:

1. Сульфатқа төзімді портландцемент (Ц): СССЕМ I 32,5Н (С₃А <3,5%), «Жамбыл-Цемент» зауыты, Тараз қ. (1-кесте);
2. Домна шлағы (ДШ) ТОО Alan Profit, Қарағанды қ.;
3. Құм (К): майда түйіршікті, фракциясы 0,315 мм;
4. Микрокремнезем (МК) «Тау-Кен Темір» ЖШС, Қарағанды қ.;
5. Суперпластификатор (SR226): Sika ViscoCrete® 226;
6. Резеңке үгіндісі (РҮ), фракциясы 0,1-1 мм.

Кесте 1

Қолданылған цементтердің минералогиялық құрамы

Цемент түрі	Минералогиялық құрамы, %				Сілтілік мөлшері, %
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	R ₂ O
ССПЦ400 DO (СС СЕМ I 32,5 Н)	52,82	22,71	3,33	14,62	0,83

Толтырғыштар:

Домна шлағы (ДШ) – металлургия өнеркәсібінің қосалқы өнімі, майда толтырғыш ретінде пайдаланылды. Оның гидравликалық белсенділігі бар және ол беріктіктің артуына ықпал етеді.

Оның химиялық-физикалық сипаттамалары 2-кестеде берілген. Толтырғыштардың физикалық-механикалық сипаттамалары ГОСТ 8735, ГОСТ 26633, ГОСТ 8267, ГОСТ 8736 талаптарына сәйкес келеді.

Кесте 2

Домна шлагының қасиеттері

Көрсеткіш	Домендік шлақы
Химиялық құрамы, %	
SiO ₂	36,3
Al ₂ O ₃	12,6
Fe ₂ O ₃	3,4
SO ₃	5,7
K ₂ O	0,4
Na ₂ O	0,3
CaO	40,1
P ₂ O ₅	–
Қыздыру кезіндегі массаның жоғалуы, %	1,2
Арнайы беткей ауданы, см ² /г	0,37
Шынайы тығыздығы, г/см ³	2,92
Көлемдік тығыздығы, кг/м ³	1550
Су қажеттілігі, массаның %	145

Микрокремнезем (МК) – бетон мен цементке қоспа ретінде қолданылатын жоғары белсенді минералдық қоспа, ол жоғары маркалы, коррозияға төзімді бетондар алуға мүмкіндік береді, ГОСТ Р 56178-2014 талабына сай келеді.

Микрокремнезем – кремнийлі қорытпалар өндірісіндегі пеш газдарын тазалау барысында алынатын, сфера пішінді бөлшектерден тұратын ультра-дисперсті материал. Оның сипаттамалары 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

Микрокремнеземнің химиялық-физикалық сипаттамалары

№	Көрсеткіш	Массалық үлесі, %
1	Натрий	Na ₂ O 0,25
2	Кремний	SiO ₂ 95,35
3	Калий	K ₂ O 0,61
4	Кальций	CaO 0,65
5	Жалпы күкірт	SO ₃ 0,20
6	Қыздыру кезіндегі массаның жоғалуы (1000°C)	ппп 2,13

Sika® ViscoCrete®-226 – поликарбонат негізіндегі жоғары тиімді суперпластификатор, құрғақ құрылыс қоспалары мен бетондар өндіруге арналған.

Су – ГОСТ 23732-2011 стандартына сәйкес пайдаланылды.

Қоспаларды дайындау әдістемесі. Зерттеу өлшемдері 100×100×100 мм бетон текше үлгілерінде және 40×40×160 мм балка үлгілерінде жүргізілді. Олар ГОСТ 10180-2012 талаптарына сай дайындалды (4-кесте). Зерттеудің бірінші кезеңінде бетон үлгілері дайындалды, ал екінші кезеңінде олардың физикалық-механикалық қасиеттері анықталды.

Үлгілерді дайындау әдістемесі келесідей болды: алдымен барлық құрғақ ұнтақ дисперсті материалдар араластырылды, кейін алынған қоспаға сұйылтылған қоспалар (пластификаторлар) ерітіндісі бар су қосылды. Қоспа

мұқият араластырылып, әр үлгі қалыптарға құйылып, бетон элементтері дайындалды.

Дайын бұйымдар қалыптан алынып, 7 және 28 тәуліктен кейін беріктікке сынақтан өткізілді.

Кесте 4

Құрамдық пропорциялар (цемент массасына қатысты)

Компонент	ДШ/Ц	МК	SR226/Ц	С/Ц
Мәні	0,29	0,218	0,0005	0,5

Тәжірибеде әртүрлі мөлшердегі резеңке ұнтағы бар бес композиция қолданылды: цемент массасының 0%, 0,5%, 10%, 15% және 20%. Толық мәліметтер 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Бетон қоспаларының құрамы (кг/м³)

Құрам	РҮ	Ц	ДШ	МК	Қ	SR226
№1	0	800	225	175	762	4
№2	5%-38,1	800	225	175	573,9	4
№3	10%-76,2	800	225	175	539,8	4
№4	15%-114,3	800	225	175	497,7	4
№5	20%-152,4	800	225	175	459,6	4

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Дайындалған үлгілерді пайдаланып жүргізілген сынақ жұмыстарының нәтижесінде мынадай көрсеткіштер алынды:

– әрбір құрам үшін Вика аспабымен ине арқылы қату уақыты (ГОСТ 30744-2001);

– конустың батуымен анықталатын қозғалымдылық (ГОСТ 5802-86);

– 7 және 28 тәуліктегі қысу беріктігі (ГОСТ 30744-2001);

– 7 және 28 тәуліктегі иілу беріктігі (ГОСТ 30744-2001).

Сынақ жұмыстарының нәтижелері 6-кестеде келтірілген.

Кесте 6

Сынақ нәтижелері

№	%	7 тәулік беріктігі, МПа		28 тәулік беріктігі, МПа		Қозғалымдылық (мм)
		иілу	қысу	иілу	қысу	
1	0%	1,79	16,6	2,69	28,87	6,2
2	5%	1,34	19,01	2,01	28,22	6,5
3	10%	1,66	13,1	2,10	26,451	6,3
4	15%	1,78	10,22	3,07	15,08	5,6
5	20%	1,21	7,1	1,83	14,8	5,8

Иілу беріктігі резеңке ұнтағын қосқанда 7 тәулік кезінде:

– 5% кезінде иілу беріктігі төмендейді (1,34 МПа);

– 10% және 15% қосқанда – қайтадан өседі;

– 20% кезінде – ең төмен мән байқалады (1,21 МПа);

28 тәулік:

– Иілу беріктігі 15% резеңке үгіндісінде ең жоғары (3,07 МПа). Бұл резеңкенің серпімділігі арқасында иілуге қарсы тұру қабілеті жақсарғанын көрсетеді.

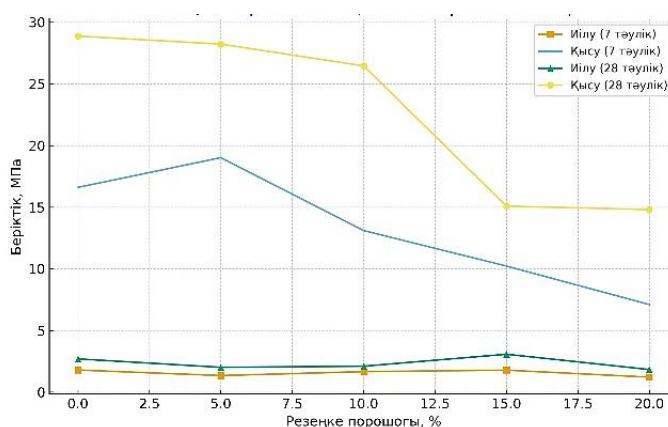
– 20% мөлшерінде көрсеткіш қайтадан төмендейді.
Қысу беріктігі 7 тәулік кезінде:

- 5% резеңкеде қысу беріктігі ең жоғары (19,01 МПа).
- 10-20% аралығында резеңке көбейген сайын қысу беріктігі айқын төмендейді.

28 тәулік:

- Базалық бетон (0%) ең жоғары – 28,87 МПа.
- 5% резеңкеде айырмашылық аса үлкен емес (28,22 МПа).
- 10%, 15%, 20% резеңке мөлшерінен кейін қысу беріктігі айтарлықтай төмендейді (26,45 → 15,08 → 14,8 МПа).

Эксперимент нәтижесінде резеңке үгіндісінің мөлшерін өзгерту резеңкебетонның сипаттамаларына, әсіресе оның кеуектілік құрылымына, тығыздығына және механикалық беріктігіне айтарлықтай әсер ететіні анықталды (1-сурет).



Сурет 1. Резеңке үгіндісінің бетон беріктігіне әсері

Резеңке мөлшері артқан сайын үлгілердің тығыздығы төмендеу үрдісі байқалды. 5-10% резеңке үгіндісі қосылған жағдайда беріктіктің оңтайлы деңгейі байқалды. Ал резеңкенің мөлшері одан әрі артқан сайын беріктік күрт төмендеп, цемент матрицасының байланысы нашарлайтыны және макрокеуектер санының артатыны анықталды.

Қорытынды. Алынған деректерді талдау келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік берді:

1) Резеңке үгіндісінің мөлшерін арттыру резеңкебетон қоспасының құрылымы мен қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. №2 құрам 3D басып шығаруға қажетті барлық сипаттамаларға ие: 28 тәуліктен кейін қысу мен иілу беріктігі жоғары, қозғалымдылық пен салыстырмалы тығыздығы нормаларға сәйкес, қату уақыты да қабаттап төсеу технологиясына мүмкіндік береді.

2) Иілу беріктігі бойынша резеңке үгіндісінің оң әсері бар, бірақ оның тиімді мөлшері шамамен 10-15%. Резеңке үгіндісі қысу беріктігін төмендетеді. Тиімді минималды көлем – 5%, одан жоғары мөлшерде беріктік күрт нашарлайды.

3) Бетон қоспасының оңтайлы құрамы анықталды. Ұсынылған эксперименттік бетон қоспасы құрылыс саласындағы 3D басып шығаруда

қолдануға жарамды. Алынған нәтижелер құрамы келесі зерттеулерде қолданылатын болады.

4) Бұл шешім металлургия өнеркәсібінің қалдықтарын қайта өңдеу мәселесін шешіп, өңірдің экологиялық жағдайына оң әсер етуге ықпал жасайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Pan L., Hao H., Cui J., Pham T.M. Numerical study on dynamic properties of rubberised concrete with different rubber contents // Def. Technol. – 2022. – Vol. 24. – P. 228-240.
2. Rincon L., Coma J., Perez G., Castell A., Boer D., Cabeza L.F. Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative life cycle assessment // Build. Environ. – 2014. – Vol. 74. – P. 22-30.
3. Youssf O., Swilam A., Tahwia A.M. Performance of crumb rubber concrete made with high contents of heat pre-treated rubber and magnetized water // J. Mater. Res. Technol. – 2023. – Vol. 23. – P. 2160-2176.
4. Yadav S., Tiwari S. The impact of end-of-life tires on the mechanical properties of fine-grained soil: a review // Environ. Dev. Sustain. – 2019. – Vol. 21, No. 2. – P. 485-568.
5. Liu Y., Zhou R., Fireha A., Chen H., Wang W., Wang J. Numerical assessment of impact resistance of rubberized metacore concrete with the modified K&C model // J. Build. Eng. – 2025. – Vol. 101. – P. 111866.
6. Han X., Zhou S., Chen A., Feng L., Ji Y., Wang Z., Sun S., Li K., Xia X., Zhang Q. Analytical evaluation of stress-strain behavior of rubberized concrete incorporating waste tire crumb rubber // J. Clean. Prod. – 2024. – Vol. 450. – P. 141963.
7. Qaidi S.M.A., Dinkha Y.Z., Haido J.H., Ali M.H., Tayeh B.A. Engineering properties of sustainable green concrete incorporating eco-friendly aggregate of crumb rubber: a review // J. Clean. Prod. – 2021. – Vol. 324. – P. 129251.
8. Zhou W., Lu C., Yu Z., Mo J. Mechanical properties and pore structure characterization of crumb rubber concrete using equal size replacement method // J. Build. Eng. – 2025. – Vol. 102. – P. 112026.
9. Alasaif A., Albidah A. Production of rubberized concrete utilizing reclaimed asphalt pavement aggregates and recycled tire steel fibers // Structures. – 2024. – Vol. 68. – P. 107174.
10. Lashari A.R., Ali Y., Buller A.S., Memon N.A. Effects of partial replacement of fine aggregates with crumb rubber on skid resistance and mechanical properties of cement concrete pavements // Int. J. Pavement Eng. – 2022. – Vol. 24, No. 2. – P. 2077940.
11. Sun S., Han X., Chen A., Zhang Q., Wang Z., Li K. Experimental analysis and evaluation of the compressive strength of rubberized concrete during freeze-thaw cycles // Int. J. Concr. Struct. M. – 2023. – Vol. 17. – P. 28.
12. Dong J., Liu Y., Yuan S., Li K., Zhang F., Guan Z., Chai H., Wang Q. Mechanical behavior and impact resistance of rubberized concrete enhanced by basalt fiber-epoxy resin composite // Constr. Build. Mater. – 2024. – Vol. 435. – P. 136836
13. Alizadeh M., Eftekhari M.R., Asadi P., Mostofinejad D. Enhancing the mechanical properties of crumb rubber concrete through polypropylene mixing via a pre-mixing technique // Case Stud. Constr. Mat. – 2024. – Vol. 21. – P. e03569.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған АР25795451 «Металлургия өнеркәсібі мен шиналар қалдықтарын қосу арқылы 3D-принтерде құйылған бетонның механикалық қасиеттерін зерттеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 08.10.25 түсті, 10.12.25 қабылданды.

Ж.Е. Ескермесов¹, У.Б. Абдикерова², Ж.Н. Тұрсынбек¹

¹Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации,
Тараз, Казахстан

²Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

ПОДБОР СОСТАВОВ СМЕСЕЙ ИЗ РЕЗИНОБЕТОНА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

Аннотация. В статье представлены результаты определения механических свойств резинобетона, полученного с использованием резиновой крошки из изношенных шин вместо мелкого заполнителя. Исследована прочность на растяжение и изгиб резинобетона с различным количеством резиновой крошки. Рассмотрены механизмы влияния резиновой крошки на прочность бетона. Результаты показали существенные различия: при увеличении содержания резины от 0,0% до 20,0% прочность на сжатие бетона с резиновой крошкой снизилась с 26,45 МПа до 14,8 МПа соответственно. Выявлено также, что изменения в структуре пустот бетона из-за введения резиновой крошки существенно влияют на его механические свойства. Результаты работы заполняют существенный пробел в аналитической оценке резинобетона, способствуя его использованию в практике устойчивого строительства.

Ключевые слова: резинобетон, сила, механизм воздействия, бетон, прочность.

Zh.E.Yeskermessov¹, U.B. Abdikerova², Zh.N. Tursynbek¹

¹Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

²Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

SELECTION OF RUBBER CONCRETE MIXES FOR 3D PRINTING

Abstract. This article presents the results of determining the mechanical properties of rubber concrete produced using crumb rubber from waste tires instead of fine aggregate. The tensile and flexural strength of rubber concrete with different amounts of crumb rubber were investigated. The mechanisms of crumb rubber influence on concrete strength were analyzed. The results showed significant differences: with an increase in rubber content from 0.0% to 20.0%, the compressive strength of rubber concrete decreased from 26.45 MPa to 14.8 MPa, respectively. It was also found that changes in the concrete void structure due to the introduction of crumb rubber significantly affect its mechanical properties. The results of this study fill an important gap in the analytical evaluation of rubber concrete, contributing to its application in sustainable construction practices.

Keywords: rubber concrete, force, mechanism of action, concrete, strength.