

FTAMP 67.09.31

А.А. Сағындықов¹ – негізгі автор, | ©
Б.А. Карымсаков², Д.Ф. Әшір³



¹Техн. ғылым. д-ры, профессор, ²Магистр, аға оқытушы, ³Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-1812-5739> ²<https://orcid.org/0000-0002-9617-3066>

³<https://orcid.org/0009-0001-1015-7402>



^{1,3}Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,



Тараз, Қазақстан



¹aa.sagyndykov@dulatu.kz

<https://doi.org/10.55956/JCRN8635>

КОМПЛЕКСТІ ОРГАНО-МИНЕРАЛДЫ ҚОСПАНЫҢ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ ФИЗИКА- МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Мақалада АСІ 211.4R-2008 стандарты бойынша алдын ала құрамы анықталған, гидротехникалық құрылыстарды салуда қолдануға болатын бетонның қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сонымен қатар ЖЭС-тің ұшпа күлі (ЗУ), SF-90 микрокремнеземі (МК90), метакаолин және SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификаторынан (СП) тұратын әзірленген кешенді орғано-минералды модифицирлеуші қоспаны қолданудың гидротехникалық бетонның қасиеттерінің өзгеруіне әсері зерттелді.

Тірек сөздер: микрокремнезем, метакаолин, поликарбоксилатты суперпластификатор, күл, цемент, гидротехникалық бетон, беріктік, су өткізбеушілік.



Сағындықов, А.А. Комплекссті орғано-минералды қоспаның гидротехникалық бетондардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері [Мәтін] / А.А. Сағындықов, Б.А. Карымсаков, Д.Ф. Әшір // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.319-326. <https://doi.org/10.55956/JCRN8635>

Кіріспе. Коррозияға төзімді бетон, соның ішінде, гидротехникалық құрылыстарды салуда қолданылады, өйткені мұндай құрылыстар тұщы және тұзды агрессивті су ортасының әсеріне қажетті төзімділікке ие болуы тиіс [1-3]. Гидротехникалық құрылыстардың конструкциялары – көпірлердің бетон тіректері, су электр станцияларының бөгеттері, су қабылдау және су тастау туннельдерінің кіреберіс және шығаберіс порталдары, тіреу қабырғалары – жүйелі түрде ылғалдануға, айнымалы температуралардың әсеріне және гидроабразивтік тозуға ұшырайды.

Көп жағдайда гидротехникалық құрылыстардың бетон конструкцияларына әсер ететін сулар бетонға қатысты агрессивті болып табылады. Бұл ретте ең кең таралғаны – бетонда сыртқы сульфаттық коррозияның пайда болуына себеп болуы мүмкін агрессивті сульфатқұрамды орта [4-5]. Айта кету керек, толтырғыштардың ішкі сілтілік коррозиясы мен бетонның сыртқы сульфаттық коррозиясы бір мезгілде жүрген жағдайда, гидротехникалық құрылыстар конструкцияларындағы бетонның мерзімінен бұрын бұзылу қаупі мен тәуекелі едәуір артады.

[4-5] деректеріне сәйкес, бетонның сульфаттық агрессияға төзімділігі оның су өткізгіштігі мен тығыздығына тікелей байланысты.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Жоғары берікті бетонды дайындау үшін ПЦ400 Д0 маркалы портландцемент және SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификаторы (СП) қолданылды. Толтырғыш ретінде ірілігі модулі $M_K = 2,95$, нақты тығыздығы $2,65 \text{ г/см}^3$ және тығыздалған күйдегі орташа үйінді тығыздығы 1540 кг/м^3 болатын қиыршық тасты ұсату елеуіш өнімі (ОД), сондай-ақ $D_{max} = 20 \text{ мм}$, нақты тығыздығы $2,65 \text{ г/см}^3$ және тығыздалған күйдегі үйінді тығыздығы 1580 кг/м^3 болатын гранитті қиыршықтас (Ш) пайдаланылды.

Белсендімикроқоспалар (МН) ретінде Екібастұз МАЭС-інің қышқыл ұшпакүлі (ЗУ), микрокремнезем (МК) және Алексеев кен орнының термиялық өңдеуден өткен каолин – метакаолин (МКЛН) қолданылды, сондай-ақ жоғарыда аталған материалдардан тұратын екі түрлі композиция (қоспа) дайындалды, атапайтқанда: микрокремнезем мен күлден, метакаолин мен күлден тұратын, 55:45 арақатынасындағы қоспа.

Ұсақдисперсті материалдардың химиялық құрамы 1-кестеде, ал күлдің элементтік құрамы 2-кестеде келтірілген.

Кесте 1.

Ұсақдисперсті материалдардың химиялық құрамы

Шикізатқұрамы	Оксидтердің мөлшері, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	п.п.п
Цемент	21,5	4,4	5,3	58,6	1,9	1,7	0,5	0,5	6,9
Күл	54,1	23,9	5,9	1,1	1,2	1,8	1,1	3,2	5,1
МК	90,4	1,6	2,8	0,6	0,1	0,6	0,1	-	1,6
МКЛН	55,4	41,3	1,4	0,4	0,3	1,2	0,4	-	1,2

Кесте 2.

Күлдің элементтік құрамы

Шикізат	Массалық үлесі, %									
	O	Na	Al	Si	Ti	Mg	Ca	S	Fe	C
Күл	45,5	0,25	9,35	17,40	0,56	0,23	0,58	0,11	0,34	23,9

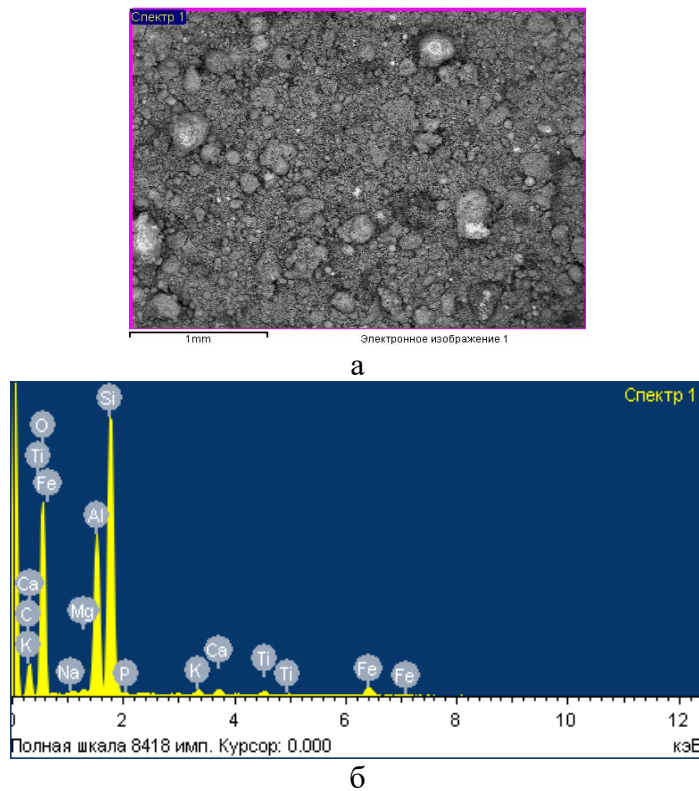
Көрсетілген 1 және 2-кестедегі мәліметтерге сәйкес, күлде байланыстырғыштардың қатуына қажетті кремний, алюминий, кальций, темір оксидтері сияқты қажетті оксидтер мен химиялық элементтер бар.

Жоғарыда аталған микроқоспалардың сипаттамалары 3-кестеде берілген. Ұшпа күлдің құрылымы мен элементтік құрамы 1-суретте көрсетілген. Ұсақталған күлдің микроструктурасы 2-суретте көрсетілген.

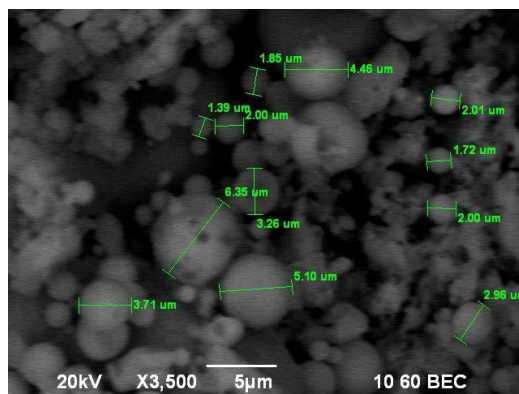
Кесте 3.

Микроқоспалардың физика-химиялық сипаттамалары

Микроқоспаның атауы	Сипаттамалары		
	$\rho, \text{ г/см}^3$	$S_{уд} \text{ м}^2/\text{г}$	$D_{ср} \text{ мкм}$
Ұшпакүл	2,20	0,3	75,0
Метакаолин	2,62	1,3	1,9
Микрокремнезем	2,64	0,3	84



Сурет 1. Ұшпа күлдің құрылымы (а) және элементтік құрамы (б), 1000 есе үлкейтілген



Сурет 2. Ұсақталған ұшпа күлдің микроструктурасы

2-суретте көрсеткендей, ұсақталған күлде 1,85-6,35 мкм аралығындағы бөлшектер бар, олар таралу және кату процестерін белсендіреді.

Микрокремнезем – ферросилиций өндірісінің қалдығы, бөлшектерінің өлшемі 0,01-2 мкм аралығында.

Метакаолин – каолин балшығын 650-700°C температурада күйдірудің нәтижесінде алынатын өнім.

Жоғары қозғалғыш бетон қоспасының алдын ала құрамын анықтау үшін стандартты әдістер қолданылды [5]:

– Бетон қоспасының қозғалғыштығын ГОСТ 10181-2014 бойынша конус шөгуі (ОК) арқылы, 100×200×300 мм стандартты конус көмегімен сантиметрде бағалады;

– Бетонның орташа тығыздығын 100×100×100 мм өлшемді кубтардан ГОСТ 12730.1-78 сәйкес анықтады;

– Бетонның сығылуға беріктігі осы кубтардан, ал иілуде керілу беріктігі 100×100×400 мм өлшемді призмалардан ГОСТ 10180-2012 талаптарына сай сынақтан өткізілді;

– Бетонның су өткізбейтіндік маркасын диаметрі 150 мм, биіктігі 150 мм цилиндрлік үлгілерде ГОСТ 12730.5-84 бойынша «мокро дак» әдісімен анықтады [3];

– Бетонның сұйық сульфатты ортадағы деформациясын ГОСТ Р 56687-2015 бойынша 25×25×254 мм үлгілерде анықтады [2].

Композициялық байланыстырғыш құрамын әзірлеу және цементтік жүйенің микроқоспалармен қанығу дәрежесін анықтау үшін микроқоспалар зертханалық шарлы мәнерде 20 және 30 минут ұнтақталды. Белгілі бір беткі ауданы ПСХ-12 құрылғысында анықталды.

Сынақ нәтижелері көрсетті, 20 минут ұнтақтаудан кейін беткі аудан – 5250 см²/г, ал 30 минутта – 5940 см²/г.

Бетон қоспасының алдын ала құрамын анықтау.

Жобаланған бетон мына қасиеттерге ие болуы тиіс:

– Стандартты конус шөгуі бойынша бетон қоспасының жақсы төселу қасиеті: ОК = 9-15 см;

– 28 күндік жастағы сығылуға беріктігі шамамен 50 МПа [4];

– Бетон қоспасында портландцементтің 30 % массасын ұшпа күлмен алмастыру мүмкіндігі [5,6];

– SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификатордың мөлшері — портландцементтің 1 % массасы [2,3];

– Су–байланыстырғыш қатынасы С/Байл = 0,35–0,4 [2];

– Қатысқан ауа көлемі – 2 % [4,5].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Микроқоспалар цемент композицияларының су сұранысын сәл арттырады, беріктігін көбейтеді, ал суды ұстап тұру қабілетін төмендетеді (4-кесте).

Кесте 4.

Түрлі микроқоспалары бар цемент матрицасының қасиеттері

№	Матрицаның құрамы	Матрицаның қасиеттері			
		S _{уд} м ² /г	Су тұтыну қабілеті, %	Суды ұстап тұру қабілеті, %	Беріктіктің өсу коэффициенті
1	Цемент 100%	0,3	25	13,8	1
2	Цемент+10% МКЛН	0,42	29,6	7,2	1,1
3	Цемент+10% ҰК	0,3	26	15,4	0,95
4	Цемент+10% МК	0,75	26,5	9,5	1,15
5	Цемент+10% (МК50%+ күл 50)	0,82	27	5,8	1,15
6	Цемент+10% (МКЛН50%+ күл 50)	0,8	26,5	6,4	1,15

Микрокремнеземнің, ұшпакүлдің және метакаолиннің цемент матрицасының қасиеттеріне әсерін зерттеу көрсеткендей, микроқоспаларды

цемент жүйесіне композиция (қоспа) түрінде енгізу оларды бөлек енгізуге қарағанда тиімдірек.

Атап айтқанда, ұшпақұл мен метакаолиннен тұратын кешенді цемент пастасы қажетті консистенцияны қамтамасыз ету үшін SR 5000F суперпластификаторының ең жоғары мөлшерін қажет етеді, ал кенейту композициясымен цемент пастасында SR 5000F ең аз мөлшерде қолданылады. SR 5000F суперпластификаторының цемент массасына қатысты оңтайлы мөлшері 1,3-1,8%, микроқоспа массасына қатысты – 10,2-14,1%.

Қиыршықтас бөлшектерінің оңтайлы арақатынасы: 60% – 5-10 мм фракция, 40% – 10-20 мм фракция; қоспалардың араласуында ұсатылған қиыршықтастың оңтайлы мөлшері 0,73.

Бетон қоспасының құрамын және қасиеттерін анықтау нәтижелері 5-кестеде берілген.

Кесте 5.

Бетондардың құрамы және қасиеттері

№	1 м ³ бетонға жұмсалатын материал мөлшері, кг						Конус шөгугі, см	Тығыздық, кг/м ³	Сығылуға беріктік, МПа
	ПЦ	МН	О	Щ	С	ОМҚ			
1	370	45	770	1050	180	-	5	2415	37,8
2	370	45	770	1050	178	5	9	2419	39,2
3	370	45	770	1050	176	7,5	11	2423	41,6
4	370	45	770	1050	176	10	13	2425	42,8
5	370	45	770	1050	178	5	10	2423	42,9
6	370	45	770	1050	176	7,5	12	2426	44,4
7	370	45	770	1050	176	10	14	2432	45,6

Ескерту: МН (ұлпа күл), ОМҚ (метакаолин-күл-СП).

Бетондардың №2, №3 және №4 құрамдарының қуысты құрылымына қатысты мәліметтері 6-кестеде берілген.

Кесте 6.

Бетондардың қуысты құрылымына қатысты мәліметтер

Құрамдар	Ауа мөлшерінің жалпы көлемі, %	Шартты жабық қуыстар көлемі, %	Шартты жабық қуыстардың параметрлері	
			Белгілі бір беткі ауданы, α	Қашықтық коэффициенті, L мм
Бақылау	9,1	8,1	24	0,14
Құрам №2	12,6	10,8	22	0,16
Құрам №3	14,8	11,9	21	0,18
Құрам №4	15,4	14,1	20	0,2

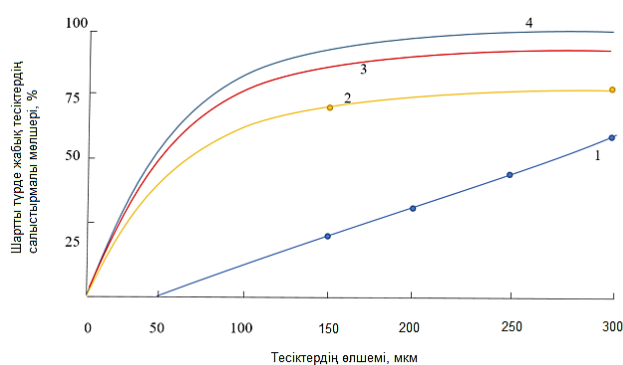
Су ұстап тұру қабілетін қамтамасыз ету және бетонның жоғары беріктігін қамтамасыз ету тұрғысынан ең тиімді композициялар мыналар болып табылады: МК құрамындағы – күл 50%, МК 45%, SR 5000F 5%; МКЛН құрамындағы – күл 50%, МКЛН 45%, SR 5000F 5%.

Ұшпа күлдің, микрокремнеземнің және метакаолиннің цемент матрицасының қасиеттеріне әсерін зерттеу көрсеткендей, микроқоспаларды цемент жүйесіне композиция (қоспа) түрінде енгізу оларды бөлек енгізуге қарағанда тиімдірек. Су ұстап тұру қабілеті мен бетонның жоғары беріктігі

тұрғысынан ең тиімді композициялар: метакаолин мен ұшпа күлдің 55:45 қатынасы; микрокремнезем мен ұшпа күлдің 55:45 қатынасы.

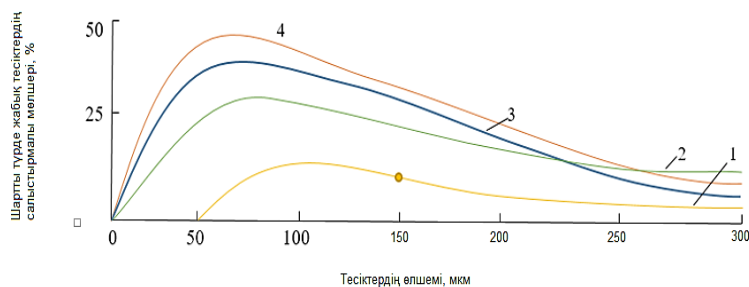
Жоғарыда аталған микроқоспа композициялары мен суперпластификаторды толтырғыштардың гранулометриялық құрамын оңтайландыру арқылы енгізу жоғары берікті бетондарының ($R_{сж} \geq 39$ МПа) алынуына мүмкіндік береді.

Қуысты порлардың үлестірім қисықтарындағы өзгерістер (3 және 4-суреттер) ұсақ порлардың үлесінің артуын көрсетеді. Қоспаны қолдану нәтижесінде қатқан цемент тасындағы қуыстардың және микрокомпоненттердің көлемі азаяды. Диаметрі 200 мкм қуыстардың көлемі жалпы қуыстар көлемінің 84-89% құрайды. Диаметрі 400-500 мкм үлкен қуыстар көлемі аз, тек 2-3%.



1 – қоспасыз; 2 – Құрам №2; 3 – Құрам №3; 4 – Құрам №4.

Сурет 3. Бетон қуыстарының үлестірімін көрсететін интегралдық қисықтар



1 – қоспасыз; 2 – Құрам №2; 3 – Құрам №3; 4 – Құрам №4.

Сурет 4. Бетон қуыстарының дифференциалды таралу қисықтары

Бетонның су өткізбейтіндігін зерттеу кешенді қоспалардың цементтің қосымша гидратациясы және цемент тасындағы гидрат фазаларының көбеюі арқасында оның тығыздалуына елеулі әсер ететінін көрсетті, бұл пористік құрылымға тиімді ықпал етіп, бетондарды W12 деңгейінде су өткізбейтін етеді.

Барлық бетондар жоғары тығыздыққа ие: су өткізбейтіндік маркасы W12 және одан жоғары.

Салқынға төзімділік сынақтары көрсеткендей, күл қоспалары бар бетондар дәстүрлі құрамдағы бетондардан кем түспейді.

Қорытынды. Дайындалған кешенді органо-минералды қоспаларды гидротехникалық құрылыстарға арналған жоғары тиімді бетон өндірісінде қолдану ұсынылады. Сондай-ақ, оларды бетонның қалыпты жағдайда қату жылдамдығын арттыруға, бастапқы қату кезеңіндегі және маркалық жастағы беріктігін жоғарылатуға, цементті үнемдеуге, су өткізбейтіндік пен суыққа төзімділік маркасын сәл көтеруге пайдалануға болады.

Дайындалған кешенді модификатор-қоспалар бетондардың суыққа төзімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді, ал қоспаларды қолдану арқылы F400 және одан жоғары маркалы суыққа төзімді бетондар алуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Кирсанова А.А. Органоминеральные модификаторы на основе метакрилатов для цементных бетонов [Текст] / А.А. Кирсанова, Л.Я. Крамар // Строительные материалы. – 2013. – № 11. – С. 54-56.
2. Lam Tang, Xuan Hung Ngo, Vu Kim Dien, Bulgakov B.I. Effect of complex organo-mineral additive on the deformation of hydrotechnical concrete [Текст] // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2019. – Vol. 4(79). – P. 7-19. <https://doi.org/10.18720/CUBS.79.1>.
3. Филимонова Ю.С. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона [Текст] / Ю.С. Филимонова, Е.Г. Величко // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 4(96). – С. 107-109. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112>.
4. Ткач Е.В. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема [Текст] / Е.В. Ткач, Р.И. Темирганов // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 289-292.
5. Самченко С.В., Егоров Е.С. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией [Текст] / С.В. Самченко, Е.С. Егоров // Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28. – № 2. – С. 54-58.
6. Величко Е.Г. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона [Текст] / Е.Г. Величко, Ю.С. Шумилина // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15(2). – С. 235-243. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243>.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24992867 «Қазақстанның су шаруашылығын және қайта өңдеу өнеркәсібін дамыту мен басқаруға арналған ресурсты үнемдейтін технологияларды әзірлеу, инновациялық инжинирингтік орталық құру» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 05.02.26 түсті, 26.03.26 қабылданды.

А.А. Сагындыков¹, Б.А. Карымсаков¹, Д.Ф. Әшір¹

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

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования свойств бетона, который может быть использован для строительства гидротехнических сооружений,

предварительный состав которого был определён с помощью стандарта АСІ 211.4R-2008. Также было изучено эффекта использования разработанной комплексной органо-минеральной модифицирующей добавки, состоящей из золы-уноса ТЭС (ЗУ), микрокремнезема SF-90 (МК90), метакеолина и поликарбоксилатного суперпластификатора SR 5000F (СП) на изменение свойств гидротехнического бетона.

Ключевые слова: микрокремнезем, метакеолин, поликарбоксилатный суперпластификатор, зола, цемент, гидротехнический бетон, прочность, водонепроницаемость.

A.A. Sagyndykov¹, B.A. Karymsakov¹, D.G. Ashir¹

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

THE EFFECT OF A COMPLEX ORGANO-MINERAL ADDITIVE ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETES

Abstract. The article presents the results of a study of the properties of concrete, which can be used for the construction of hydraulic structures, the preliminary composition of which was determined using the ACI 211.4R-2008 standard. The effect of using the developed complex organo-mineral modifying additive consisting of thermal power plant fly ash, microsilicon SF-90 (MK90), methakaolin and polycarboxylate superplasticizer SR 5000F (SP) on changing the properties of hydraulic concrete was also studied.

Keywords: microsilica, methakaolin, polycarboxylate superplasticizer, ash, cement, hydraulic concrete, strength, water resistance.

References

1. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya. Organomineral'nye modifikatory na osnove metakaolina dlya tsementnykh betonov [Organomineral Modifiers Based on Metakaolin for Cement Concretes] // Building Materials. – 2013. – No. 11. – P. 54-56. [in Russian].
2. Lam Tang, Xuan Hung Ngo, Vu Kim Dien, Bulgakov B.I. Effect of complex organo-mineral additive on the deformation of hydrotechnical concrete [Текст] // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2019. – Vol. 4(79). – P. 7-19. <https://doi.org/10.18720/CUBS.79.1>.
3. Filimonova Yu.S., Velichko E.G. Issledovanie kompleksnoy modifikatsii tyazhelogo betona [Study of Complex Modification of Heavy Concrete] // Construction and Reconstruction. – 2021. – No. 4(96). – P. 107-109. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112>. [in Russian].
4. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Tsementnyy beton s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami na osnove primeneniya aktivirovannogo mikrokremezema [Cement Concrete with Improved Physico-Mechanical Properties Based on Activated Microsilica] // Innovations and Investments. – 2019. – No. 10. – P. 289-292. [in Russian].
5. Samchenko S.V., Egorov E.S. Upravlenie svoystvami tsementnoy pasty pri yeye modifitsirovaniy predvaritel'no gidrirovannoy tsementnoy suspensiyey [Control of Cement Paste Properties during Its Modification by Pre-Hydrated Cement Suspension] // Silicate Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 28, No. 2. – P. 54-58. [in Russian].
6. Velichko E.G., Shumilina Yu.S. K probleme formirovaniya dispersnogo sostava i svoystv vysokoprochnogo betona [On the Problem of Dispersed Composition Formation and Properties of High-Strength Concrete] // MGSU Bulletin. – 2020. – Vol. 15, Issue 2. – P. 235-243. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243>.