

FTAMP 67.09.31

А.А. Сағындықов¹ – негізгі автор, ©
Ж.Е. Ескермесов², Г.М. Баялиева³,
С.К. Нурпеисов⁴, А.Б. Тұрмаханбетова⁵, Н.Т. Қарабаев⁶



¹Техн. ғылым. д-ры, профессор, ²PhD, доцент, ^{3,4}Техн. ғылым. канд., доцент,
^{5,6}Магистр, аға оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-1812-5739> ²<https://orcid.org/0000-0001-6464-2748>
³<https://orcid.org/0000-0002-9897-5740> ⁴<https://orcid.org/0009-0005-6780-0533>
⁵<https://orcid.org/0009-0008-6416-238X> ⁶<https://orcid.org/0000-0001-6382-6617>



^{1,2,3,4,5,6}М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,



Тараз қ., Қазақстан



¹aa.sagyndykov@dulatu.kz

<https://doi.org/10.55956/MKAN7463>

ҰЛПА КҮЛДЕН ЖАСАЛҒАН КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШ ЗАТТАР МЕН ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аңдатпа. 10-40% мөлшерінде Екібастұз ГРЭС ұлпа күлін және СП-1 пластификациялаушы қоспасын пайдалана отырып, композициялық байланыстырғыш заттардың физика-механикалық қасиеттері анықталды. Композициялық байланыстырғыш заттардың және кешенді қоспалар негізінде сығылуға беріктігі 24,5-27,3 МПа; иілу кезіндегі созылу беріктігі – 4,7-5,1 МПа; суды сіңіру – 2,1%, су өткізбеушілігі – W 6-8; аязға төзімділігі F 200-250 гидротехникалық бетондар алынды.

Тірек сөздер: портландцемент, ұлпа күл, суперпластификатор, гидрофобты қоспа, базальт талшығы, гидротехникалық бетон, беріктік.



Сағындықов, А.А. Ұлпа күлден жасалған композициялық байланыстырғыш заттар мен гидротехникалық бетондардың технологиялық және физика-механикалық қасиеттері [Мәтін] / А.А. Сағындықов, Ж.Е. Ескермесов, Г.М. Баялиева, С.К. Нурпеисов, А.Б. Тұрмаханбетова, Н.Т. Қарабаев //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №4(86). – Б.230-237. <https://doi.org/10.55956/MKAN7463>

Кіріспе. Гидротехникалық бетонның құрылымы мен қасиеттерін оңтайландыру мәселесін шешу үшін оларды өндіру процесінде пайдаланылатын клинкерді басқа пайдалы минералдармен ішінара ауыстыра отырып, композициялық байланыстырғыштарды жасауға болады, тиімділігі:

- өндірілген 1 тонна цементке қажетті табиғи ресурстар (отын және шикізат) мөлшерін азайту;
- өндірілген цементтің 1 тоннасына парниктік газдардың (CO₂) шығарындыларын азайту;
- техногендік (отын, металлургия өнеркәсібінің қалдықтары және т.б.) және табиғи (табиғи пуццоландар, әктас және т.б.) минералдық компоненттерді пайдалануды кеңейту;

Композициялық байланыстырғыштар технологиялық және арнайы сипаттамалардың кең ауқымымен бағытталған қасиеттері бар құрылыс композиттерін жасауға мүмкіндік береді [1-3]. Композициялық байланыстырғыш заттардың жаңа буынын қолдану айтарлықтай артықшылықтар береді:

– ерітінді және бетон қоспаларының қасиеттерін тұрақтандыру (жоғары біртектілік, жақсартылған реология және т. б.);

– композиттің біркелкі микроқұрылымын, ұсақ кристалды құрылымын қалыптастыру үшін алғы шарттар жасау, кеуектіліктің төмендеуі, жоғары сығу беріктігі, гидратациядағы төмен жылу бөлінуі, жоғары жарықшаларға төзімділік.

Технологиялық әдістер мен тәсілдер (жаңа шикізат базасын пайдалану, ұнтақтау, компоненттерді қарқынды араластыру, химиялық қоспаларды қолдану және т.б.) әдеттегі бетондарға қарағанда цемент шығыны айтарлықтай төмен, тиімді композициялық байланыстырғыштарды алуға мүмкіндік береді [4].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бетонның қасиеттері мен құрылымы ЦЕМ II 42,5 Н класты портландцемент (өндіруші «Жамбыл цемент» ЖШҚ (МССТ 31108-2016), ірілік модулі 2,5 ұсақталған еленділер («Үш бұлақ» ААҚ жеткізушісі; МССТ 8736-2014), 5-20 мм гранитті қиыршық тас; дисперсті күшейткіш қоспа – туралған базальт талшығын (ЖШҚ «ИнРеС»; ТШ 5952-002-13307094-08) пайдаланылып зерттелді. Кешенді модификатор ретінде «Полипласт СП-1» («Полипласт» ЖШҚ) және «Гидромакс» гидрофобты қоспасы («Полипласт» ЖШҚ; ТШ 9365-002-46270704-2001) қолданылды.

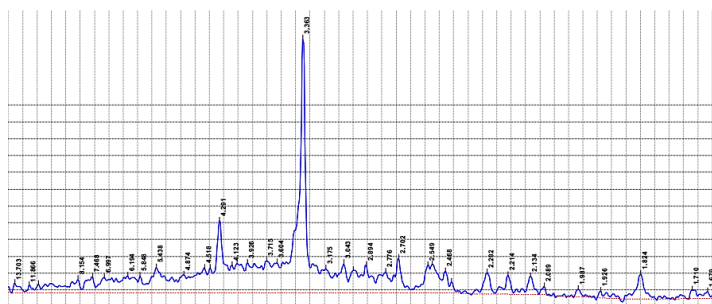
«Полипласт СП-1» қоспасы – әртүрлі молекулалық салмақтағы полиметиленнафталинсульфо қышқылдарының натрий тұздарының қоспасы. Қоспа екі түрге бөлінеді: нормаланбаған ауаны енгізу және ауаны басатын компонент қосылған кезде – төмен (нормаланатын) ауаны енгізуді қамтамасыз ететін (ВП түрі).

«Гидромакс» – ашық-сұр түсті гидрофобты пластификациялаушы құрғақ ұнтақ.

Екібастұз ГРЭС ұлпа күлі – қатты отынның минералды бөлігінен түзілетін құрғақ жұқа дисперсті шанды, төмен кальцийлі, полидисперсті материал, меншікті беті $300 \text{ м}^2/\text{кг}$, орташа тығыздығы $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, шынайы тығыздығы $2008 \text{ кг}/\text{м}^3$, үйінді тығыздығы $980 \text{ кг}/\text{м}^3$, ылғалдылығы $0,59\%$ құрайды.

Күлдің көп бөлігі тегіс шыны тәрізді беті бар, әр түрлі іріліктегі шыны тәрізді бөлшектерден (өлшемі $1-40 \text{ мкм}$), беті дамыған, кеуекті полидисперсті анизометриялық бөлшектерден тұрады, пластина, дұрыс емес және бұрышты пішінді-қабатты құрылымды. Күлдің құрамында: аморфты SiO_2 және Al_2O_3 , алюминий силикатты шыны бар. Күлдің химиялық құрамы, мас. % SiO_2 64-65; Al_2O_3 23-24; Fe_2O_3 5-6; CaO 2-3; MgO 0,7-0,8; R_2O 0,5-0,7.

Алынған нәтижелер ұлпа күлдің құрамында кремний оксиді SiO_2 (58,6%) мен алюминий оксидінің Al_2O_3 (24,3%) жоғары болуымен сипатталатынын көрсетеді. Ұлпа-күл аморфты және кристалды компоненттерді қамтитын бейорганикалық және органикалық фазалардан тұрады. Аморфты құраушы муллитті құрамды шынысынан, жалған аморфты күйдегі кремний мен алюминий оксидінен құралған. Кристалдық фаза кварцтың бірнеше түрлі модификацияларымен (SiO_2) ұсынылған, олар табиғи модификациялардан кристалдық тор параметрлерімен ерекшеленеді ($d=4,29$; $4,12$; $3,36$; $2,46$; $2,29$; $2,13$; $1,98$; $1,82$; $1,68 \dots \text{Å}$) (1-сурет).



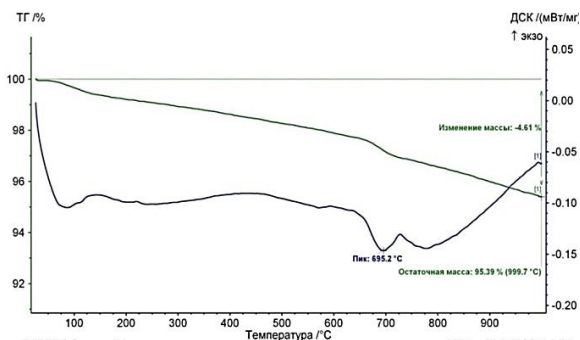
Сурет 1. Экібастұз ГРЭС ұлпа күлінің рентгенограммасы

ДТА қисығында 695°С-та эндоэффект, сондай-ақ отынды жағу кезінде пайда болған кристалды өсінділер: муллит, кальций алюминаты және т.б. көрсетілен (2-сурет).

РФА нәтижелері бойынша зерттелген ұлпа күлінде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -мен өзара әрекеттесетін, кальций гидросиликаттарын қалыптастыру үшін, олардың гидромеханикалық белсенділігін сипаттайтын, рентген-аморфты элементтердің едәуір санын қамтитыны анықталды.

Ұнтақтау нәтижесінде күлдің реактивті белсенділігінің жоғарылауы кристаллдар құрылымындағы ақаулардың жоғарылауына және кристалдық фазадан аморфты фазаға ішінара өтуіне әкеледі, бұл олардың реактивтілігін арттырады.

Майда ұнтақталған күл құрамындағы кремний оксидтерінің жоғары мөлшері әдеттегі температурада алитті ылғалдандыру кезінде бөлінетін Ca(OH)_2 -нің қалыпты температурада C-S-H типті кальций гидросиликаттарын түзуіне ықпал етеді, яғни олар пуццоланды белсенділікке ие және оларды гидротехникалық бетондар өндірісінде қолдануға болады.



Сурет 2. Ұлпа күлдің ДТА қисықтары

Композициялық байланыстырғыштар (КБ) құрамындағы белсенді минералды қоспа болатын ұлпа күлді қолданудың тиімділігін анықтаудың ең сенімді әдісі қоспалармен бірге байланыстырғыштардың физика-механикалық көрсеткіштерін анықтау болып саналады, бұл күлдің клинкер минералдарымен жанасу жағдайларын және олардың арасындағы процестерді модельдейді [1-3].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. КБ құрамындағы ұлпа күлдің оңтайлы мөлшерін анықтау үшін портландцементтің мөлшерін 90%-дан 60%-ға дейін, ал күлдің мөлшері 10%-дан 40%-ға дейін өзгерген

құрамдар дайындалды. Ұлпа күлдің гидравликалық қасиеттерін жақсарту үшін оларды ұсақтау керек екені белгілі. Қарқынды ұнтақтау процесінде гомогенизациямен қатар қоспаның компоненттері белсендіріледі, бұл одан әрі алынған композициялық байланыстырғыш заттың физика-механикалық және технологиялық қасиеттеріне оң әсер етеді. Байланыстырғыш компоненттерді бірге ұнтақтау бір уақыт ішінде жүзеге асырылды. Ұнтақтаудан кейін байланыстырғыш заттың меншікті беті анықталды.

Байланыстырғыш затты сумен және онда ерітілген СП-1 суперпластификаторымен (цемент массасынан 0,5-1,5% мөлшерде) араластыру арқылы 3×3×3 см өлшемді кубиктер және 4×4×16 см өлшемді аркалықтар дайындалып, дірілдету үстелінде нығыздалды. Әрбір композиция үшін судың қатты қатынасы (С/Қ) 0,25-0,27 аралығында өзгерді. Бір тәуліктен кейін үлгілер қалыптан босатылып, ылғалды жағдайда 28 тәулік ұсталды. Сонан соң КБ үлгілері сынақтан өтті, олардың нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

КБ құрамында ұлпа күлдің мөлшерін арттырып (1-кесте), қатайтылған үлгілерді сығу кезіндегі беріктік шегінің 40,1 МПа-дан 35,2 МПа-ға дейін төмендеуі байқалады. Әрі қарай зерттеулер цементті ең көп үнемдейтін цемент 60%: ұлпа күл 40% құрамында жүргізілді. Алынған нәтижелер күлдің пуццоландық белсенділігін растайды.

КБ физика-механикалық қасиеттерін жақсарту үшін суперпластификатор (СП) (цемент массасының 0,5-1,5%) қолданылды, бұл олардың пластикалық күйде және қатаю процесінде құрылым түзуін басқару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. СП тиімділігі қалыпты қоюлықтағы цемент ерітіндісінің су қажеттілігінің төмендеуін көрсетті.

Кесте 1

СП-1 суперпластификаторы бар композициялық байланыстырғыштардың құрамы және физикалық-механикалық сипаттамалары

№	Құрам, %			ҚҚ, %	Ұстасу мерзімі (басы/соңы), мин	Беріктік шегі, МПа	
	ПЦ	күл	СП-1			7 тәулік	28 тәулік
1	100	-	-	25	30/185	27,5	40,1
2	90	10	-	25,5	31/187	25,4	38,2
3	80	20	-	26	32/188	24,3	37,3
4	70	30	-	26,4	33/189	23,5	36,1
5	60	40	-	27	35/191	21,4	34,2
6	60	40	0,5	25,4	29/183	24,5	37,3
7	60	40	1,0	24,2	28/182	25,9	39,5
8	60	40	1,5	23,7	27/181	27,6	41,1

Жүргізілген сынақтардың нәтижесінде (1-кесте) анықталды:

– КБ массасынан 0,5-1,5% көлемінде суперпластификаторды енгізген кезде қатайтылған тастың беріктігіне анықтаушы әсер оның дефлокуляциялық әсері болып табылады, бұл ерітіндінің қалыпты қойлығы (ҚҚ) 27%-дан 23,7%-ға дейін айтарлықтай төмендетуімен және суперпластификаторсыз КБ-пен салыстырғанда беріктіктің 9-21%-ға жоғарылауымен бірге жүреді;

– Беттік адсорбция және КБ бөлшектерінің молекула аралық және стерикалық итерілуінің пайда болу нәтижесінде СП-1 суперпластификаторымен өзара әрекеттесу процесі жүреді, нәтижесінде ұлпа күлді КБ ұстасудың басталуы жеделдетіледі (35-тен 27 минутқа дейін);

– 28 тәулік жасында 37,1-41,1 МПа сығу кезінде беріктік мәндерімен, гидротехникалық бетоннан құрылыс бұйымдары мен конструкцияларын дайындау үшін пайдаланылатын байланыстырғыш заттарға қойылатын талаптарды қанағаттандырады.

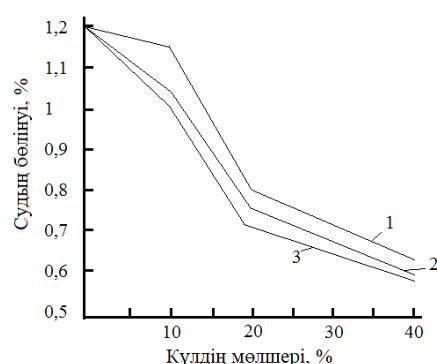
Бетон және темірбетон бұйымдарының сапасын анықтайтын бетон қоспалары үшін ең маңызды көрсеткіш оның реологиялық сипаттамалары болып табылады [4-6]. Бұл жұмыста күлді бетон қоспаларында қолдану, сондай-ақ олардың су бөлу, ерітінді бөлу сияқты реологиялық қасиеттерге әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Бағалау және салыстыру үшін ПЗ (ОК=12 см) жылжымалылығы бар В20 бетон қоспасының құрамдары дайындалды, цементтің мөлшері ішінара 10%, 20%, 30%, 40% күлмен алмастырылды. Бетон қоспаларының технологиялық қасиеттері МССТ 10181-2014 «Бетон қоспалары. Сынақ әдістері» сәйкес анықталды. Қоспаның негізгі компоненттерінің шығыны 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2

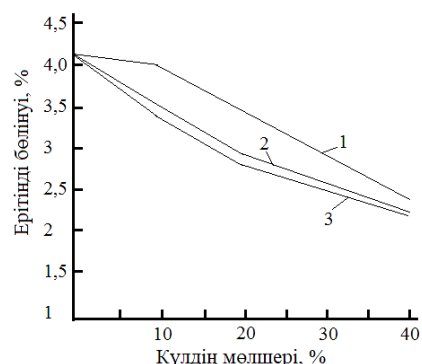
Бетонның құрамдары мен қасиеттері

№	1м ³ бетонға шығын, кг						Конустың шөгугі, см	Жылжымалылық маркасы
	ПЦ	Күл	Еленді	Шағал	Су	Қоспа		
1	360	-	700	1250	180	-	1-2	П1
2	340	80	680	1150	180	-	2	П1
3	320	100	680	1150	180	-	2	П1
4	300	120	680	1150	180	-	3	П1
5	340	80	680	1150	180	4,2СП	9	П3
6	320	100	680	1150	180	4,2СП	10	П3
7	300	120	680	1150	180	4,2СП	11	П3
8	340	80	680	1150	180	4,2СП+1,3ГМ	10	П3
9	320	100	680	1150	180	4,2СП+1,3ГМ	11	П3
10	300	120	680	1150	180	4,2СП+1,3ГМ	12	П3
11	320	100	680	1150	180	4,2СП+1,3ГМ+12,6БТ	12	П3

МССТ 7473 талаптары бойынша су бөлу 0,4-0,8%, ал ерітінді бөлу 3-4% аспауы керек. Күл мен пластификаторды енгізу бетон қоспасын тұрақтандырады, бұл цементке қосымша майлау әсерін береді. Нәтижесінде су мен ерітінді бөлу көрсеткіштері төмендейді (сурет 3, 4).



1 – суперпластификатор қоспасысыз; 2 – СП-1 қоспасымен 0,5%; 3 – 1% СП



Сурет 3. Күл мен пластификатор мөлшерінен судың бөлінуінің өзгеруі

Сурет 4. Күл мен пластификатор мөлшерінен ерітінді бөлінуінің өзгеруі

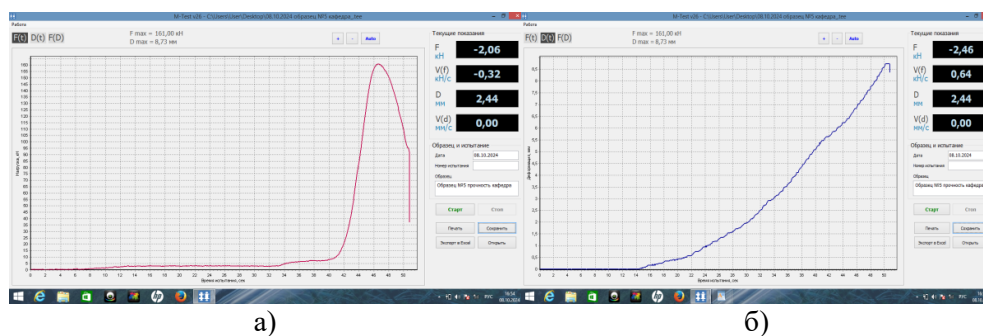
5а суретте «жүктеме-сынақ уақыты» координатында №9 құрамның 7 тәулік жасындағы бетонды сығу кезіндегі беріктіктің өзгеру қисығы көрсетілген. Максималды қиратушы жүктеме – 161 кН болды, жалпы сынақ уақыты – 50 секунд, 0-ден 34 секундқа дейінгі уақыт аралығында сынаманың азды-көпті тұрақты кедергісі байқалады.

Бетонның деформациясы жүктеменің қысқа әсер етуімен анықталды:

$$\sigma_{\text{обж}} = \sigma_b / R_c$$

мұндағы: σ_b – жүктеменің осы сатысында бетондағы кернеулер; R_c – қысуға беріктік шегі.

Бетонның максималды деформациясы 8,73мм құрады (сурет 5б).



Сурет 5. Жүктемеден бетонды қысу беріктігінің (а) және деформацияның (б) өзгеруі

Модификацияланған бетон қоспалары мен бетондардың қозғалғыштығы, орташа тығыздығы, су бөлу, ерітінді бөлу, иілу кезінде қысу және созылу, кернеу қарқындылығының шартты коэффициенті, орташа тығыздығы бойынша сынау нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3

Модификацияланған гидротехникалық бетонның қасиеттері

Көрсеткіштер	Құрамдар			
	Бақылау	№6	№9	№11
Бетон қоспасының жылжымалылық маркасы (КШ, см)	П1	П3	П3	П3
Бетон қоспасының орташа тығыздығы, кг/м ³	2410	2415	2418	2420
Бетон қоспасының судың бөлінуі, %	1,2	0,7	0,6	0,5
Бетон қоспасының ерітінді бөліну көрсеткіші, %	4,2	2,9	2,7	2,5
Бетонның сығылуға беріктігі, МПа, $R_{\text{сығ}}$	21,4	24,5	25,6	27,3
Иілу кезінде бетонның созылу беріктігі, МПа, $R_{\text{и}}$	4,1	4,5	4,7	5,1
Су сорғыштығы, %	3,8	2,2	2,1	1,9
Су өткізбейтіндігі бойынша бетон маркасы	W6	W6	W8	W8
Аязға төзімділігі бойынша бетон маркасы, F	200	200	300	300

Қорытынды. Ұлпа күлді және иілімділікті арттыратын қоспаны қолдану арқылы цементті үнемдеуші, бетонның технологиялық қасиеттерін жақсартатын, беріктігі жоғары композициялық байланыстырғыштар жасалды. Жақсартылған пайдалану қасиеттері (беріктігі, су өткізбейтін, жарыққа төзімділігі) бар гидротехникалық құрылыс үшін тиімді бетон алу мәселесін шешу күлді байланыстырғыш затты кешенді полимерлі

модификатормен (1,0% СП+ 0,3% Гидромакс) модификациялау есебінен жүзеге асырылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Кривобородов, Ю.Р. Применение микродисперсных добавок для ускорения твердения цемента [Текст] / Ю.Р. Кривобородов, А.А. Еленова // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 65-67.
2. Нурымбетов, Б.Ч. Влияние тонкодисперсного наполнителя на процессы образования силикатов кальция [Текст] / Б.Ч. Нурымбетов, Ш.Н. Туремуратов, А.Д. Жуков, М.О. Асаматдинов // Вестник МГСУ. – 2016. – Т. 12. – № 103. – С. 446-451.
3. Воронов, В.В. Особенности гидратации и твердения полиминеральных композиционных вяжущих для пенобетонов [Текст] / В.В. Воронов, Е.С. Глаголев // Вестник СибАДИ. – 2020. – Т. 16. – № 3. – С. 324-333.
4. Lesovik V.S. et al. Increasing efficiency of composite thermal insulation foam concretes [Текст] // Advances in Engineering Research. – 2017. – Vol. 133. – P 414-419
5. Шоева, Т.Е. Мелкозернистый бетон на основе МАВС из природного и техногенного сырья Тывы [Текст] / Т.Е. Шоева, В.С. Баев, Ю.Д. Каминский // Строительные материалы. – 2011. – № 9. – С. 36-38.
6. Ткач, Е.В. Комплексное исследование модифицированного бетона на основе активированного микрокремнезема совместно с микроармирующим волокном для повышения эксплуатационных характеристик [Текст] / Е.В. Ткач, Р.И. Темирганов, С.А. Ткач // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 5. – С. 215-226.

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 13.11.24 түсті.

**А.А. Сағындықов¹, Ж.Е. Ескермесов¹, Г.М. Баялиева¹,
С.К. Нурпеисов¹, А.Б. Тұрмаханбетова¹, Н.Т. Қарабаев¹**

¹Таразский университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ ИЗ ЗОЛЫ УНОСА

Аннотация. Определены физико-механические свойства композиционных вяжущих с использованием золы уноса Экибастузской ГРЭС в количестве 10-40% и пластифицирующей добавки СП-1. На основе вяжущих и комплексных добавок получены высокопрочные гидротехнические бетоны с прочностью на сжатие 24,5-27,3 МПа; прочностью на растяжение при изгибе – 4,5-5,1 МПа; водопоглощением – 1,9-2,2% масс.; водонепроницаемостью – W 6-8; морозостойкостью – F 200-300.

Ключевые слова: портландцемент, зола уноса, суперпластификатор, гидрофобная добавка, базальтовое волокно, гидротехнический бетон, прочность.

A.A. Sagyndykov¹, Zh.E. Eskermesov¹, G.M. Bayalieva¹,
S.K. Nurpeisov¹, A.B. Turmakhanbetova¹, N.T. Karabaev¹

¹M.H. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan

TECHNOLOGICAL AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE BINDERS AND HYDRAULIC CONCRETES FROM THE FLY ASH

Abstract. The physical and mechanical properties of composite binders using fly ash from Ekibastuz GRES in the amount of 10-40% and plasticizing additive SP-1 were determined. On the basis of binders and complex additives, high-strength hydraulic concretes with a compressive strength of 24.5-27.3 MPa; tensile strength during bending - 4.5-5.1 MPa; water absorption – 1,9-2.2% by weight; water resistance – W 6-8; frost resistance – F 200-300 were obtained.

Keywords: Portland cement, fly ash, superplasticizer, hydrophobic additive, basalt fiber, hydraulic concrete, strength.

References

1. Krivoborodov YU.R., Yelenova A.A. Primeneniye mikrodispersnykh dobavok dlyauskoreniya tverdeniya tsementa [Application of microdispersed additives to accelerate cement hardening] //Stroitel'nyye materialy [Construction materials]. – 2016. – No. 9. – P. 65-67. [in Russian].
2. Nurymbetov B.CH., Turemuratov SH.N., Zhukov A.D., Asamatdinov M.O. Vliyaniye tonkodispersnogo napolnitelya naprotsessy obrazovaniya silikatov kal'tsiya [Influence of finely dispersed filler on the processes of calcium silicate formation] //Bulletin of MGSU. – 2016. – Vol. 12. – No. 103. – P. 446-451. [in Russian].
3. Voronov V.V., Glagolev Ye.S. Osobennosti gidratatsii i tverdeniya polimineral'nykh kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya penobetonov [Features of hydration and hardening of polymineral composite binders for foam concrete] // Bulletin SibADI. – 2020. – Vol. 16. – No. 3. – P. 324-333. [in Russian].
4. Lesovik V.S. et al. Increasing efficiency of composite thermal insulationfoam concretes [Tekst] //Advances in Engineering Research. – 2017. – Vol. 133. – P 414-419
5. Shoyeva T.Ye., Bayev V.S., Kaminskiy YU.D. Melkozernistyy beton na osnove MAVS iz prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya Tyvy [Fine-grained concrete based on MAVS from natural and technogenic raw materials of Tuva] //Stroitel'nyye materialy [Construction materials]. – 2011. – No. 9. – P. 36-38. [in Russian].
6. Tkach Ye.V., Temirkanov R.I., Tkach S.A. Kompleksnoye issledovaniye modifitsirovannogo betona na osnove aktivirovannogo mikrokremnezema sovместно s mikroarmirushchimvoloknom dlya povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik [Comprehensive study of modified concrete based on activated microsilica together with micro-reinforcing fiber to improve performance characteristics] //Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources engineering. – 2021. – Vol. 332. – No. 5. – P. 215-226. [in Russian].