УДК 691.175

Тукенов Ш.А.

2 курс магистранты

«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

(Астана, Қазақстан)

Киргизбаев А.Т.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

(Астана, Қазақстан)

ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНЫП ПОЛИМЕРБЕТОННАН БҰЙЫМДАР ӨНДІРУ: ШОЛУ

Аңдатпа: *өнеркәсіптік қалдықтардың, ең алдымен күл мен шлактың жинақталуы құрылыс саласы үшін өзекті мәселе болып отыр. Полимербетонда мұндай қалдықтарды толтырғыш ретінде қолдануға болады: бұл қымбат шайырдың үлесін азайтып, қалдықты кәдеге жаратады. Шолудың мақсаты - техногендік қалдықтарды пайдаланып полимербетон бұйымдарын алу бойынша қолда бар деректерді жүйелеу және технологияны әзірлеу үшін сенімді тұстарды анықтау. Он алты дереккөз талданды: халықаралық журналдардағы эксперименттік мақалалар мен шолулар, ресейлік жарияланымдар және Қазақстандағы күл-шлак қалдықтары туралы ресми деректер. Талдау көрсеткендей, эпоксидті және винилэфирлі матрицада ұшпа күл мен болат шлағы толтырғыш ретінде жұмыс істейді, ал шыны қалдығы полиэфирлі матрицада сығылуға беріктікті 90 МПа деңгейіне дейін жеткізе алады. Кеуекті пластик қалдығы (ПВХ) эпоксидті матрицада да, цементте де беріктікті төмендетеді. Деректер әртүрлі шайыр мен сынақ әдістерімен алынғандықтан тікелей салыстырылмайды, ал полимербетонға арналған бірыңғай құрам жобалау әдістемесі жоқ. Қазақстандық күлдің құрамындағы ауыр металдар үшін шайылу сынақтары қажет. Қорытындыда технологиялық сұлба және кейінгі эксперименттік зерттеулердің бағыттары ұсынылды.*

Түйін сөздер: *полимербетон, техногендік қалдықтар, ұшпа күл, шлак, эпоксидті шайыр, толтырғыш, айналмалы экономика, шолу.*

Кіріспе.

Құрылыс материалдарының өндірісі табиғи шикізатты көп жұмсайды, ал металлургия мен энергетика, керісінше, көлемді қалдық қалдырады. Ресейде жыл сайын шамамен 130 млн т өнеркәсіптік қалдық түзіліп, жалпы жинақталғаны шамамен 80 млрд т деп бағаланады [6]. Күлді пайдалану деңгейі елдер арасында айтарлықтай ерекшеленеді: Ресейде ол 4–5%, дамыған елдерде шамамен 50%, Франция мен Германияда 70%, Финляндияда шамамен 90% [6].

Қазақстанда жағдай да осыған ұқсас. Энергетика министрлігінің 2025 жылғы наурыздағы мәліметінше, белсенді күл үйінділерінде жиналған күл-шлак қалдықтарының көлемі 1,41 млрд м³, 21 ірі көмір электр станциясының 27 күл үйіндісі 18,2 мың га жерді алып жатыр, ал 2024 жылы 69,2 мың т күл ғана өңделген, оның көбі цемент өнеркәсібіне кеткен [12]. Бұл сандар өлшем бірлігі әртүрлі болғандықтан тікелей салыстырылмайды, бірақ өңдеу көлемінің жинақталған қордың жанында шамалы екенін көрсетеді. Министр күлдегі сынап, қорғасын, мышьяк және күкірт қосылыстары оның құрылыстағы құнын төмендететінін де атап өткен [13]. Екібастұз ЖЭС-інің ұшпа күлін цемент қоспасы ретінде зерттеген авторлар да елде күлді пайдалануды арттыруды ұсынады [1].

Полимербетон – байланыстырғышы цемент емес, полимерлік шайыр болатын композит. Оның эпоксидті, полиэфирлі және басқа шайыр негізіндегі түрлері бетонды жөндеуге, агрессивті судағы іргетасқа, бассейн мен кәріз құрылысына, гидротехникалық құрылыстарға, өндірістік едендерге, қаптауға және жүк көтеретін блоктарға қолданылады [7]. Негізгі кедергі – шайырдың бағасы. Толтырғыштың үлесі массасы бойынша 95%-ға дейін жетуі мүмкін болғандықтан [7], ал ұсақ микротолтырғыштар шайыр шығынын азайтатындықтан [10], толтырғышты арзан қалдықпен алмастыру экологиялық ғана емес, экономикалық мағынаға да ие.

Алайда осы бағыт бойынша деректер шашыраңқы. Бір бөлігі кең ауқымды шолуларда жүр, оларда полимербетон мен цемент негізді қоспалар жиі араласады, екінші бөлігі әртүрлі шайыр мен әртүрлі қалдықпен орындалған жеке

эксперименттік мақалалар. Нәтижесінде технолог қандай қалдықты, қандай мөлшерде және қандай шайырмен қосуға болатынын бір жерден таба алмайды.

Шолудың мақсаты – техногендік қалдықтарды пайдаланып полимербетон бұйымдарын алу туралы қолда бар деректерді жүйелеу және технологияны әзірлеуге негіз болатын тұжырымдарды бөліп көрсету. Міндеттері: (1) қалдық түрлерін және олардың полимербетондағы рөлін сипаттау, (2) байланыстырғыш жүйелерін қарастыру, (3) жарияланған эксперименттік деректерді салыстыру, (4) технологиялық сұлбаны ұсыну және зерттелмеген тұстарды атау. Зерттеу объектісі – техногендік қалдық толтырылған полимербетон, пәні – оны дайындау технологиясы мен қасиеттері.

Әдебиетке шолу.

Қалдық түрлері.

[6] жұмысында толтырғыш бола алатын минералды техногендік қалдықтар былай жіктеледі: отын түріне байланысты ұшпа күл, домна, болат және ферроқорытпа шлактары, күл-шлак қоспалары, шаңдар мен шламдар, алюмосиликатты қалдықтар. Құрылыс және тұрмыс қалдықтарынан [7] кірпіш сынығын, шыны сынығын, бетон сынығын, гипсті, ағаш қалдығын, асбестцемент пен көбікполистиролды атайды, кейбір құрамдарда қиранды өзен құмымен бірге алынады. Көбікполистирол метиленхлоридте ерітіліп, байланыстырғыш ретінде де қолданылған [7]. Соңғы шолуда полимербетонға арналған қалдық толтырғыштар ретінде ұсақталған металл жоңқасы, қайта өңделген ПЭТ, электронды-сәулелік түтіктің шынысы, пальма майы өндірісінің күлі, қызыл шлам, биокөмір, болат шлагы және фосфогипс аталады [10]. 1-кестеде қарастырылған жұмыстардағы әр қалдықтың рөлі жинақталған.

1-кесте. Полимербетондағы техногендік қалдықтардың түрлері және олардың рөлі.

Қалдық	Сипаттама	Полимербетондағы рөлі
Ұшпа күл	Отын түріне қарай жіктеледі [6]	Микротолтырғыш, эпоксидті және винилэфирлі матрицада сыналған [4, 16]
Болат шлагы	Металлургия қалдығы [6]	Эпоксидті ерітіндіде құмды алмастырған, ең жақсы нәтиже [14]
Мәрмәр қалдығы мен шаңы	Тас өңдеу қалдығы	Толтырғыш, эпоксидте сыналған [4, 14]
Көмір түбі күлі	Энергетика қалдығы	Эпоксидті ерітіндіде құмды алмастырған, тартылған түрі жақсы [9]
Шыны сынығы, электронды-сәулелік түтік шынысы	Тұрмыс және электроника қалдығы [7, 11]	Полиэфирлі матрицада толтырғыш [5, 11]
Кірпіш және бетон сынығы, гипс	Құрылыс және бұзу қалдықтары [7]	Толтырғыш, қиранды өзен құмымен бірге қолданылған [7]
Көбікполистирол	Метиленхлоридте ерітіледі [7]	Байланыстырғыш ретінде қолданылған [7]
ПВХ қалдығы	Кеуекті пластик [14]	Эпоксидте де, цементте де беріктікті төмендеткен [14, 15]

Байланыстырғыш жүйелер.

[7] деректері бойынша полимербетонның негізгі байланыстырғышы – эпоксидті шайыр ЭД-20, қатайтқышы – полиэтиленполиамин (ПЭПА). Тұтқырлықты азайту үшін Этал-1 сұйылтқышы шайыр массасының 10–25%-ы мөлшерінде енгізіледі, сондай-ақ Этал-247, Этал-1440Н және қанықпаған полиэфирлі шайырлар аталады. Аминді қатайтқыштың орнына полиаминді қолдану қоспаның жарамдылық уақытын 2–10 есе ұзартып, қатаю кезіндегі жылу бөлінуін азайтқаны жазылған [7]. Бұл ірі бұйым құйғанда маңызды. Дегенмен [7] – қысқа шолу, онда авторлардың өз құрамдары мен беріктік сандары жоқ, сондықтан бұл тұжырымдарды эксперименттік дәлел деп санауға болмайды. [10] шолуы бойынша байланыстырғыш ретінде термореактивті шайырлар (полиэфирлі, эпоксидті, винилэфирлі) ұсынылады, өйткені термопластиктер қызғанда жұмсарады, полимербетонның сығылуға беріктігі 70–120 МПа деп көрсетілген.

Эпоксидті және винилэфирлі матрицадағы ұшпа күл.

Ұшпа күл толтырылған эпоксидті полимербетон туралы нақты сандар [4] жұмысында бар. Авторлар эпоксидті шайыр GY-257 мен қатайтқыш HY-54 қолданып, екі фракциялы (0,3–0,85 мм және 2,36–4,75 мм) мәрмәр қалдығын толтырғыш, ұшпа күлді микротолтырғыш ретінде алған. Құрам массасы бойынша: шайыр 12,5–18,9%, ұшпа күл 6,5–12,5%, әр фракция шамамен 37,3–43,8%. Үлгілер 7 тәулік бөлме температурасында қатайған. Ең жоғары сығылуға беріктік 65,16 МПа, июге беріктік 23,61 МПа болған, екеуі де шайыр мөлшері ең аз (12,5%) құрамдарда алынған. Үлгілер морт бұзылған. Авторлар полимербетон үшін бірыңғай құрам жобалау әдістемесі әлі жоқ екенін атап көрсетеді [4]. Ұшпа күл мен микрокремнеземді эпоксидті полимербетонда салыстырған [3] жұмысында толтырғыштар сығылуға, июге және жару кезіндегі созылуға беріктікті толтырғышсыз құраммен салыстырғанда жақсартқаны айтылған, қолжетімді болған тек түйіндеме болғандықтан, сандық мәндерін келтірмейміз.

Ұзақ мерзімді мінез-құлық туралы ең құнды дерек – [16] жұмысы. Онда цемент пен суы жоқ, тұтқырлығы төмен винилэфирлі шайырмен байланысқан құрамдар сыналған, микротолтырғыш ретінде кварц ұнтағы мен үш түрлі ұшпа күл (қатты көмірді жағудан алынған кремнийлі күл және екі циркуляциялық қайнама қабатты күл) алынған. 14 тәулікте сығылуға беріктік 90,7–104,3 МПа болған. Тоғыз жылдан кейін, мысалы, кремнийлі күлі бар №3 құрамда ол 94,2-ден 120,0 МПа-ға, қайнама қабаттың күлі бар құрамда 101,0-ден 115,3 МПа-ға дейін өскен. Өсім толтырғыш түріне тәуелсіз байқалған, ал тоғыз жылдан кейін барлық құрамның тығыздығы шамамен 2200 кг/м³ болған [16]. Демек, күл толтырғыш ұзақ мерзімде беріктікті төмендетпейді.

Эпоксидті ерітіндідегі шлак, мәрмәр шаңы және түбі күлі.

Бірнеше соңғы жұмыс құмды өнеркәсіптік қалдықпен алмастыруды тікелей сынаған. [14] жұмысында эпоксидті ерітіндіде (25% шайыр, 75% толтырғыш) құм болат шлагымен, мәрмәр шаңымен және ПВХ қалдығымен алмастырылған және цемент ерітіндісімен салыстырылған. 28 тәулікте сығылуға беріктік: цемент ерітіндісі 33 МПа, құмды эпоксид 33 МПа, мәрмәр шаңы бар эпоксид 35 МПа, болат шлагы бар эпоксид 40 МПа, ПВХ қалдығы бар эпоксид 24 МПа, созылуға беріктік сәйкесінше 2,6, 2,6, 3,2, 5 және 1 МПа. Су сіңіру болат шлагында 0,03%, мәрмәр шаңында 0,05%, ал ПВХ қалдығында 3, 7 және 14 тәулікте 11, 16 және 33%. Авторлар нәтижені ПВХ-ның кеуектілігімен түсіндіреді және болат шлагын ең жақсы толтырғыш деп санайды [14]. Әр құрамға үш үлгі ғана сыналғанын ескеру керек.

[9] жұмысында эпоксидті ерітіндіде құм көмір түбі күлімен алмастырылып, ұшпа күл мен микрокремнезем микротолтырғыш ретінде қосылған. Шайыр мен толтырғыш қатынасы қасиеттерге айтарлықтай әсер еткен, тартылған түбі күлі тартылмағанға қарағанда жоғары беріктік, төмен су сіңіру және шөгу берген, микротолтырғыш мөлшері 20%-ға дейін өскенде қасиеттер жақсарған. Сол шайыр мен микротолтырғыш мөлшерінде түбі күлі бар

ерітіндінің беріктігі құмды ерітіндіден шамамен 30% төмен, ал шөгуі шамамен 50% аз болған [9].

Шыны қалдығы полиэфирлі матрицада.

[5] жұмысында қанықпаған полиэфирлі шайырмен құм толық не ішінара шыны сынығымен алмастырылған тоғыз құрам сыналған. Шайыр мен толтырғыштың ұсынылған қатынасы 0,25, шыны сынығының ұсынылған өлшемі 0–0,5 мм. Құмы толық шынымен алмастырылған ең жақсы құрамда сығылуға беріктік шамамен 91,4 МПа, июге беріктік шамамен 30 МПа болған, ал 7 тәулік суда тұрғанда су сіңіру 0,5%-дан аз болған. Полиэфирлі және эпоксидті ерітінділердің орташа сығылуға беріктігі 76,0 және 83,3 МПа (айырмашылық статистикалық мәнді), июге беріктігі 23,9 және 25,4 МПа (мәнді емес). Авторлар полиэфирлі ерітіндінің өндіріс құны эпоксидтіден шамамен 2,5 есе төмен деп есептейді [5]. Электронды-сәулелік түтіктің шыны қалдығын (92% массасы бойынша, шайыр 8%) қолданған [11] жұмысында тек ірі фракция тығыздығы төмен (шамамен 1,98 г/см³, салыстыру құрамында 2,91 г/см³) жеңіл полимербетон берген, ал ұсақ фракцияны көбейту шайырдың айқас байланысуын нашарлатып, су сіңіруді арттырған және механикалық қасиеттерді төмендеткен, 4% силан қоспасы су сіңіруді (РС10 құрамында) 44%-ға азайтқан [11].

Цемент негізді аналогтар және шолулар.

Полимер қалдығын толтырғыш ретінде қолдануды көрсететін кейбір жұмыстар цементпен орындалған, оларды полимербетонмен тікелей теңестіруге болмайды, бірақ қалдықтың өзінің мінезін көрсетеді. [15] жұмысында құмның 20%-ы ұсақталған ПВХ панель қалдығымен (0,2–1,5 см) ауыстырылған (CEM I 42,5H, цемент:құм = 1:3, В/Ц = 0,4, 40×40×160 мм арқалықтар, 7 тәулік). Июге беріктік төмендемеген (ПВА қосқанда ПВХ-сыз құрамда 8,3%-ға, ПВХ-мен 6,3%-ға артқан), ал сығылуға беріктік 21,7%-ға, ПВА қоспасымен 34,6%-ға азайған, ПВХ мен цемент арасындағы жабысу нашар болып, пластиналар үлгіден

суырылып шыққан [15]. Сол сияқты [8] шолуында резеңке мен пластик қалдығының гидрофобты беті цемент қамырымен жабысуды әлсіретіп, мөлшері көп болғанда беріктікті төмендететіні, ал резеңке мен пластик үшін оңтайлы алмастыру 5%-дан аспайтыны, шыны үшін 5%, шлак үшін 10–15% екені айтылған, [8] – цементті бетонға арналған тарау, мәндері шамамен берілген.

[2] шолуы күл, шлак, микрокремнезем, күріш қауызының күлі және шыны қалдығын айналмалы экономика тұрғысынан қарастырады, бірақ мақаланың едәуір бөлігі полимербетон емес, цемент негізді қоспаларға арналған, сондықтан онда келтірілген беріктік көрсеткіштері полимербетонға тікелей ауыспайды. [10] шолуы қалдық толтырғыштар тұрақтылықты арттырғанымен, кейде беріктікті төмендететінін және шайыр мен толтырғыш шекарасының үйлесімділігі, қатаю кезіндегі көлемдік тұрақтылық, жоғары температура мен ультракүлгін сәуле астындағы деградация әлі шешілмеген мәселелер екенін атап көрсетеді. Екі шолудың да қорытындысы: қалдық негізді композиттерді қолдануға арналған нормативтік және әдістемелік негіз үшін қосымша зерттеу қажет [2, 10].

Әдістеме.

Жұмыс сипаттамалық шолу ретінде орындалды. Іздеу интернеттегі ашық дереккөздерде (халықаралық баспалардың, ресейлік журналдардың және мемлекеттік органдардың сайттарында) жүргізілді. Іріктеу өлшемдері: полимер матрицалы композитте немесе оған жақын жүйеде техногендік қалдықтың толтырғыш ретінде қолданылуы, тексеруге болатын сапалық не сандық деректердің болуы. Он алты дереккөз іріктелді: сегізі – полимербетон немесе эпоксидті/полиэфирлі ерітінді бойынша эксперименттік мақалалар [3, 4, 5, 9, 11, 14, 15, 16], үшеуі – шолулар [2, 8, 10], төртеуі – шолу және анықтамалық деректер [6, 7, 12, 13], біреуі – цементпен жұмыс [1]. Әр жұмыстағы сандар алғашқы мәтіннен көшірілді және авторлар көрсеткен күйінде беріледі, өз есептеулеріміз жоқ.

Шектеулер. [3] жұмысынан тек түйіндеме, [2] және [10] шолуларынан мәтіннің бір бөлігі қаралды. [7] мен [6] жұмыстарында эксперименттік сандар жоқ, [7] жас ғалымдарға арналған басылымда жарияланған, сондықтан онда айтылғандар дәлел емес, бағдар ретінде қолданылады. [12] мен [13] – ресми хабарламалар, ғылыми мақала емес. Іріктеу Scopus немесе Web of Science бойынша жүйелі іздеуге негізделмегендіктен, толық емес.

Нәтижелер және талқылау.

Қолда бар деректерден шығатын заңдылықтар.

Біріншіден, минералды қалдықтар шайыр матрицасында жұмыс істейтін толтырғыш. Ұшпа күл [4, 16], болат шлагы мен мәрмәр шаңы [14] беріктікті құмды құраммен салыстырғанда төмендетпей немесе арттырып, эпоксидте 33–65 МПа, винилэфирде тоғыз жылдан кейін 105–122 МПа беріктік берген. Бұл мәндер әртүрлі матрицада, әртүрлі құрамда және әртүрлі жастағы үлгіде алынғандықтан бір-бірімен салыстырылмайды (2-кесте).

2-кесте. Қарастырылған жұмыстардағы эксперименттік деректер.

Дереккөз	Байланыстырғыш	Қалдық / құрам	Нәтиже
[4]	Эпоксид GY-257 + HY-54	Мәрмәр қалдығы, ұшпа күл 6,5–12,5%, шайыр 12,5–18,9%, 7 тәулік	Сығылуға 65,16 МПа, июге 23,61 МПа (шайыр 12,5%)
[16]	Винилэфирлі шайыр	Кварц ұнтағы және үш түрлі ұшпа күл, №3 (күл үлесі 21%) және №7 (79%) құрамдар	14 тәулікте 90,7–104,3 МПа, 9–9,5 жылда 105,0–122,4 МПа

Дереккөз	**Байланыстырғыш**	**Қалдық / құрам**	**Нәтиже**
[14]	Эпоксид (25%)	Құм → болат шлагы / мәрмәр шаңы / ПВХ қалдығы (75%), 28 тәулік	Сығылуға 40 / 35 / 24 МПа, құмды эпоксид 33 МПа, цемент 33 МПа
[9]	Эпоксид	Құм → көмір түбі күлі, микротолтырғыш: ұшпа күл, микрокремнезем (20%-ға дейін)	Беріктік құмдыдан шамамен 30% төмен, шөгу шамамен 50% аз
[5]	Қанықпаған полиэфир	Құм → шыны сынығы (0–0,5 мм), шайыр:толтырғыш = 0,25	Сығылуға ~91,4 МПа, июге ~30 МПа, су сіңіру < 0,5%
[11]	Қанықпаған полиэфир (8%)	Электронды-сәулелік түтік шынысы (92%), ірі және ұсақ фракциялар	Тек ірі фракция: тығыздық ~1,98 г/см³ (салыстыру 2,91)
[15]	Цемент CEM I 42,5H	Құмның 20%-ы ПВХ қалдығымен, ПВА цемент массасының 10%	Сығылуға беріктік -21,7% (ПВХ), -34,6% (ПВХ + ПВА)

Дереккөз	Байланыстырғыш	Қалдық / құрам	Нәтиже
[8]	Цемент	Ұсақ толтырғышты 5–20% алмастыру	Қалыпты сығылуға беріктік (бақылау = 1,0): резеңке ~0,80, пластик ~0,85, шыны ~1,05, шлак ~1,10

Екіншіден, қалдықтың бөлшек өлшемі мен дайындалуы маңызды. [9] жұмысында тартылған түбі күлі тартылмағанға қарағанда жақсы нәтиже берген, [5] жұмысында шыны үшін 0–0,5 мм фракция ұсынылған, [11] жұмысында ұсақ фракцияны көбейту шайырдың қатаюын нашарлатқан. Демек, қалдықты тек ұсақтау емес, оның фракциялық құрамын да таңдау керек.

Үшіншіден, шайыр мөлшері басты айнымалы. [4] бойынша ең жақсы беріктік шайырдың ең аз мөлшерінде (12,5%) алынған, [11] жұмысында шайыр бар болғаны 8% болған. Яғни сыналған ауқымда шайырды азайту беріктікке зиян келтірмеген, ал шайыр қымбат болғандықтан бұл экономикалық тұрғыдан тиімді. Бірақ оңтайлы мөлшер қалдықтың түріне, дәнінің өлшеміне және ылғалдылығына байланысты, сондықтан әр қалдық үшін жеке тексеру керек.

Төртіншіден, қалдықтың табиғаты байланыстырғыштан да маңызды болуы мүмкін. Минералды қалдықтар (күл, шлак, мәрмәр шаңы, шыны) шайыр матрицасында жақсы нәтиже береді, ал кеуекті пластик қалдығы (ПВХ) эпоксидте де [14], цементте де [15] беріктікті төмендеткен. Бұл жағдайда шайыр байланыстырғыш болғаны ПВХ-ның кемшілігін жоймаған, [14] мұны ПВХ кеуектілігімен түсіндіреді. Демек, пластик қалдығын полимербетонға толтырғыш ретінде қосуға сақтықпен қарау керек.

Бесіншіден, күл көзіне байланысты. [16] жұмысында кремнийлі күл мен қайнама қабаттың күлі әртүрлі бастапқы беріктік пен өсу қарқынын берген.

Демек, Қазақстандағы күл (мысалы, Екібастұз ЖЭС-інің күлі [1]) үшін құрамды сол күлмен жеке сынау қажет, шетелдік мәндерді көшіруге болмайды.

Технологиялық сұлба.

Әдебиет деректері бойынша полимербетон бұйымын өндіру 1-суретте көрсетілген кезеңдерден тұрады. Қалдықты дайындауда кептіру, ұсақтау не тарту және елеу арқылы фракцияларға бөлу қарастырылады [5, 9], ылғалды қалдықты алдын ала кептірген жөн. Дозалауда шайыр мен қатайтқыш өндіруші нұсқауындағы қатынаста алынады, сұйылтқыш (Этал-1) шайыр массасының 10–25%-ы мөлшерінде енгізіледі [7], толтырғыш құрамның негізгі массасын құрайды. Араластыруда алдымен шайыр мен қатайтқыш, содан кейін толтырғыш қосылады. Қоспа жарамдылық уақыты ішінде қалыпқа салынуы тиіс [7]. Қатаю [4] жұмысында 7 тәулік бөлме температурасында өткен. Соңында сығылуға және июге беріктік, су сіңіру және тығыздық анықталады.



1-сурет. Полимербетон бұйымын алудың технологиялық сұлбасы (әдебиет деректері негізінде автор құрастырған).

Бұйым түрлеріне келсек, [7] өндірістік едендерді, қаптау бұйымдарын, жүк көтеретін блоктарды және гидротехникалық бұйымдарды атайды. Оларға қойылатын талаптар әртүрлі, сондықтан құрамды таңдау алдында бұйымның қолданылу шарты көрсетілуі керек.

Экологиялық қауіпсіздік және зерттелмеген тұстар.

Қалдықты полимербетонға байланыстыру оны үйіндіден алып, шайыр матрицасына бекітеді, бұл – артықшылық. Бірақ Қазақстанның күлінде сынап, қорғасын және мышьяк бар екені айтылған [13], ал қарастырылған эксперименттік жұмыстарда осы элементтердің матрицадан шайылуы жүйелі түрде зерттелмеген. Сондықтан халыққа жақын қолданылатын бұйымдар (едендер, қаптау) үшін шайылу сынақтары міндетті болуы керек, және оларды құрам таңдаудан бұрын жоспарлаған жөн.

Талдау көрсеткендей, қарастырылған жұмыстарда мына деректер жеткіліксіз. Біріншіден, қалдықтың химиялық және минералогиялық құрамы мен қасиеттер арасындағы байланыс жүйелі түрде берілмеген. Екіншіден, аязға төзімділік, химиялық төзімділік және тозуға төзімділік бойынша салыстырмалы деректер аз, су сіңіру тек бірнеше жұмыста бар [5, 11, 14]. Үшіншіден, құнды бағалау мен өмірлік циклді талдау (LCA) жоқ: тек [5] жұмысында полиэфирлі ерітіндінің құны бойынша авторлық баға келтірілген. Төртіншіден, полимербетонның құрамын жобалауға арналған бірыңғай әдістеме жоқ [4, 10]. Дәл осы тұстар кейінгі эксперименттік зерттеудің міндеті бола алады.

Қорытынды.

Шолу көрсеткендей, техногендік қалдықтар, ең алдымен ұшпа күл, болат шлагы және шыны қалдығы, эпоксидті, винилэфирлі және полиэфирлі полимербетондарда толтырғыш ретінде қолданыла алады: қарастырылған эксперименттерде сығылуға беріктік 65,16 МПа-ға (эпоксид, күл) [4], 91,4 МПа-ға (полиэфир, шыны) [5] және 120 МПа-ға (винилэфир, күл, тоғыз жылдан кейін) [16] жеткен. Кеуекті пластик қалдығы (ПВХ) эпоксидті де, цементті де матрицада беріктікті төмендеткен [14, 15].

Қазіргі жарияланымдар технологияның жалпы сұлбасын құруға жеткілікті, бірақ нақты құрамды таңдауға жеткіліксіз: деректер әртүрлі шайырлармен, қалдықтармен және сынақ әдістерімен алынған, ал полимербетон құрамын жобалаудың бірыңғай әдістемесі жоқ. Қазақстан үшін келесі қадам – жергілікті күлмен (мысалы, Екібастұз ЖЭС-інің күлімен) шайыр мөлшері мен толтырғыш үлесін бірнеше деңгейде өзгертіп, беріктікті, су сіңіруді және тығыздықты бір әдіспен өлшеу, сондай-ақ ауыр металдардың шайылуын тексеру.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Abdyrov A.M., Niyazbekova R.K., Serikbaev N.S. et al. Effect of ash and slag waste on the setting time of cement paste // Bulletin of L.N. Gumilyov ENU. Technical Science and Technology Series. 2023. № 4 (145). P. 98–110. https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-98-110

2. Alhazmi H., Shah S.A.R., Anwar M.K. et al. Utilization of polymer concrete composites for a circular economy: a comparative review for assessment of recycling and waste utilization // Polymers. 2021. Vol. 13, № 13. Art. 2135. https://doi.org/10.3390/polym13132135

3. Barbuta M., Harja M., Baran I. Comparison of mechanical properties for polymer concrete with different types of filler // Journal of Materials in Civil Engineering. 2010. Vol. 22, № 7. P. 696–701. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000069

4. Bedi R., Gupta N.K. Mechanical characterization of epoxy polymer concrete containing fly ash // Journal of Research Updates in Polymer Science. 2013. Vol. 2, № 4. P. 201–208. https://doi.org/10.6000/1929-5995.2013.02.04.3

5. Dębska B., Wojtaszek K., Altoé Caetano M. et al. Sustainable polyester composites containing waste glass for building applications // Sustainability. 2024. Vol. 16, № 2. Art. 719. https://doi.org/10.3390/su16020719

6. Ershova O.V., Ivanovskii S.K., Chuprova L.V. et al. Mineral industrial waste as a filler of polymer-matrix composites // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii. 2015. № 6. P. 196–199

7. Galkova A.V. Use of industrial waste in polymer concrete mixes for strengthening and repair of building structures // Molodoi uchenyi. 2024. № 28 (527). P. 25–28

8. Karim M.A., Seo Y. Concrete materials with recycled waste // Geopolymers – Advanced Materials With Various Applications. London: IntechOpen, 2026. https://doi.org/10.5772/intechopen.1017520

9. Lakhiar M.T., Bai Y., Wong L.S. et al. Mechanical and durability properties of epoxy mortar incorporating coal bottom ash as filler // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 315. Art. 125677. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125677

10. Li X., Gu J., Xu Y. et al. Review of component materials and diverse applications of polymer concrete // Materials. 2025. Vol. 18, № 12. Art. 2745. https://doi.org/10.3390/ma18122745

11. Malchiodi B., Siligardi C., Pozzi P. Unsaturated polyester-based polymer concrete containing recycled cathode ray tube glass aggregate // Journal of Composites Science. 2022. Vol. 6, № 2. Art. 47. https://doi.org/10.3390/jcs6020047

12. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Waste processing strategy in the power sector: a step towards the country's environmental stability [Электронный ресурс]. 26.03.2025. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/962622?lang=ru (дата обращения: 08.11.2026)

13. Mukanova A. Mercury, lead and arsenic are contained in the ash of Kazakhstan's power plants [Электронный ресурс] // Azattyq Rýhy. 26.03.2025. URL: https://rus.azattyq-ruhy.kz/news/83668-rtut-svinets-i-myshiak-soderzhatsia-v-zole-energopredpriiatii-kazakhstana/amp (дата обращения: 08.11.2026)

14. Rahman M.U., Li J. Influence of waste filler on the mechanical properties and microstructure of epoxy mortar // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, № 11. Art. 6857. https://doi.org/10.3390/app13116857

15. Sokolnikova S.R., Puzatova A.V. Development of a concrete–polymer waste–TiO2 composite // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2022. Vol. 12, № 6. P. 62–68

16. Sokołowska J.J. Long-term compressive strength of polymer concrete-like composites with various fillers // Materials. 2020. Vol. 13, № 5. Art. 1207. https://doi.org/10.3390/ma13051207