

UDC 691.3
IRSTI 67.09.55
RESEARCH ARTICLE

INVESTIGATION OF THE ISSUE OF INCREASING THE STRENGTH OF ARBOLITE BASED ON A MULTICOMPONENT BINDER

S. Zhanatuly , S.S. Uderbayev* , A.U. Zhapakhova , G.A. Zhakapbayeva 

Korkyt Ata Kyzylorda University, 120001, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. *An urgent issue in the construction industry is the introduction of resource-saving, energy-saving technologies in the production of building materials, products and structures. By reviewing foreign literary scientific works, it has been proved that it is possible to obtain composite materials – arbolite products based on vegetable agricultural waste such as cotton stalks, rice husks and its straw and other organic fillers. In particular, the following formulations have been adopted: (1) CHP ash – 60%; (2) CHP ash – 50%; (3) CHP ash 45% + rice husk ash 5%; (4) CHP ash-42% + rice husk ash 10%. The cement of the 3th and 4th composition and the ash of the CHP with the addition of rice husk ash are crushed in a ball mill with a specific surface area of up to 3500-4000 cm²/g. For the production of arbolite products, the technology of pressed arbolite, manufactured by conveyor method, has been applied. The compressive strength of arbolite samples based on various plant agricultural waste and a multicomponent binder was determined. The developed technological operations improve the physical properties of arbolite and increase its strength. As a result of experimental studies, the strength of arbolite with a density of 615 kg/m³ based on rice husks during compression was 2.5 MPa, arbolite with a density of 621 kg/m³ based on wood chips was 2.6 MPa, arbolite with a density of 605 kg/m³ based on cotton stems was 2.40 MPa, arbolite with a density of 614 kg/m³ based on mown rice straw-2.2 MPa and reed sawdust, the strength of arbolite with a density of 617 kg/m³ on the basis was 2.0 MPa.*

Keywords: *arbolite, compressive strength, multicomponent binder, ash of Kyzylorda CHP, ash of rice husk.*

***Corresponding author**

Saken Uderbayev, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-06>

Received 08 January 2024; Revised 12 February 2024; Accepted 18 March 2024

КӨПКОМПОНЕНТТІ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШ ЗАТ НЕГІЗІНДЕГІ АРБОЛИТТІҢ БЕРІКТІГІН КӨТЕРУ МӘСЕЛЕСІН ЗЕРТТЕУ

С. Жанатұлы , С.С. Удербаев* , А.У. Жапахова , Г.А. Жакапбаева 

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, 120001, Қазақстан

Андатпа. Құрылыс индустриясының өзекті мәселесі болып құрылыс материалдар, бұйымдар мен конструкциялар өндірісінде ресурсты, энергияны үнемдеуші технологияларды енгізу болып табылады. Шетелдік әдеби ғылыми жұмыстарға шолу жасау арқылы өсімдіктес ауылиарушалық қалдықтар – мақта сабақтары, күріш қауызы мен оның сабанынан композициялық құрылыс материалы – арболитті алуға болатыны дәлелденген. Атап айтқанда келесі құрамдар қабылданды: (1) ЖЭО күлі 60%; (2) ЖЭО күлі 50%; (3) ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; (4) ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі қосылды. 3 және 4-ші құрамдағы цемент пен ЖЭО күліне күріш қауызының күлі қосылып бірге шарлы диірменде меншікті беті 3500-4000 см²/г дейін майдаланды. Арболиттік бұйымдарды өндіру үшін конвейерлі тәсілмен дайындалатын пресстелетін арболиттің технологиясы қолданылған. Әртүрлі өсімдіктес ауылиаруашылық қалдықтар мен көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит үлгілерінің сығу кезіндегі беріктері анықталды. Жасалған технологиялық операциялар арболиттің физикалық қасиеттерін жақсартады және беріктігін күшейтеді. Эксперименталды зерттеулердің нәтижесінде күріш қауызы негізіндегі 615 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,5 МПа, ағаш жаңқасында негізіндегі 621 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің беріктігі 2,6 МПа, мақта сабақтары негізіндегі 605 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің беріктігі 2,40 МПа, шабылған күріш сабаны негізіндегі 614 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің беріктігі 2,2 МПа және қамыс үгінділері негізіндегі 617 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің беріктігі 2,0 МПа құрады.

Түйін сөздер: арболит, сығу кезіндегі беріктік, көпкомпонентті байланыстырғыш, Қызылорда ЖЭО күлі, күріш қауызының күлі.

*Автор-корреспондент

Сакен Удербаев, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-06>

Алынды 08 қаңтар 2024; Қайта қаралды 12 ақпан 2024; Қабылданды 18 наурыз 2024

УДК 691.3
МРНТИ 67.09.55
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ АРБОЛИТА НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА

С. Жанатұлы , С.С. Удербаев* , А.У. Жапахова , Г.А. Жакапбаева 

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, 120001, Казахстан

Аннотация. *Актуальным вопросом в строительной индустрии является внедрение ресурсосберегающих, энергосберегающих технологий в производстве строительных материалов, изделий и конструкций. Путем обзора зарубежных литературных научных работ доказано, что можно получать композиционные материалы – арболитовые изделия на основе растительных сельскохозяйственных отходов таких, как стебли хлопчатника, рисовой шелухи и ее соломы и других органических заполнителей. В частности, приняты следующие составы: (1) Зола ТЭЦ – 60%; (2) Зола ТЭЦ – 50%; (3) Зола ТЭЦ 45% + зола рисовой шелухи 5%; (4) Зола ТЭЦ-42% + зола рисовой шелухи 10%. Цемент 3-го и 4-го состава и зола ТЭЦ с добавлением золы рисовой шелухи измельчены в шаровой мельнице с удельной поверхностью до 3500-4000 см²/г. Для производства арболитовых изделий применена технология прессованного арболита, изготавливаемого конвейерным способом. Определена прочность при сжатии образцов арболита на основе различных растительных сельскохозяйственных отходов и многокомпонентного вяжущего вещества. Разработанные технологические операции улучшают физические свойства арболита и повышают его прочность. В результате экспериментальных исследований прочность арболита плотностью 615 кг/м³ на основе рисовой шелухи при сжатии составила 2,5 МПа, арболита плотностью 621 кг/м³ на основе древесной стружки – 2,6 МПа, арболита плотностью 605 кг/м³ на основе хлопковых стеблей – 2,40 МПа, арболита плотностью 614 кг/м³ на основе скошенной рисовой соломы – 2,2 МПа и тростниковой опилки. Прочность арболита плотностью 617 кг/м³ на основе составила 2,0 МПа.*

Ключевые слова: *арболит, прочность при сжатии, многокомпонентное вяжущее, зола Кызылординской ТЭЦ, зола рисовой лузги.*

*Автор-корреспондент

Сакен Удербаев, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-06>

Поступило 08 января 2024; Пересмотрено 12 февраля 2024; Принято 18 марта 2024

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Құрылыс материалдары мен бұйымдар индустриясы қазіргі кезде құрылыстың қарқынды дамуына елеулі әсер етуде. Сондықтан құрылыс нарығына сапалы құрылыс материалдармен қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі болып тұр. Бұл еліміздің экономикалық дамуына әсер етеді. Еліміздің әлеуметтік экономикалық ахуалын жақсартудың бір жолы – бұл тұрғын үй құрылысын, сонымен қатар жергілікті шикізаттардан құрылыс материалдарын өндіруді дамыту керектігі. Қызылорда облысының индустриалдық және инновациялық даму стратегиясының бағытнамасы отанымыздың экономикалық жағдайын дамытуға қомақты әсерін тигізеді.

Қазақстан Республикасында құрылыс индустриясының дамуы нарықтық жағдайға ауысуына байланысты зерттеушілердің алдына көптеген міндеттер қойды. Материалдық ресурстарды тиімді пайдалану, экологиялық таза технологияны құрылыс материалдарын өндіруге енгізу, сонымен қатар арзан жергілікті шикізат материалдарын және әр түрлі өндіріс қалдықтарын кеңінен өндіріске қолдану.

Құрылыс материалдарының өндірісінде өзекті мәселелердің бірі болып жергілікті шикізат материалдарын қолдану, қорүнөмдеуші технология жасау. Олар негізінен жергілікті кондициялық емес шикізат ресурстары, өндіріс қалдықтарының химиялық-минералогиялық құрамдары ұқсас болып келуі қажет. Сондықтан табиғи шикізат материалдарын үнемдеу технологиясын жасау және жаңа құрылыс материалдарымен қамтамасыз ету тиімді өзекті мәселе болып келеді. Оған арболит бұйымдарын жатқызуға болады.

Арболит шетел тілінен «ағаштыбетон» деген мағынаны білдіреді. Арболит, әдетте, ағаш дайындау, өңдеу өнеркәсіптерінің және ауылшаруашылық өндірісінің қалдықтары – толтырғыш есебінде және оны тұтқыр затпен біріктіру арқылы алынатын материал. Тұтқыр байланыстырушы зат ретінде кәдімгі портландцементтер және оның түрлері және жоғары беріктілікті гипс қолданылады. Сонымен бірге химиялық қоспалар қолданылады.

Органикалық толтырғыш заттардың ерекшелігі олардың құрамындағы қант, фенол, таниндер суда еріп, қант түзеп портландцементтің қатаюына кері әсерін тигізеді. Бұл зиянды әсерді жою не әлсірету үшін алдымен органикалық толтырғыштардың бетін минералды затпен бүркіп жабу және сонан соң толтырғышты тұтқыр байланыстырушы затпен араластыру, цементтің қатаюын жылдамдататын химиялық қоспа, яғни кальций хлоридын қосу қажет.

Ағаш қалдығы негізінде арболит құрылыс материалы ретінде Еуропа елдерінде, Америка және Канада мемлекеттерінде кеңінен қолданыс тапқан. Аталған елдерде олар кеңінен қолданылады және экологиялық жағынан тиімді және энергия үнемдейді. Арболит бұйымдары әр мемлекетте әр түрлі атаулармен аталады. Бұл құрылыс материалдары тек қана жеке тұрғын үйлерде емес, сонымен қатар басқа бағыттағы ғимараттар мен имараттарда қолданылуда. Ұсынылып отырған мақалада көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболитті өндіру кезінде Қызылорда ЖЭО күлі кешенді қолданылады және арболиттің беріктігін көтеру үшін механохимиялық активациялау жүргізіледі.

Қызылорда облысында күріш өсіру кеңінен қолданылады. Әр жыл сайын бұл аймақта ғана шикі күрішті өңдеу кезінде 50 мың тонна күріш қауызы бөлінеді. Күріш өңдеу қалдықтары мемлекетімізге үлкен шығын әкелетіні айтпаса да белгілі.

Оңтүстік Қазақстандағы ауылшаруашылық қалдықтарының көп бөлінуі арболит бұйымдары мен конструкцияларын өндіру технологиясын дамытуға үлкен жол береді. Арболит құрылыс материалы – белсенді конструктивті-жылуоқшаулағыш материал болып саналады және де ол өсімдік тектес толтырғыштан дайындалатын материал.

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Қазақстан Республикасында күріш өсіретін ірі өңір Қызылорда облысы болып табылады. Жыл сайын өңделмеген күріштің тек бір түрін өңдеу кезінде Қызылорда облысында 40 мың тоннаға дейін күріш шабағы мен сабан бөлінеді, бұл орасан зор үйінділерді құрайды. Деректерді және қалдықтардың басқа да түрлерін кәдеге жарату және қайта өңдеу өзекті мәселе болып табылады. Белгілі болғандай, құрамында целлюлоза бар толтырғыштарды пайдалана отырып, композициялық материалдарды өндіру үшін едәуір шикізат ресурстарының бірі ауыл шаруашылығы өндірісінің қалдықтары болып табылады. Мұндай бұйымдарды қолданудың тиімділігі көптеген зерттеулермен және өндіріске енгізудің практикалық нәтижесімен дәлелденген (**Marques et al., 2019, Marques et al., 2021, Portillo-Rodríguez, 2013, Chabannes et al., 2015**). Алайда органикалық толтырғыш өзінің табиғаты бойынша композициялық материалдардың техникалық қасиеттерін төмендетеді. Осыған байланысты мақаланың ұсынылған тақырыбы қасиеттері жақсартылған композициялық материалдарды алуға бағытталған.

Күріш әлемдегі ең көп өсірілетін астықтардың бірі болып табылады. Күріш қауызы жиынтық техникалық сипаттамалары бойынша композициялық материалдарды өндіру үшін толтырғыш ретінде жарамды (**Marques et al., 2019, Marques et al., 2021, Portillo-Rodríguez, 2013, Chabannes et al., 2015, Sassoni et al., 2013, Karade, 2010, Bassyouni&Waheed, 2013, Bisht, 2020**). Шикізат күрішті қайта өңдеу кезінде 20 пайызға дейін күріш қауызы бөлінеді, ол оны өртеген кезде, сондай-ақ қоқыс тастайтын жерлерде сақтаған кезде қоршаған ортаны ластайды (**Romasanta et al., 2017, Memon et al., 2011**). Көптеген зерттеушілер күріш қауызы мен оның сабанын гидравликалық байланыстырғыш затпен бірге қосып композициялық материалдарға алумен айналысты (**Behak&Peres, 2008, Chabannes et al., 2014**). Алайда, органикалық толтырғыштағы суда еритін «цементтік улар» заттардың бетонның беріктігіне теріс әсер ететінін атап өту қажет.

Келесі жұмыста автор (**Portillo-Rodríguez, 2013**) құрылыс индустриясында агроөнеркәсіптік кешенінің қалдықтарын пайдалануға арналған жұмыстарға шолу жасады. Шолу экологиялық мәселелердің баламасын оларды пайдалана отырып қарауға бағытталған. Атап айтқанда, күріш қауызын құрылыс материалдарының элементтерін дайындау үшін оның табиғи, ұсақталған немесе күлді күйінде пайдалану жөніндегі әдебиетке шолу жасалды. Бұл қабырға қалау, бетон және құрылыс ерітінділерін өндіру. Қолдану тиімділігі кремнеземнің жоғары құрамымен және осындай қоспаның пуццоландық қасиеттерімен дәлелденеді. Алайда жұмыста күріш кесегін құрылыс материалының бір түрінде кешенді пайдалану қарастырылмаған.

Ғалымдардың келесі жұмыстарында (**Behak&Peres, 2008, Bassyouni&Waheed, 2015**) күріш қауызы мен оның сабанын құрылыста қолдану тиімділігі қаралды. Күріш қауызын толық жағу қоршаған табиғи ортаны және атмосфераны ластайды. Осы жұмыстарды талдай отырып, аталған қалдықтарды пайдалану жөніндегі технологиялық және техникалық-экономикалық негізделген шешімдерді әзірлеу талап етіледі.

Келесі жұмыста авторлар (**Marques et al., 2019**) күріш қауызы бар цемент негізіндегі композиттердің қасиеттерін анықтау және зерттеу бойынша эксперименттік жұмыстар жүргізді. Олар цемент негізіндегі композиттерді ғимараттардың жылу және акустикалық сипаттамаларын жақсарту үшін қолдануға болатынын анықтады. Сондай-ақ авторлар бұл зерттеулерді құрылыс саласындағы қалдықтарды кәдеге жарату мәселелерін шешуге үлес қосу ретінде қарастырады.

Жоғарыда аталған авторлардың кейінгі жұмысында (**Marques et al., 2021**) күріш қауызынан, ағаш және резеңке түйіршіктерінен жасалған цемент негізіндегі композициялық материалдардың пайдалану сипаттамалары зерттелді. Жұмыс мақсаты – әзірленген композициялық материалдарды акустикалық тосқауылдар ретінде және жылу оқшаулағыш материалдар ретінде моноқабатты конструкцияларда пайдалану. Олардың механикалық, ұзақ

мерзімді және акустикалық сипаттамаларын анықтау үшін зертханалық сынақтардың кең спектрі жүргізілгенін атап өту керек. Олар күріш қауызынан жасалған цемент негізіндегі композициялық материалдарды ағаш және резеңке түйіршіктердегі композиттермен салыстырғанда жылу оқшаулағыш қабат ретінде пайдалануға болатынын дәлелдеді. Бұл жұмыс ауыл шаруашылығы өсімдік шаруашылығының жергілікті жанама қалдықтары жақсы экологиялық сипаттамалары бар композициялық қабырға материалдарын алу үшін пайдаланылуы мүмкін екенін тағы да дәлелдейді.

Келесі мақаласында зерттеушілер ([Romasanta et al., 2017](#)) күріш қауызын талшық ретінде пайдалану бойынша эксперименттер жүргізді. Күріш қауызының химиялық және физикалық қасиеттерін өзгерту жолымен оның бетін түрлендіру есебінен механикалық қасиеттерін жақсартуға ықпал ететін түрлендірудің әртүрлі әдістері қолданылды. Сонымен қатар, күріш қауызын пайдаланып жасалған композиттердің трибологиялық қасиеттерінің болуы талданды. Автордың пікірінше, бұл композиттерді қолдануды тежейтін болады. Біздің пікірімізше, күріш қауызы негізіндегі композиттердің, яғни арболиттің трибологиялық қасиеттерінің төмендеуі күріш қауызының үстіңгі бетінің модификациялануымен және композициялық материал компоненттерінің адгезиялық беріктігінің артуымен байланысты болады деп есептейміз.

Осы әдебиеттік шолу жүргізу арқылы көпкомпонентті байланыстырғыш зат, яғни Қызылорда жылу орталығынан жиналған күл үйінділердегі күлді механохимиялық активациялау арқылы цемент құрамына қосып арболиттің беріктігін көтеру мәселесін зерттеу болып табылады.

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Тәжірибелік жұмысты жүргізуге қолданылатын шикізат материалдары үшін портландцемент, шағыл құмы, күріш қауызынан толтырғыштар, барий және кальций хлориды, су қолданылады.

Портландцемент. Тәжірибелік жұмыста Жамбыл және Өскемен қалаларының цемент зауытында өндірілетін маркасы 400 болатын цемент қолданылды. Цемент МемСТ 10178-85, МемСТ 310.1-85, 310.2-85, 310.3-85, 310.4-85 стандартына сәйкес сынаудан өткізілді.

Төмендегі 1 және 2 кестеде Жамбыл және Өскемен қалаларында өндірілетін цементтің химиялық құрамы және олардың физика-механикалық қасиеттерінің сипаттамалары, ал 2.3 кестеде цементтің минералогиялық құрамы көрсетілген.

Қамырдың орташа тығыздығы –	24,9 %;
Ұстасуының басы –	2 сағ. 38мин.;
Ұстасуының соңы –	4 сағ. 26мин.;
Сығылу кезіндегі шектік беріктігі –	42,5 МПа;
Иілу кезіндегі шектік беріктігі –	5,7 МПа;
Конуста жайылуы –	110 мм.

1-кесте

Цементтің химиялық құрамы, % масса бойынша

Атауы	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O	к.к.ш.	Σ
Жамбыл цементі	61,48	23,38	6,09	6,38	1,09	0,60	0,38	0,52	99,92
Өскемен цементі	63,5	22,58	5,89	5,87	0,95	0,4	0,31	0,46	99,93

2-кесте

Цементтің физика-механикалық қасиеттері

Сипаттамасы	Жамбыл зауытының цементі	Өскемен зауытының цементі
Беттік үлесі, см ² /г	3550	3250
Цемент қамырының қалыпты қоюлығы, %	24,9	25,3
Ұстасуының басы, сағ.мин	2-28	2-03
Ұстасуының соңы, сағ.мин	3-40	2-55
Сығылу кезіндегі шектік беріктігі, МПа	38,3	40,7
Иілу кезіндегі шектік беріктігі, МПа	5,8	6,0

3-кесте

Цементтің минералогиялық құрамы

Зауыт	Минералдардың құрамы, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Жамбыл цементі	55	22	5	15
Өскемен цементі	56	25	4	15

Негізгі байланыстырғыш қызметін натрий силикатында ерітілген-сұйық натрийлі шыны атқарады. Ішкі көрінісі – сұрдан қызыл қоңыр түске дейінгі қою сұйықтық; кремнезем ерітіндісінен және суда ерітілген силикаттан тұрады, құрамының өзгешелігін Si – O – Si силиксандық жүйесіндегі k силикат атомдар санына байланысты болады. Егер k=1 тең болса онда бұл – төмен тұтқырлықтағы мономер ерітіндісі, k=2-25 кезінде олигомер ерітіндісі, k>25 және молекулалық массасы M<10⁶ болған кезінде поликремнеземді қышқыл тұтқырлы; молекулалық массасы M>10⁶ немесе бөлшектердің өлшемдері 5 нм болғанда – коллойдты кремнеземді болады.

Көпкомпонентті байланыстырғыш затқа минералды қоспа ретінде Қызылорда ЖЭО-нан жиналған күлі қолданылды. ҚНЖЕ-І.В.2-69 талаптарына сәйкес «Байланыстырғыш заттар, бетонға және ерітіндіге арналған бейорганикалық қоспалар» күлдің құрамында кремнезем 40%-дан кем емес, ангидрид қышқылы 3%-дан, тесу кезінде шығын 10%-дан аспауы керек. Қызылорда ЖЭО күлі жоғарыда көрсетілген талаптарды қанағаттандырады және келесі сипатта болады:

- Меншікті беті ПСХ-8АК (МемСТ 310-69) – 2550 см²/г,
- Жұту бойынша белсендігі СаО (МемСТ 6269-63) – 32 мг/г,
- нақты тығыздығы – 2,0 г/см³,
- үйінді тығыздығы – 955 кг/м³.

Ерітінді шыны М силикат модулімен сипатталады, натрий және кремнезем оксидтерінің молярлық қатынастарын көрсетеді:

$$M=K*SiO_2/Na_2O \quad (1)$$

мұндағы К – қышқыл оксидінің молярлық массасының кремнеземнің молярлы массасына қатынасын сипаттайтын коэффициент. Масса бойынша натрийлі сұйық шыныдағы кремнезем құрамы 69-76%.

Сұйық шыныны тәжірибеде қолдану МемСТ 13078-81 стандарттарын қанағаттандырады: тығыздығы – 1,35 г/см³; булаудан кейінгі құрғақ заттың құрамы – 45%; тостаған немесе шыны-аяқ тәрізді визкометр бойынша шартты тұтқырлығы – В3-4 – 20-25 с; силикат модулі – 2,0; рН – 10,8. Химиялық құрамы (масса бойынша %): SiO₂ – 32-34; Fe₂O₃ + Al₂O₃ – 0.25; СаО көп емес 0.2; SO₃ көп емес 0.18; Na₂O – 11-13.5; H₂O – 55.

Натрийлі сұйық шынының кремнефторлы натрийде катаю тендеуі:



Кремнофторидті натрий сұйық шыныда баяу ериді, осыған байланысты барлық технологиялық процестерді (араластыру, мөлшерлеу және тағы басқа) өмірге қауіпсіз шегінде жүргізуге болады. Басқа қоспалар – $MgSiF_6$ немесе $Al_2(SiF_6)_3$ сұйық шынымен тез әрекеттеседі және қоспа жылдам жайылымдылығын жояды.

Арболитті өндіру технологиясы және оған қосылатын шикізаттар МемСТ 19222-84 стандартының барлық талаптарына және шарттарына сәйкес болу керек.

Экспериментте толтырғыш ретінде ауылшаруашылық қалдықтары – күріш қауызы, күріш қауызы сабаны, гуза-пай және ағаш жоңқалары мен үгінділері қолданылды. Күріш қауызының техникалық сипаттамалары толтырғыш ретінде ТУ-822-11-78 талаптарына сай. Қолданылатын күріш қауызының фракциялық құрамы 4-кестеде берілген.

Күріш қауызының тығыздығы – 737 кг/м^3 , үйінді тығыздығы – 80-нен 150 кг/м^3 , тығыздау процесінде бұл көрсеткіш 400 кг/м^3 болады. Жылу өткізгіштік коэффициенті – $0,151 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$.

4-кесте

Күріш қауызының фракциялық құрамы

Қалдықтар, електегі ұяшық өлшемімен және електің массасы, %		
5 мм	2 мм	1 мм
89,5	8,5	2,0

Зерттеу көрсеткендей күріш қауызы екі бөліктен тұрады: органикалық және органикалық емес заттардан. Органикалық бөлігінің құрамында целлюлоза, лигнина, пентозана және аз мөлшердегі протеиндер мен витаминдер болады. Ал органикалық емес бөлігінің негізгі заты кремнезем болып табылады.

Химиялық қоспа ретінде келесі заттар қолданылды.

Кальций хлориді. $CaCl_2$ – ақ түсті ұнтақ, техникалық құрғақ, МемСТ 450–92 стандартының талаптарына сәйкес келеді және сұйық шыны;

Су. МемСТ 23732–94 стандарттарының талаптарына қанағаттандыратын, байланыстырғыш және арболит араласпасын дайындауға су құбыры арқылы берілетін ауыз су қолданылады.

Бастапқы және белсенді байланыстырғыштың сипаттамасын МемСТ 310.1-93 «Цементтер. Жұқа майдалануды анықтау әдісі», МемСТ 310.2-93 «Цементтер. Сынау әдістері», МемСТ 310.3-91 «Цементтер. Қалыпты қоюлықты, ұстасу мерзімін және көлемнің біркелкі өзгеруін анықтау әдістері», МемСТ 310.4-76 «Цементтер. Сығу және иілу кезіндегі берктікті анықтау тәсілдері» бойынша анықталған.

Зерттеліп отырған үлгілердің сығылып сынғандағы беріктігі (кгс/см^2 , МПа) төмендегі формула бойынша анықталды:

$$R_{сж} = P / F \quad (3)$$

мұндағы P – қиратушы салмақ, кгс ; F – күйдірілген үлгінің көлденең қиылысының ауданы, см^2 .

Иіліп сынғандағы беріктігі (кгс/см^2 , МПа) $40 \times 40 \times 160$ мм үлгідеі балка бойынша төмендегі формула бойынша анықталады.

$$R_{сж} = P1 / bh^2 \quad (4)$$

мұндағы P – сындырушы күш, кгс ; l – тіреулердің ара қашықтығы, см ; b – үлгінің ені, см ; h – үлгінің биіктігі, см .

Сығылып сынғандағы және иіліп сынғандағы үлгінің беріктігін анықтау үшін бес рет сынаманың нәтижесінің арифметикалық орташасы алынды.

Орындалған жұмыста кешенді физика-механикалық анализ әдістері қолданылды. Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің сусіңірімділік биіктігі МемСТ 25820-83 стандарт бойынша $10 \times 10 \times 10$ см куб әдісімен анықтайды. Ұсынылған технология бойынша дайындалған бұйымның сусіңірімділігі $70 \times 70 \times 70$ мм кубиктерде анықталды.

4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Бетонның сапасы негізінен қолданылатын шикізаттың сапасына, нақты айтсақ олардың потенциалдық жағдайы немесе мүмкіншілігін байланысты екенін айтамыз. Егер бұйым мықты және сапалы болатын болса, онда оның конструкциялық немесе ғимарат жұмыстарының қасиеттеріне жақсы әсер етеді. Бетонның маңызды қасиеттерінің бірі – сығылып сынғандағы беріктігі болып табылады.

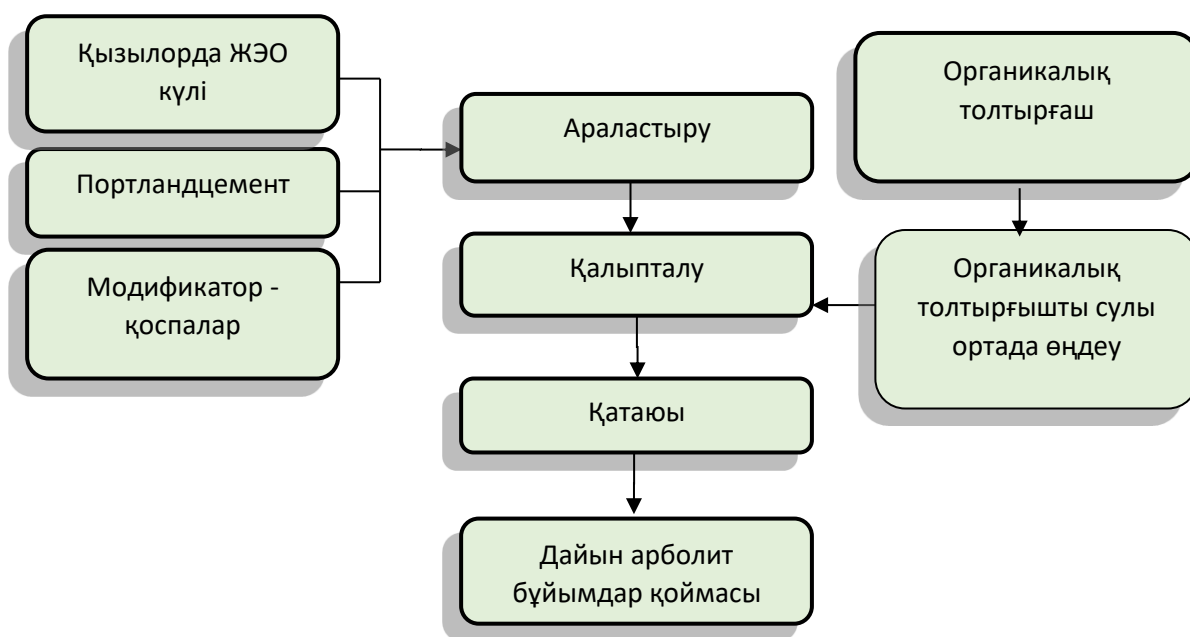
Қазіргі кезде тұрғын үй құрылысы құрылыс материалдарына және бұйымдарына беріктілік, ұзақ мерзімді қолдану, жылуөткізгіштік және экономикалық тиімділік қасиеттерінің жоғары дәрежеде болуын талап етеді. Жақсы қасиеттерімен және құрылыста кеңінен қолданылуы, сонымен қатар экономикалық тиімділігі жағынан шаруашылық ресурстарынан жасалынған құрастырылымды материалдар сұранысқа ие. Көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит материалдары осы талаптарға сәйкес келеді.

Арболиттің беріктігі мен тығыздығын анықтау үшін көптеген зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттеу жұмыстарының негізгі мақсаты біріншіден бұйымның беріктігін жоғарлату. Зерттеу жұмыстарын жүргізу кезінде өндіріс процесінде шикізаттың дайындалуы есепке алынбайды.

Сондықтан әрбір технологиялық процесте «беріктілік көрсеткіші» деген сауал туындайды, яғни күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің компоненттеріне жоғары белсенділікте әсер етеді. **1-суреттен** де оны аңғаруға болады.

Зерттеулерде күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің физикалық-механикалық қасиетін жоғарлату үшін шикізат құрамына күріш қауызы және сабан қосылады. Күріш сабаны арнайы қондырғыда майдаланады. Жіңішке талшықтарды қолдану қатаятын байланыстырғышты толтырғышпен, яғни күріш қауызымен жақсы байланысады. Қолданылған әдістер көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболитқұрылымында тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Арболитті дайындау кезіндегі маңызды технологиялық процестің бірі толтырғыштарды дайындау яғни, толтырғыштарды сұйық ортада өңдеу болып табылады. Толтырғыштарды дайындаудың екі тәсілі бар: біріншісі – суда еритін заттарды локализациялау, толтырғыштың денесіне химиялық қоспалар қосу арқылы және басқада әдістер арқылы сіңіру; екіншісі – толтырғыштардан суда еритін заттарды бөліп алу.



1-сурет – Жоғары беріктіктегі арболитті дайындаудың технологиялық сызбасы (авторлардың материалы)

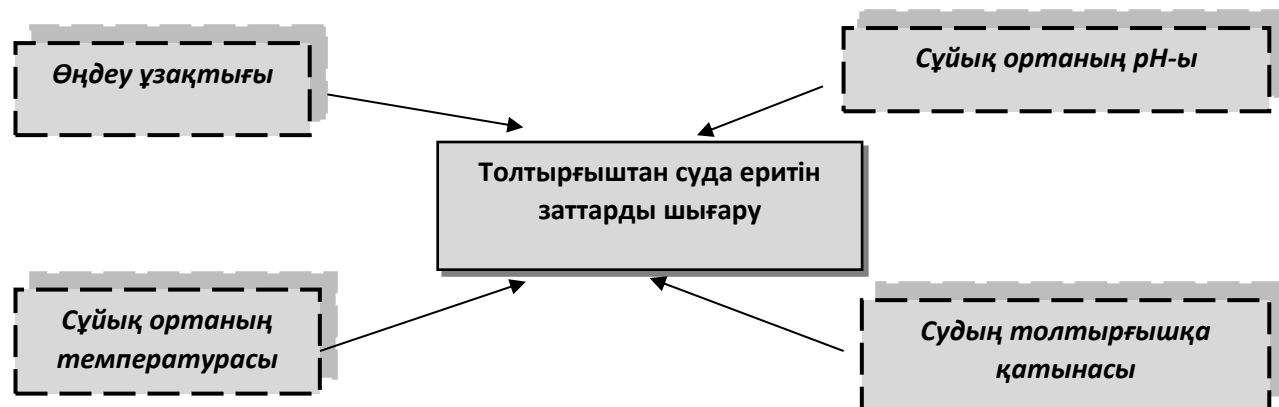
Соңғы жылдары ағаш және ауылшаруашылық қалдықтары – күріш қауызы мен сабағын, қамыс тұқымдарын суда еритін заттарлы нетрализациялау үшін (әк және цемент сүті, сұйық шыны, кальций хлориді, темір күкірт қышқылы, магний фторлы тұзы, магний күкірт қышқылы және т.б) химиялық өңдеу арқылы көптеген зерттеу жұмыстары жүргізілген. Бірақ көптеген зерттеу жұмыстары өңдеу процесінің қиындықтарына байланысты яғни, химиялық реактивтердің тапшылығынан немесе өндірудің қымбатқа түсуінен кең қолданылмай жатыр. Сондықтан арболит өндірісіне химиялық қоспаларды қолдану кең таралмаған.

Тәжірибеде жиі қолданылатын әдістердің бірі – толтырғыштарды сулы ортада дайындау. Бірақ мұндай әдіс толтырғыштардан суда еритін заттарды бөліп алу нәтиже бермейді.

Сондықтан ғылыми-зерттеу жұмыстарының бір бағыты болып органикалық толтырғыштардан (ағаштардың және ауылшаруашылық мәдениетінің қалдықтары) зиянды заттарды тиімді нетрализациялау әдіс және талап етілген қасиеттерді алу болып табылады.

Көпкомпонентті материалдардың беріктігі элементтердің беріктігі мен құрылымдық элементтерің арасындағы байланыс беріктігіне байланысты екені белгілі. Арболитте құралған компоненттер (ағаш пен цемент) беріктігі жоғары: ағашта – 15, цементе – 40МПа. Сол уақытта арболит беріктігі тәжірибеде 1,5 және 2,2 МПа жоғарламайды. Арболит беріктігін анықтаудың бір факторы болып әртүрлі бөлшектердің байланысу беріктігі болып табылады. Ары қарай «күлцемент-органикалық толтырғыштар» байланысу аймағындағы адгезиясын зерттеу және органикалық толтырғыштарды өндеудің тиімді тәсілін орнату.

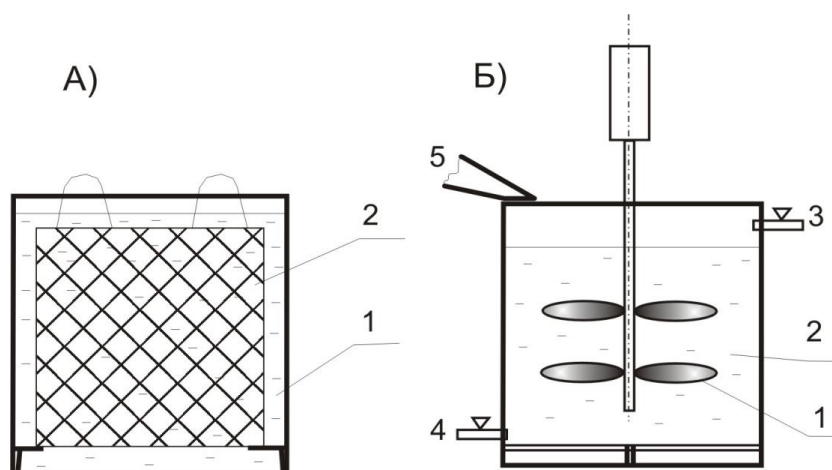
Технологиялық процестерді зерттеудің бірі – толтырғыштарды өңдеу. Тәжірибе орындау кезінде органикалық целлюлозоқұрамды толтырғыштарды әртүрлі факторларының әсерін есепке алу керек (**2-сурет**).



2-сурет – Толтырғыштардан суда еритін заттарды бөліп алу процестердің әсері мен факторы (авторлардың материалы)

Органикалық толтырғыштарды (ағаш) дайындау үшін толтырғыштарды сулы ортада өңдеу, яғни шаю арқылы жүргізіледі. Жұмыстың авторы (**Uderbayev, 2008**) толтырғыштар мен судың тиімді қатынасын 1:10 және 1:15 қабылдаған. Бұл қатынаста органикалық толтырғыштарды сулы ортада өңдеу ұзақтығы 15 минутқа тең. Келесі технологиялық процессте өңделген органикалық толтырғыштар көпкомпонентті байланыстырғыш заттармен араластырылады.

Бірінші қарастырылатын әдіс торлы контейнер – қозғалмайтын ортадағы сыйымдылық, екінші әдіс мәжбүрлі матыру экстрактивті заттарды жоюды тездету (**3-сурет**).



3-сурет – Органикалық толтырғыштарды сулы ортада өңдеуге арналған құрылғы:

- а) қозғалмайтын ортада матыру. 1 – сулы контейнер; 2 – толтырғыш толтырылған торлы контейнер.
 б) мәжбүрлі матыру. 1 – қалақты араластырғыш; 2 – сулы цилиндрлі сыйымдылық; 3, 4 – сәйкесінше суды беру және қалдық сұйықтықтың шығуы; 5 – органикалық толтырғыштарды беру астауы (авторлардың материалы)

3 (а) суретте көрсетілгендей органикалық толтырғыш торлы контейнерге салынып, толығымен судың ішінде өңделеді. Сыртқы контейнер мен ішкі торлы контейнердің орналасқан кезіндегі бір-бірінен арақашықтығы 30-40 мм болатындай қабылданған. Ал, **3 (б) суретте** көрсетілгендей контейнерде органикалық толтырғыш сумен бірге механикалық араластырылады. Бұл қондырғыда органикалық толтырғыштың құрамындағы суда еритін заттар белсенді шығарылады.

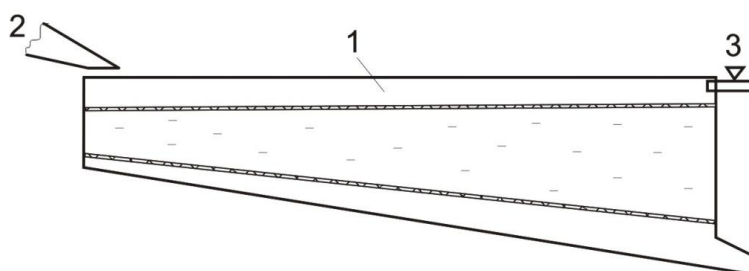
Тәжірибеде толтырғыштарды сулы немесе сұйық ортада өңдеу стационарлы және ағынды режимде іске асырылады. Стационарлы әдіс кезінде суда еритін заттарды жою процесі толығымен жүзеге асырылмайды, сондықтан арболиттің физика-механикалық қасиетіне әсер етеді. Ағындық сулы немесе сұйық ортада өңдеу әдісі кезінде судың шығыны көп болады.

Сұйық ортада толтырғыштарды өңдеу Люберес және Түмен арболит зауыттарында, «Дюризол» (Австрия) фирмасында жүзеге асырылды.

Өңдеудің тиімді түрі ағымдық суда толтырғыштарды өңдеу. Бірақ, жоғарыда айтылғандай, мұндай әдісте судың шығыны жоғарылайды (**4-сурет**).

Көптеген өндірісте, әсіресе шет елдерде, тек қана қылқанды тұқымды толтырғыштар қолданылад. Қылқанды тұқымды толтырғыштардан жасалған арболит беріктігі, жапырақты толтырғыштарға қарағанда жоғары.

Қазіргі кезде құрылыс материалдарының қасиетіне, құрылымына және экологиялық-экономикалық тиімділігіне жоғары талап қойылуда. Сонымен қатар, өндіріс қалдықтарын қолданып сапалы құралыс материалдарын өндіру міндеттері қойылған. Осы талаптардға жауап беретін көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболитті алуға болады.



4-сурет – Ағындық суда өңдеу құрылғысы:

- 1 – сулы контейнер; 2 – органикалық толтырғыштарды беру астауы; 3 – суды беру (авторлардың материалы).

Түйірлерінің мөлшері шамамен 2-20 мм толтырғыштар қылқан жапырақты (қарағай, шырша, бал қарағай, сағыз қарақай, май қарақай) ағаштардың діні, тақтайлар, т.б. бұйымдар өндіргенде жиналатын қалдықтарды (бұтақтарды, кесінділерді, жанқаларды), сонымен қатар зығыр, сора және мақта сабақтарын, т.б. ұсату арқылы дайындалады. Үлкен қалдықтар (кесінділер, бұтақтар) алдымен шабқыш, онан соң ұсатқыш машиналардан өтеді, ал өлшемі кішілері (сора, зығыр сабақтары, жоңқа) тек қана ұсатылады.

Органикалық толтырғыштар негізіндегі бетондарда қолданылатын түйірлердің ұзындығы 40 мм-ден, ені 10 мм-ден, қалыңдығы 5 мм-ден аспауы тиіс; тесіктері 2 мм елеуіштен өтетін түйірлердің мөлшері 5%-тен аспауы, ал тесіктері 10 мм, 5 мм және 2 мм елеуіштердегі қалдықтар (жеке меншікті) сәйкесінше 30%-тен, 60%-тен және 5%-тен аспауы керек. Ағаш қалдықтарынан өндірілген толтырғышта қабықтың, қылқандардың және жапырақтардың мөлшері 5%-тен аспауы, ал сора, зығыр, мақта сабақтарынан өндірілген түйірлерде қылқыбыр және талшық мөлшері 4%-тен аспауы тиіс.

Қызылорда ірі күріш өндіруші облыс болып табылады. Қолданылмайтын күріш қалдықтары мемлекетімізге үлкен шығын әкелетіні айтпаса да белгілі.

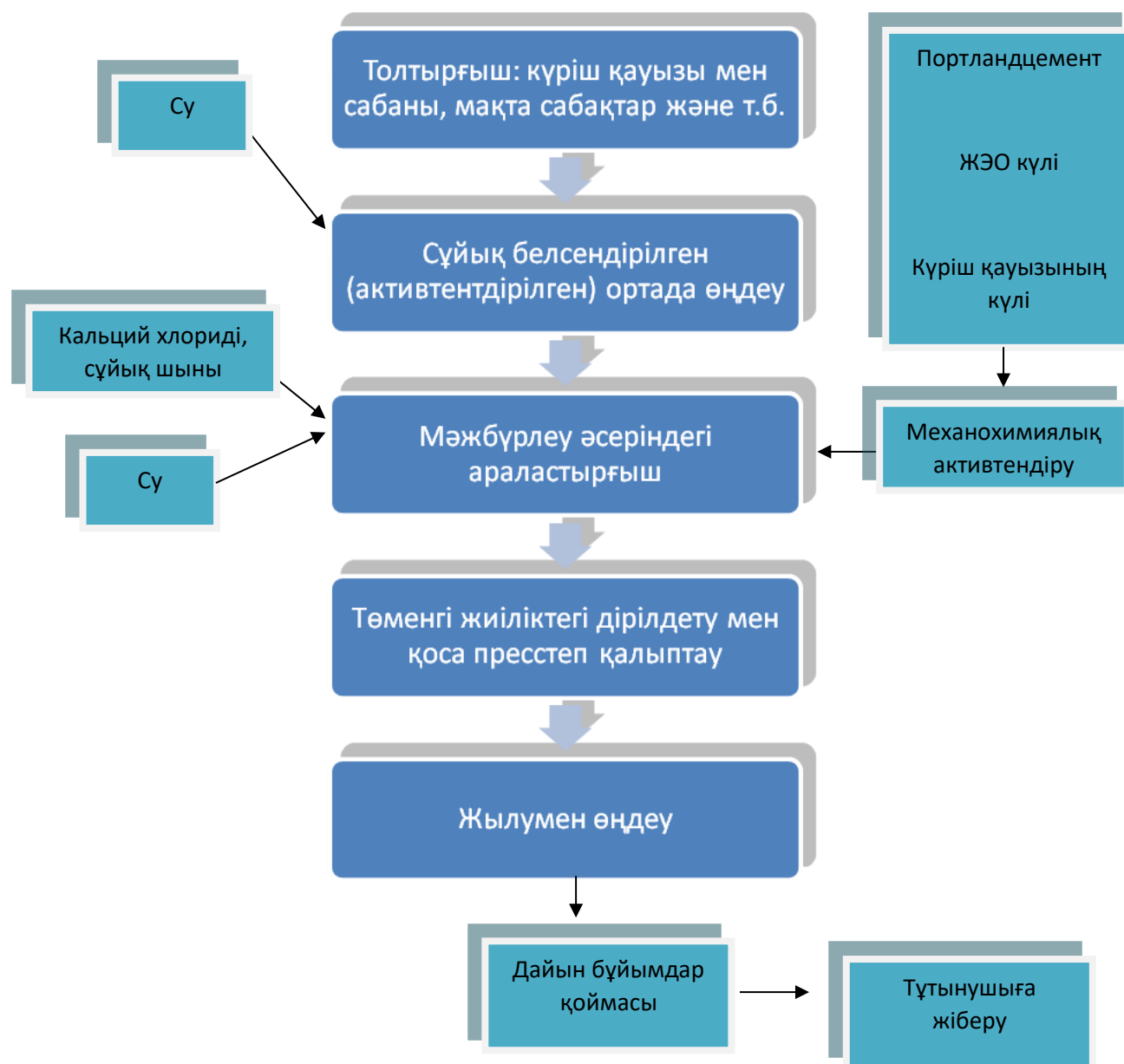
Оңтүстік Қазақстандағы ауылшаруашылық қалдықтарының қолжетімділігі, төмен бағалануы органикалық толтырғыштар негізіндегі бетонды өндіру технологиясын дамытуға үлкен мүмкіндік береді. Органикалық толтырғыштар негізіндегі құрылыс материалы – белсенді конструктивті-жылуоқшаулағыш материал, өсімдік тектес толтырғыштан дайындалатын материал.

Органикалық толтырғышты бетонның компоненттері өздерінің табиғатына және материалдың қасиетіне байланысты әр түрлі.

Табиғи өсімдік тектес толтырғыштарды қолдану МемСТ 19222-84 стандартының талаптарына сәйкес қолданылады. Қазіргі кезде құрылыс материалын алуға жаңа шикізат түрі күріш қауызына аса назар аударылуда.

Толтырғыш ретінде ауылшаруашылық қалдықтарын (күріш қауызын және собығы т.б.) қолдануға болады. Қызылорда облысы ірі күріш өндіретін аудан екені белгілі. Күріш қауызының техникалық сипаттамалары толтырғыш ретінде ТУ-822-11-78 талаптарына сай. Келесі **5-суретте** көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит өндірісінің технологиялық сұлбасы көрсетілген.

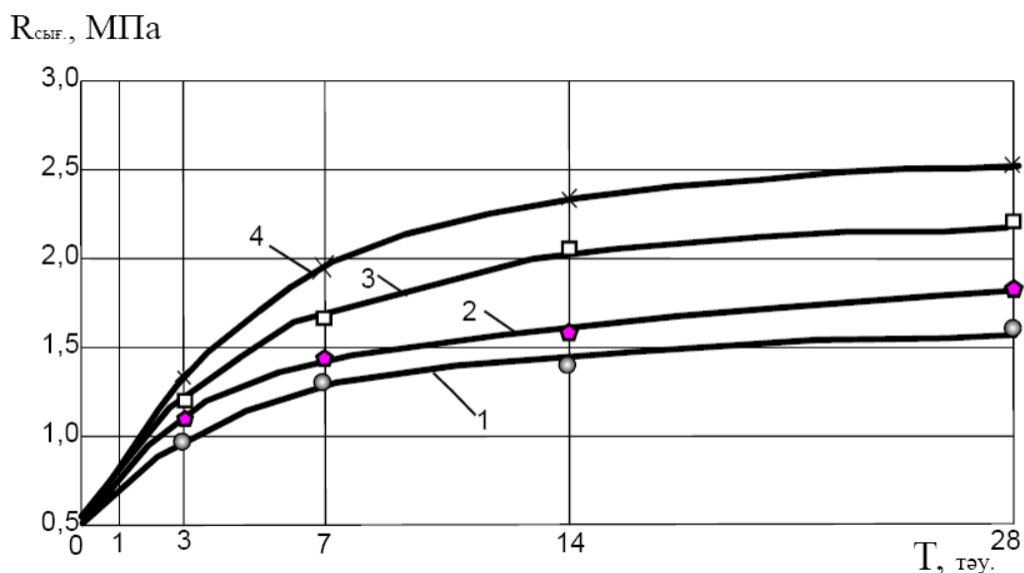
Бұл сұлба бойынша (**5-сурет**) алынған арболиттің көлемдік массасы $600-700 \text{ кг/м}^3$, ал аязға төзімділігі 30 – 35 цикл. Сондықтан органикалық толтырғышының ұстасу уақыты аз болғандықтан, электр энергиясының шығынын төмендетіп жоғары сапалы арболит материалын алуға болады. Көпкомпонентті байланыстырғыш зат Қызылорда жылу орталығының күлінен, портландцементтен және күріш қауызының күлінен тұрады. Оның шикізаттық компоненттерінің 5 құрамы бойынша арболит үлгілері дайындалды. Атап айтқанда келесі құрамдар қабылданды: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі қосылды (**Uderbayev et al., 2021**). 4 және 5-нші құрамдағы цемент пен ЖЭО күліне күріш қауызының күлі қосылып бірге шарлы диірменде меншікті беті $3500-4000 \text{ см}^2/\text{г}$ дейін майдаланды. Органикалық толтырғыштар сілтілі сулы ортада өңделді. Суды қатты органикалық толтырғышқа қатынасы 1:10-ға тең болып қабылданды (**Uderbayev et al., 2018, Uderbayev et al., 2022**).



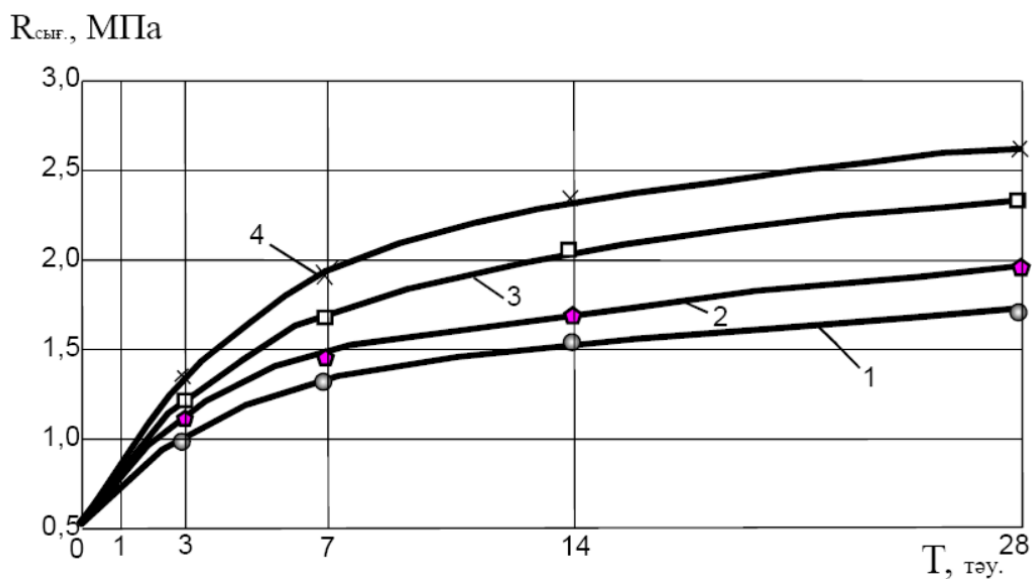
5-сурет – Көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит өндірісінің технологиялық сұлбасы (авторлардың материалы)

Ұсынылған әдіс бойынша тиімді жылу оқшаулағыш құрылыс материалдарын өндіруде ауылшаруашылығында қайта өндірілетін қалдықтарын кәдеге жарату мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Осы ұсынылған тәсілмен дайындалған арболит, өзінің жылутехникалық сипаттамасы бойынша дәстүрлі кірпіш қабырғадан, керамзитті бетонды панельдерден кем түспейді, сонымен қатар, күрделі шығындар бойынша оның өзіндік құны көрсетілген материалдардан әлдеқайда төмен.

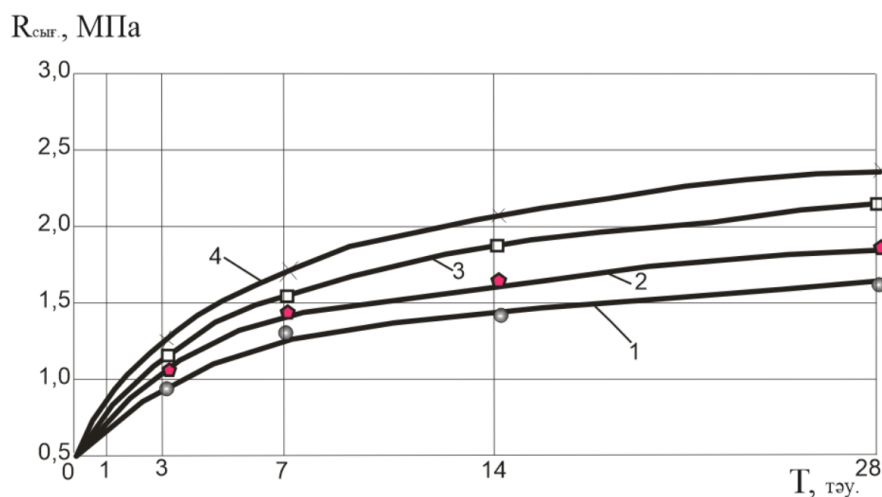
Арболиттің қысу кезіндегі беріктігі өңдеу тәсіліне байланысты келесі **6-10 суреттерде** көрсетілген.



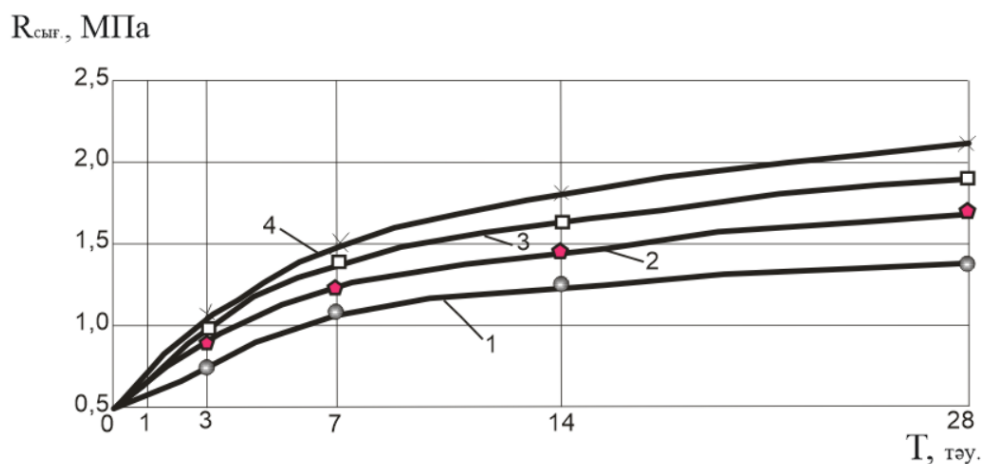
6-сурет – Органикалық толтырғыш – күріш қауызы және көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы ЖЭО күлінің қосылысына байланысты 615 кг/м^3 тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігіне тәуелділігі. 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі (авторлардың материалы)



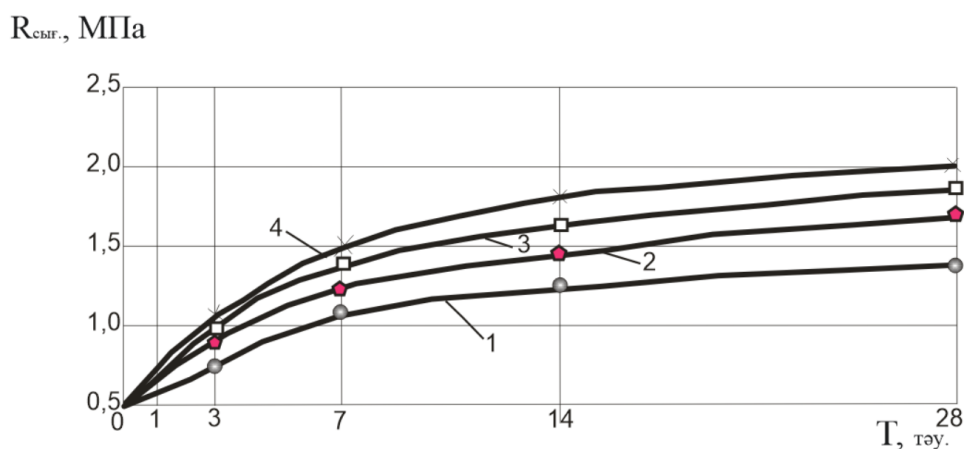
7-сурет – Органикалық толтырғыш-кылқанды ағаш жынысының майдаланған қалдықтары және көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы ЖЭО күлінің қосылысына байланысты 621 кг/м^3 тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігіне тәуелділігі: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі (авторлардың материалы)



8-сурет – Органикалық толтырғыш – мақта сабақтарын (гуза-пай) қалдықтары және көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы ЖЭО күлінің қосылысына байланысты 605 кг/м^3 тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігіне тәуелділігі: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі (авторлардың материалы)



9-сурет – Органикалық толтырғыш – шабылған күріш сабаны және көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы ЖЭО күлінің қосылысына байланысты 614 кг/м^3 тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігіне тәуелділігі: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі (авторлардың материалы)



10-сурет – Органикалық толтырғыш-шабылған қамыс және көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы ЖЭО күлінің қосылысына байланысты 617 кг/м^3 тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігіне тәуелділігі: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 – ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі (авторлардың материалы)

6-10 суреттерде көрсетілгендей, 5-10% мөлшерінде күріш қауызының күлі көп-компонентті байланыстырғыштың құрамына енгізу арқылы арболиттің беріктігінің елеулі өсуін байқауға болады. Сонымен қатар, сұйық ортада өңделетін органикалық толтырғыш сол рН ортаның көрсеткіші сілтіліден (рН=8,82) қышқылға дейін (рН=5,91) өзгерту арқылы арболиттің физикалық механикалық қасиеттері өзгеретіні дәлелденген.

5 ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Арболиттік бұйымдарды өндіру үшін конвейерлі тәсілмен дайындалатын пресстелетін арболиттің танымал технологиясы қолданылған. Мұнда сапалы арболиттік бұйымдарын алу мақсатында технологиялық параметрлер мен қалыптау шарттары оңтайлы қабылданған.

Эксперименттік зерттеулер жүргізу алдында күріш қауызының фракциялық құрамы, қолданылатын цементтің химиялық және минералогиялық құрамы мен оның физика-механикалық қасиеттері анықталды.

Әртүрлі өсімдіктес ауылшаруашылық қалдықтар, яғни органикалық толтырғыш пен көпкомпонентті байланыстырғыш зат құрамындағы Қызылорда ЖЭО күлінің қосылысына байланысты беріктері анықталды. Шикізаттар компонентінің 5 құрамы бойынша арболит үлгілері дайындалды. Атап айтқанда келесі құрамдар қабылданды: 1 – ЖЭО күлі 60%; 2 – ЖЭО күлі 50%; 3 – ЖЭО күлі 45% + 5% күріш қауызының күлі; 4 ЖЭО күлі 42% + 10% күріш қауызының күлі қосылды.

Күріш қауызы күлі қосылған 4 және 5-нші құрам Қызылорда ЖЭО күлі мен портландцементпен бірге қосылып шарлы диірменде меншікті беті 3500-4000 см²/г дейін майдаланды. Органикалық толтырғыштар сілтілі сулы ортада өңделді. Суды қатты органикалық толтырғышқа қатынасы 1:10-ға тең болып қабылданды.

Жасалған технологиялық операциялар арболиттің физикалық қасиеттерін жақсартады және беріктігін күшейтеді. Эксперименталды зерттеулердің нәтижесінде күріш қауызы негізіндегі 615 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,5 МПа, ағаш жаңқасында негізіндегі 621 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,6 МПа, мақта сабақтары негізіндегі 605 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,40 МПа, шабылған күріш сабаны негізіндегі 614 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,2 МПа, қамыс үгінділері негізіндегі 617 кг/м³ тығыздықтағы арболиттің сығу кезіндегі беріктігі 2,0 МПа құрады.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. **Marques, B., Tadeu, A., Almeida, J., António, J.** (2019). Experimental characterisation of cement-based composites with rice husk. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 14 (2), 147-153. <https://doi.org/10.2495/DNE-V14-N2-147-153>
2. **Marques, B., Almeida, J., Tadeu, A., António, J., Santos, M. I., de Brito, J., & Oliveira, M.** (2021). Rice husk cement-based composites for acoustic barriers and thermal insulating layers. *Journal of Building Engineering*, 39, 102297. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102297>
3. **Portillo-Rodríguez, A. M.** (2013). Characterization of materials formed by rice husk for construction. 2nd International Meeting for Researchers in Materials and Plasma Technology IOP Publishing *Journal of Physics: Conference Series* 466 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/466/1/012038>
4. **Chabannes, M., Garcia-Diaz, E., Clerc, L. & Bénétet, J.-C.** (2015). Studying the hardening and mechanical performances of rice husk and hemp-based building materials cured under natural and accelerated carbonation. *Construction and Building Materials*, 94, 105–115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181500714X>

5. **Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M., Canti, M.** (2014). Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. *Energy and Buildings*, **77**, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.033>
6. **Karade, S.R.** (2010) Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and Building Materials*, **24**, 1323–1330. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.003>
7. **Bassyouni, M. & Waheed Ul Hasan, S.** (2015). 13 - The use of rice straw and husk fibers as Reinforcements in composites. In *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 385–422. <http://doi.org/10.1533/9781782421276.4.385>
8. **Bisht, N., Gope, P. C., Rani, N.** (2020). Rice husk as a fibre in composites: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, **29** (1), 147–162. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2020-0015>
9. **Romasanta, R. R., Sander, B. O., Gaihre, Y. K., Alberto, M. C., Gummert, M., Quilty, J., Nguyen, V. H., Castalone, A. G., Balingbing, C., Sandro, J., Correa, T. & Wassmann, R.** (2017). How does burning of rice straw affect CH₄ and N₂O emissions? A comparative experiment of different on-field straw management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **239** (15), 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.042>
10. **Memon, S., Shaikh S., Akbar, H.** (2011). Utilization of Rice Husk Ash as viscosity modifying agent in Self Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, **25** (2), 1044–1048. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.074>
11. **Behak, L., Peres, W.** (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, **23** (1), 34–41. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732008000100004>
12. **Chabannes, M., Bénézet, J.-C., Clerc, L. & Garcia-Diaz, E.** (2014). Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. *Construction and Building Materials*, **70**, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.025>
13. **Uderbayev S.S.** (2008). Monograph: Effective building material - arbolite based on agricultural waste". Almaty: "Gylym". [Monografiya: Jeffektivnyj stroitel'nyj material arbolit na osnove sel'skohozjajstvennyh othodov. Almaty: Gylym.] (In Russ).
14. **Uderbayev S.S., Bissenov K.A., Zhanatuly S., Arystanbek A.B.** (2021). Utility model Patent No. 6149. The method of making arbolite products. RSE "National Institute of Intellectual Property" of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan. [Patent na poleznuju model' № 6149. Sposob izgotovlenija arbolitovyh izdelij. RGP «Nacional'nyj institut intellektual'noj sobstvennosti» MJu RK.] (In Russ).
15. **Uderbayev S. S., Sadirslam A. A., Zhanatuly S., Onaibekov B. K.** (2021). Features of the use of arbolite walls based on rice husk. XV International scientific and practical conference. Global science and innovation 2021: Central Asia, 4(15), Series "Technical Sciences". Nursultan, 55–60 [Kyrish kauzy negizindegi arbolitten zhasalghan kabyrgalary pajdalanu erekshelikteri. XV Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. Global'naja nauka i innovacii 2021: Central'naja Azija, 4(15), Serija "Tehnicheskie nauki". Nursultan, 55–60] (In Kaz).
16. **Uderbayev S.S., Zhanatuly S., Akbarov S.M.** (2022). Influence of activation methods of gold-cement binder on the strength of arbolite products. Proceedings of the XVII international scientific and Practical Conference "European science of the XXI century-2022", Volume 3 Science and studies, 42–46 [Vlijanie sposobov aktivacii zolocementnogo vjazhushhego na prochnost' arbolitovyh izdelii. Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Evropejskaja nauka XXI veka-2022", Tom 3: Nauka i issledovanija, 42–46] (In Russ).