ҒТАМР 61.35.09, 67.09.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1072**

КАОЛИН НЕГІЗІНДЕГІ ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕЙТІН СИЛИКАТ КІРПІШІНІҢ ҚҰРАМЫН, ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

[1]А.Б. Ниязбекова, [1]Л.И. Байтлесова, [2]М.Ж. Алмагамбетова✉, [2]Г.М. Губайдуллина, [3]Э.Б. Жунусова, [3]Ш.Ж. Усенкулова

[1]Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,
[2]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: maira0815@mail.ru*

Зерттеу жұмысы жергілікті каолин негізіндегі шикізатты пайдалану арқылы силикат материалдарының физика-механикалық қасиеттерін жан-жақты талдауға бағытталған. Силикат кірпіштер байытылған және байытылмаған каолин, сөндірілген әктас және кварц құмының негізінде автоклавты өңдеу әдісі арқылы дайындалды. Автоклавты өңдеудің параметрлері 175-200 °С температурада және 0,8-1,4 МПа қысымда жүзеге асырылды. Бұл жағдайлар материалдың тығыз микроструктурасын қалыптастыруға ықпал етіп, оның беріктік және суға төзімділік қасиеттерін айтарлықтай жақсартты. Зерттеу нәтижелері каолинді қолдану кірпіштің физика-механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Рентгенофазалық талдау кірпіштің құрамында кварц, муллит, анортит және магнетит сияқты жоғары тиімді фазалардың бар екенін анықтады, бұл материалдың құрылымдық тұтастығын және пайдалануға жарамдылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, байытылған каолин қосылған материалдардың су сіңіру, бу өткізгіштік және термофизикалық қасиеттері бойынша МЕМСТ талаптарына толық сәйкес келетіні анықталды. Құрамындағы фазалардың арақатынасы, соның ішінде кальций гидросиликаттары мен гидрогранаттардың түзілуі, автоклавты өңдеудің энергия үнемдеу тиімділігін арттырып, материалдардың сапасын қамтамасыз етті. Жалпы, зерттеу жұмысы жергілікті шикізат каолинді пайдалану арқылы энергия шығынын төмендетіп, жоғары сапалы құрылыс материалдарын өндірудің мүмкіндігін дәлелдеді. Бұл әдіс экономикалық тиімділігі мен экологиялық тұрақтылығымен ерекшеленеді, сонымен бірге өндірістік масштабта құрылыс индустриясында қолдануға лайықты шешім болып табылады.

Түйін сөздер: силикат кірпіші, байытылған каолин, байытылмаған каолин, автоклав, әктас.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОГО СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ КАОЛИНА

[1]А.Б. Ниязбекова, [1]Л.И. Байтлесова, [2]М.Ж. Алмагамбетова✉, [2]Г.М. Губайдуллина, [3]Э.Б. Жунусова, [3]Ш.Ж. Усенкулова

[1]Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан,
[2]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: maira0815@mail.ru

Данное исследование посвящено изучению физико-механических свойств силикатных материалов, полученных на основе местного сырья – каолина. Силикатные кирпичи были изготовлены методом автоклавной обработки с использованием обогащенного и необогащенного каолина, гашеной извести и кварцевого песка. Параметры автоклавной обработки составили 175-200 °С температуры и 0,8-1,4 МПа давления, что позволило сформировать плотную микроструктуру материала и значительно улучшить его прочностные и водостойкие характеристики. Результаты исследования показали, что использование каолина как добавки существенно улучшает физико-механические свойства кирпича. Рентгенофазовый анализ выявил наличие в составе кирпича таких фаз, как кварц, муллит, анортит и магнетит, которые способствуют повышению структурной целостности и эксплуатационных свойств материала. Также было установлено, что образцы с добавлением

обогащенного каолина соответствуют требованиям ГОСТ по водопоглощению, паропроницаемости и термофизическим характеристикам. Формирование кальций-гидросиликатов и гидрогранатов в процессе автоклавной обработки позволило повысить энергоэффективность технологии и обеспечить высокое качество полученных материалов. Таким образом, проведенное исследование подтвердило возможность использования местного каолина для производства энергоэффективных строительных материалов, отвечающих современным стандартам качества. Разработанный метод обладает высокой экономической эффективностью и экологической устойчивостью, что делает его перспективным решением для строительной индустрии в промышленных масштабах.

Ключевые слова: силикатный кирпич, обогащенный каолин, необогащенный каолин, автоклав, известняк.

RESEARCH ON THE COMPOSITION, PROPERTIES, AND STRUCTURE OF KAOLIN-BASED ENERGY-SAVING SILICATE BRICKS

[1]A.B. Niyazbekova, [1]L.I. Baytlesova, [2]M.Zh. Almagambetova✉, [2]G.M. Gubaidullina, [3]E.B. Zhunussova, [3]Sh.Zh. Ussenkulova

[1]West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan,
[2]West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan,
[3] K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: maira0815@mail.ru

This study focuses on examining the physical and mechanical properties of silicate materials produced from local raw materials – kaolin. Silicate bricks were manufactured using the autoclaving method, utilizing both enriched and unenriched kaolin, slaked lime, and quartz sand. The autoclave parameters were set at 175-200°C and a pressure of 0.8-1.4 MPa, enabling the formation of a dense microstructure and significantly improving the material' s strength and water-resistant characteristics. The research findings demonstrated that the use of kaolin as an additive significantly enhances the physical and mechanical properties of the bricks. X-ray phase analysis revealed the presence of phases such as quartz, mullite, anorthite, and magnetite in the brick composition, which contribute to improved structural integrity and performance characteristics. Additionally, it was established that samples with added enriched kaolin meet GOST standards for water absorption, vapor permeability, and thermophysical properties. The formation of calcium hydrosilicates and hydrogarnets during the autoclaving process improved the energy efficiency of the technology and ensured the high quality of the materials produced. Thus, the study confirmed the feasibility of using local kaolin for the production of energy-efficient construction materials that meet modern quality standards. The developed method is highly cost-effective and environmentally sustainable, making it a promising solution for industrial-scale applications in the construction industry.

Keywords: silicate brick, enriched kaolin, unenriched kaolin, autoclave, limestone.

Кіріспе. Құрылыс индустриясының қарқынды дамуы жағдайында құрылыс материалдары өндірісінің энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін арттыру мәселесі ерекше маңызға ие болып отыр. Дәстүрлі технологиялар қоршаған ортаға кері әсерін тигізетін айтарлықтай энергия шығындарымен және парниктік газдар шығарындыларымен сипатталады. Сондықтан меншікті энергия шығынын азайтуға және жергілікті минералды шикізатты пайдалануды кеңейтуге бағытталған баламалы шешімдерді іздеу және енгізу жоғары қажеттілікке ие.

Болашағы зор бағыттардың бірі каолин негізіндегі құрылыс материалдарының жаңа түрлерін әзірлеу болып табылады. Каолин табиғи материал ретінде жоғары химиялық инерттілікке, ыстыққа төзімділікке және гидравликалық белсенділікке ие, бұл оны силикат өнімдерін өндіруде белсенді минералды қоспа ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Бұрынғы жекелеген зерттеулер каолинді енгізу арқылы силикат кірпішінің қасиеттерін жақсарту мүмкін-

дігін көрсетеді, алайда, байытылған каолиннің силикат кірпішінің құрылымына, физика-механикалық және пайдалану сипаттамаларына әсерін, сондай-ақ автоклавты өңдеу процесінде жүретін реакциялардың термодинамикалық негіздемесі кешенді зерттеу, қосымша зерттеулерді қажет етеді.

Зерттеудің өзектілігі – Батыс Қазақстан облысының жергілікті каолин шикізаты негізінде жақсартылған пайдалану сипаттамалары бар силикат кірпішін алудың энергия тиімді технологиясын әзірлеу қажеттілігіне байланысты.

Зерттеу нысаны – силикат кірпішін өндіруге арналған, байытылған каолин қосылған, силикатты құрылым болып табылады. Зерттеу пәні – байытылған каолиннің минералогиялық құрамы мен концентрациясының гидратация процестеріне, автоклавты өңдеу арқылы алынған силикат кірпішінің құрылымын қалыптастыру мен физика-механикалық қасиеттеріне әсер етуі болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – модификацияланған каолинді қолдана отырып, энергияны үнемдейтін силикатты қабырға материалының құрамы мен технологиясын ғылыми негіздеу, соңғы өнімнің пайдалану сипаттамаларын бағалау болып табылады. Байытылған каолинді енгізу арқылы силикат қоспасының модификациясы, кальций гидросиликаттары сияқты, жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) гидротермиялық синтез процестерін белсендіру арқылы материалдың тығыз және біртекті құрылымын қалыптастыруға ықпал етеді және силикат кірпіштің беріктігін арттыруға, судың сіңуін төмендетуге және қасиеттерін жақсартуға әкеледі, сонымен бірге оны өндіруге энергия шығынын азайтады.

Ғылыми жаңалығы - байытылған каолиннің минералогиялық құрамының гидротермиялық қатаю процестеріне және силикат кірпішінің құрылымын қалыптастыруға әсер ету заңдылығын анықтау, силикат қоспасындағы байытылған каолиннің оңтайлы концентрациясын анықтау және силикат кірпішінің физика-механикалық қасиеттерін жақсартуды қамтамасыз ету.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы энергия ресурстарына шығындарды азайтуды және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуды қамтамасыз ететін технологияларды өнеркәсіптік енгізу үшін зерттеу нәтижелерін пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Яғни, зерттеу нәтижелерінің маңыздылығы – жергілікті каолин шикізаты негізінде жақсартылған физика-механикалық көрсеткіштері бар және беріктігі жоғары силикат кірпішін өндірудің энергияны үнемдейтін технологиясын әзірлеуден тұрады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу үшін мынадай бастапқы материалдар алынды: β-каолиниттің құрамын ұлғайту және қажетсіз қоспаларды жою үшін дымқыл сепарация әдісімен алдын ала байытудан өткен Батыс Қазақстан облысы Ақсуат кен орнының каолині. Саз бөлшектері мен дала шпатын кетіру үшін жуылған және фракцияланған Желаев кен орнының кварц құмы. Құрамында кемінде 75 % белсенді Ca^{2+} бар сөндірілмеген әк, алдын ала 4 минут 30 секунд ішінде 97,5 °С температурада кальций гидроксиді ($Ca(OH)_2$) күйіне дейін сөндірілді.

Зерттеу әдістемесі байытылған каолиннің минералогиялық құрамының гидротермиялық қатаю процестеріне және физика-химиялық, физика-механикалық талдаулардың заманауи әдістерін қолдана отырып, силикат кірпіш құрылымының қалыптасуына әсерін зерттеудің кешенді тәсілінен тұрды, бұл шикізаттың құрамы, өндірістің технологиялық параметрлері мен соңғы өнімнің қасиеттері арасында байланыс орнатуға мүмкіндік берді.

Сығымдау және иілу, жылу өткізгіштік, суды сіңіру, бу өткізгіштік, радиациялық белсенділік кезіндегі беріктік шегін анықтаудың физика-механикалық сынақтары МЕМСТ 21216-2014 және МЕМСТ 379-2015 сәйкес жүргізілді. Бастапқы материалдар мен гидратталған тастағы жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) фазалық құрамын анықтау үшін ДРОН-3 дифрактометрінің көмегімен рентгендік фазалық талдау қолданылды. Алынған нәтижелердің дұрыстығын бағалау үшін, 0,95 сенімділік деңгейінде Стьюдент коэффициентін қолдана отырып, деректерді статистикалық өңдеу

жүргізілді [1].

1000 м$^{2/}$кг меншікті бетіне сәйкес келетін дисперсиясы бар силикат композициялары жасалды. Байытылған каолиннің әр түрлі құрамы бар (құрғақ компоненттердің жалпы массасының 2, 5 және 10 масс. %) бастапқы заттарға судың қажетті мөлшері қосылды. Қоспаның қажетті икемділігін қамтамасыз ету үшін, компоненттерді араластыру, оңтайлы ылғалдылығы 6,8 % болатын зертханалық араластырғышта жүргізілді. Үлгілерді қалыптау, гидравликалық престі қолдана отырып, 1,2 МПа қысыммен жартылай құрғақ прессteу әдісімен жүзеге асырылды. Алынған үлгілер зертханалық автоклавта 0,8 МПа қанықкан бу қысымында келесі режим бойынша гидротермиялық өңдеуден өтті: 1,5 сағат – температураны көтеру, 9 сағат – изотермиялық ұстау,1,5 сағат – салқындату.

Гидротермиялық өңдеу қысымының төмендеуі силикат материалдарын сығу кезінде беріктік шегінің төмендеуіне әкеледі. Әк құрамының жоғарылауымен орташа тығыздық, гидротермиялық өңдеудің жоғары қысымы төмендейді. Бұл үлгілердің жұмсарту коэффициентінің мәні ең жоғары мәнге ие. Әк құрамының жоғарылауы жұмсарту коэффициентін сәл арттырады. Атмосфералық қысымда негізінен әлсіз кристалданған кальций гидросиликаттары түзіледі. Бұл фазалар арасындағы оңтайлы қатынасқа 0,8 МПа гидротермиялық өңдеу жағдайында қол жеткізуге болады, бұл силикат материалдарының максималды физикалық-механикалық көрсеткіштерін қамтамасыз етеді. Дегенмен, гидротермиялық өңдеу атмосфералық қысымда 5 массалық үлесі бар үлгілер үшін өте жоғары беріктікті қамтамасыз етеді. Әлсіз кристалданған кальций гидросиликаттары өте тұрақсыз және цементтеу қосылысының құрылымын өзгерте отырып, қайта кристалдануға қабілетті [2].

Балшық түзудің аяқталмаған сатысында құмды-сазды жыныстарды қолдана отырып, силикат материалдарын алу кезінде гидротермиялық өңдеу қысымын едәуір төмендету мүмкіндігі анықталды. Гидротермиялық өңдеу жағдайында осы шикізаттың тау жыныстарын құрайтын минералдардың жоғары реактивтілігіне байланысты цементтеуші қосылыстың берік микроқұрылымдарын қалыптастыру процесі тек жоғары қысымда ғана емес, сонымен қатар атмосфералық қысымда да жүреді. Бұл энергияны үнемдеу технологиясы бойынша тиімді сапалы қабырға құрылыс материалдарын алуға мүмкіндік береді. Құрамында кремнезем бар құмды-сазды жыныстарды шикізат ретінде пайдалану, шикізаттың беріктігін едәуір арттырады, сондай-ақ әктас құрамының жоғарылауымен де беріктік артады.

Шикізат қоспасында саздақты пайдалану салмағы бойынша 5 % мөлшерінде әк болған кезде беріктігі 0,80 МПа болатын шикізат алуға мүмкіндік береді, бұл бақылау үлгілерінің беріктігінен 11 % жоғары. Әк-құмды сазды тұтқыр негізіндегі шикізаттың беріктігі 11 %-ға артады [3].

Эксперименттік деректер құрамында жоғары белсенді минералдар: β-каолинит, монтмориллонит, гидрослюдтар және аморфты кварц бар саз түзудің аяқталмаған сатысында саз шикізатын қолдана отырып, берік силикат материалдарын алу мүмкіндігін растайды. Белсенділігі жоғары сазды тау жыныстарының минералдарын пайдалану гидротермиялық өңдеу қысымының төмен мәндерінде де күшті цементтеу фазасын қалыптастыруға мүмкіндік береді, цементтеу қосылыстарын синтездеуге және сәйкесінше энергияны аз қажет ететін силикат материалдарын алуға мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау. Тәжірибе барысында құрамында байытылған және байытылмаған каолин бар әртүрлі құрамдағы силикат кірпіш үлгілері алынды (кесте 1).

Кірпіштің бастапқы шикізаты таза кварц құмы (92-95 %), борпылдақ әк (5-8 %) және су (7-8 %), біртекті қоспалармен мұқият дайындалған және арнайы престе қалыпталған. Алынған мәліметтер каолиннің оңтайлы құрамын анықтау үшін одан әрі талданған.

Нәтижелер беріктік, жылу өткізгіштік және суды сіңіру сияқты силикат кірпішінің қажетті сипаттамаларына қол жеткізу мақсатында каолин мен қоспаның басқа компоненттерінің

оңтайлы арақатынастарын анықтау үшін зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Гидротермиялық өңдеу кезінде сөндірілген әк пен кремнеземнің химиялық әрекеттесуі күшті және суға төзімді қосылыстардың – негізінен кальций гидросиликаттарының пайда болуына әкелді. Бұл фазалар, жасанды тастың тығыз, кеуекті құрылымын құрып, кварц құмының дәндерін цементтеді.

1 - кесте. Құм мен сөндірілген әк бар силикат кірпішіндегі байытылмаған және байытылған каолиндердің қатынасы

№	Силикат кірпішінің құрамы	Мөлшері, %	Қ/С
1	Бақылау үлгісі (қоспасыз)	-	-
2	Байытылмаған каолин	2	0,60
3	Байытылмаған каолин	5	0,22
4	Байытылмаған каолин	10	0,10
5	Байытылған каолин	2	0,60
6	Байытылған каолин	5	0,22
7	Байытылған каолин	10	0,10



1 - байытылмаған каолинмен;



2 - байытылған каолинмен

1 - сурет. Автоклавты өңдеуден кейінгі байытылмаған және байытылған каолинмен силикатты кірпіштер

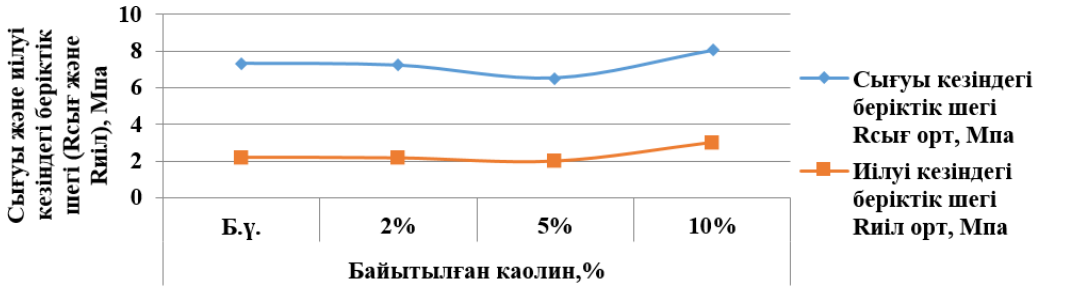
Престеу ПМГ-100мг4-А гидравликалық престерде, кейін 175 °С температурада және 0,8-1,4 МПа қысымда автоклавты өңдеумен жүзеге асырылды.75 маркалы тұтасталған және перфорацияланған, 250×120×65 мм және 250×120×88 мм өлшемді кірпіштер қолданылды. Сығылған кірпішті автоклавпен өңдеу Matest неміс қондырғысында жүргізілді (сурет 1) [4].

Саздақтың құрамына әктің 8 %-н енгізу сы-

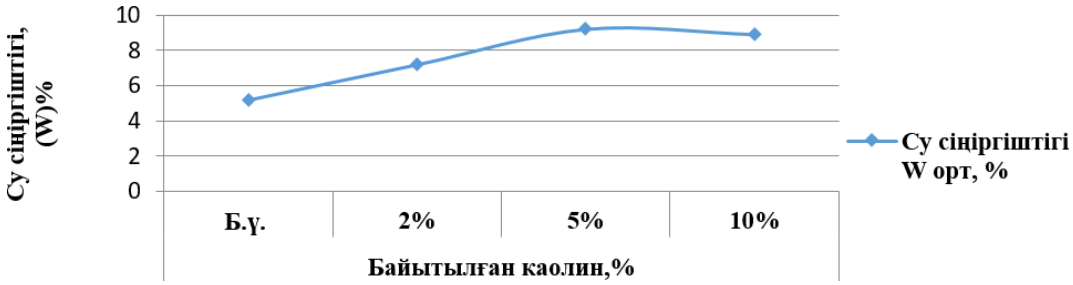
ғымдау кезінде беріктік шегінің 11 %-ға өсуіне әкелді. Беріктіктің мұндай едәуір артуы наноқұрылымның жоғары дисперсті құмды-сазды тау жыныстарының бөлшектері арқылы пайда болуымен байланысты деп болжануда, олар кеуектер мен бос жерлерді тиімді толтырады, нәтижесінде материал құрылымы тығыздалады. Дисперсті бөлшектер арасындағы ең кішкентай капиллярларда пайда болатын капиллярлық күштер айтарлықтай нақты қысым жасайды және шикізаттың беріктігін арттырады [5].

Құмды-сазды жыныстардың термодинамикалық тұрақсыз минералдары 185-200 °С-ге дейін қызған кезде булану жағдайында жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) - кальций гидросиликаттары мен гидрогранаттардың синтезіне қатысады. Бұл жаңадан пайда болғандар (ісінділер, өсінділер) силикат материалдарының жоғары физика-механикалық көрсеткіштерін түсіндіретін цементтеуші заттың дамыған құрылымын құрайды. Дәстүрлі емес шикізат ретінде аяқталмаған саз түзілу фазасының құмды-сазды жыныстарын пайдалану шикізат қоспасын қалыптастыру процесін оңтайландыруға және шикізаттың беріктігін 4-5 есе арттыруға мүмкіндік береді. Қалыптау кезінде ақаулардың санын азайту энергияны үнемдеу технологиясын қолдана отырып жоғары сапалы өнімдер алуға мүмкіндік береді [6, 7].

Каолиннің әсерін бағалау үшін автоклавпен өңделген силикат кірпіш үлгілері зерттелді. Өңдеуден кейін сығылу және иілу кезіндегі беріктік шектері анықталды. Каолинмен байытылған үлгілердің беріктік шектерін а нықтау нәтижелері 2-суретте көрсетілген.



2 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің сығылу және иілу кезіндегі беріктік шегінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі



3 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикатты кірпіштің су сіңіргіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

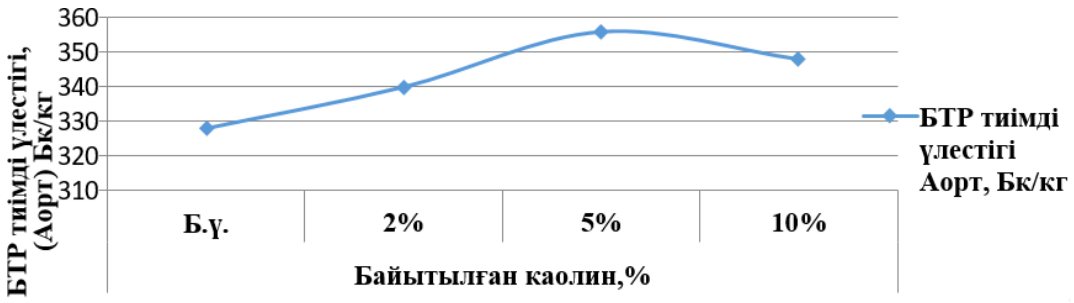
5-10 % байытылған каолин қосылған үлгілер сығылу және иілу беріктігінің айтарлықтай жақсаратынын көрсететіні анықталды.10 % каолинді қосқанда, сығылу беріктігінің шегі бақылау үлгісімен салыстырғанда 45 %-ға артып, қалыпты жағдайда 24 сағат қатаюдан кейін максималды мәндерге жетті. Байытылған каолинді қолдану қоспаның судың сіңуін төмендетуге көмекте-

седі, нәтижесінде материалдың тығыздығы мен беріктігі артады. Барлық зерттелген құрамдар 5.0-35 МПа сығылу және 0.7-3.4 МПа иілу кезіндегі беріктік шектеріне қатысты МЕМСТ 8462-85 талаптарына сәйкес келетінін атап өткен жөн.

Каолинмен байытылған силикат кірпішінің суды сіңіру қабілеті автоклавпен өңдеуден кейін 28 тәуліктен кейін анықталды. Сынақ нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

Суды сіңірудің өзгеруі, деректерді талдаудан көрініп тұрғандай, байытылған каолиннің әсерінен кірпіш құрылымының кеуектілігінің өзгеруіне байланысты, бұл қоспаның түйіршікті құрамының, қалыптың ылғалдылығының және тығыздау кезіндегі меншікті қысымның тікелей функциясы. Байытылған каолиннің (2 %, 5 % және 10 %) суды сіңіру қабілетін зерттеудің нәтижелері МЕМСТ 7025-91 талаптарына сәйкестігін көрсетеді. Бұл МЕМСТ-ке сәйкес силикат кірпішінің суды сіңіруі 6-16 % аралығында болуы керек.

Силикатты кірпіштің радиациялық қауіпсіздігін бағалау үшін белсенді табиғи радионуклидтерді анықтайтын радиометрді қолдана отырып, табиғи радионуклидтердің нақты тиімді белсенділігі анықталды. Сынақ нәтижелері 4-суретте көрсетілген.

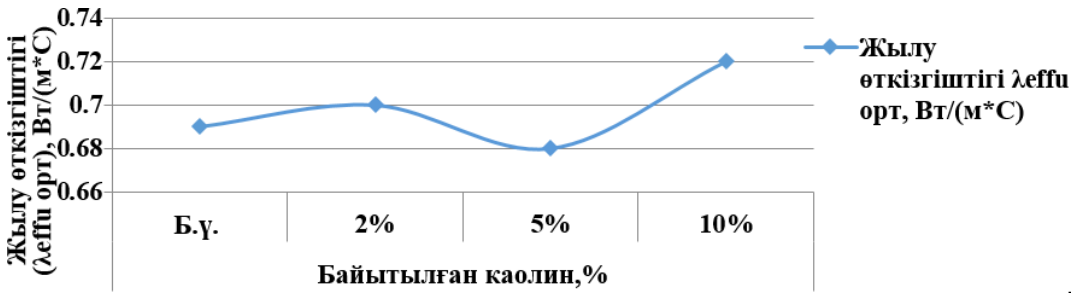


4 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің БТР тиімді үлестігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

МЕМСТ 30108-94 сәйкес силикатты кірпіштің табиғи радионуклидтерінің меншікті тиімді белсенділігі 370 Бк/кг-н аспауы тиіс. Барлық зерттелген үлгілер үшін алынған мәндер рұқсат етілген деңгейден аспайды.

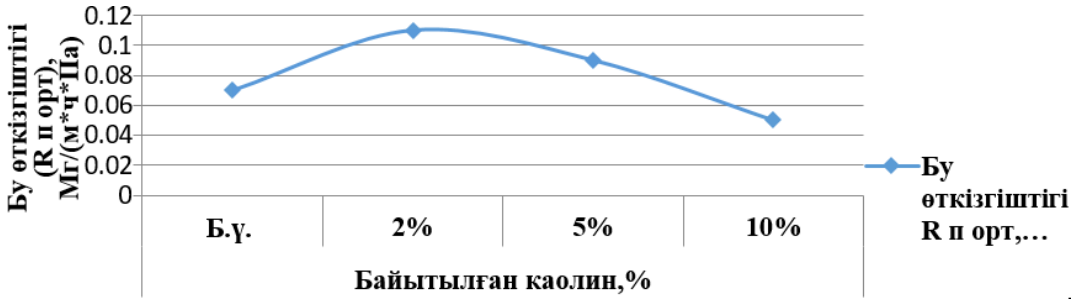
МЕМСТ 379-2015 сәйкес силикатты кірпіштің жылу өткізгіштігі 0,69 Вт/(м*С)-н аспауы керек. Нәтижелер бақылау үлгісі мен 5% байытылған каолин бар үлгілер МЕМСТ талаптарына сәйкес келетінін көрсетеді. Бұл жағдайда силикат кірпішінің жылу өткізгіштік коэффициенті шамамен 0,69 Вт/(м*С) құрайды, бұл керамикалық аналогтан 1,5 есе көп, бұл оның жылу үнемдеу қасиеттерін жақсартады

Каолинмен байытылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштігін сынау нәтижелері 5-суретте көрсетілген.



5 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

Бу өткізгіштігі құрылыс материалының, су буын өткізу қабілетін анықтайтын, маңызды сипаттамасы болып табылады. Каолинмен байытылған силикат кірпішін сынау нәтижелері 6-суретте көрсетілген.



6 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің бу өткізгіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

Бу өткізгіштігін өлшеу, каолинді силикат кірпішінің су буының диффузиясына жоғары қабілеті бар екендігін көрсетті, бұл қоршау құрылымдарында табиғи ауа алмасуды қамтамасыз етеді. Каолинмен байытылған силикат кірпішінің бу өткізгіштігінің қоспаның мөлшеріне тәуелділігі МЕМСТ 379-2015 бойынша 0,11 Мг/(м*с*Па) болуы керек. Қоспаның берілген дозаларына сәйкес, 2 % байытылған құм қосылған силикат кірпішінің мөлшері 0,11 Мг/(м*с*Па) құрайды, бұл осы материалды энергияны үнемдейтін құрылыста «тыныс алатын» қабырғалар үшін қолайлы етеді [8].

Барлық көрсеткіштер (беріктік, суды сіңіру, жылу өткізгіштік, радиациялық қауіпсіздік) нормативтік талаптар шегінде болып табылады. Құмды-сазды жыныстарды пайдалану материал құрылымының тиімділігін арттыруға және автоклавтау қысымын төмендету арқылы энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Байытылған каолиннің фазалық құрамның қалыптасуына және силикат кірпішінің гидратациялық белсенділігіне әсерін бағалау үшін құрамында 2 %, 5 % және 10 % каолин бар үлгілерге рентгендік фазалық талдау (РФТ) жүргізілді. Алынған эксперименттік деректер 2-кестеде келтірілген.

Модификацирленген силикат кірпішінің фазалық құрамы келесі фазалармен ұсынылған: кварц және кристобалит, муллит, гематит, магнетит, анортит, фельдшпат.

Рентгендік фазалық талдауға сүйене отырып, құрамында 2 % каолин болған кезде, кварц (SiO_2) және кристобалит (SiO_2) қоспасы кварц дәндерінің бетінде гидратталған кальций силикаттарының (CSH) түзілуіне әкелетінін көруге болады.

2 % каолинді құрамдағы рентгендік фазалық талдауға сүйене отырып, кварц (SiO_2) және кристобалит (SiO_2) қоспасы кварц дәндерінің бетінде гидратталған кальций силикаттарының (CSH) түзілуіне әкеледі.

Силикат материалының құрылымында муллиттің ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_3$) болуы бастапқы шикізатта темір оксидінің (Fe_2O_3) болуын көрсетеді.

Автоклавталған үлгілердегі кристалдану орталықтары құрамы мен құрылымының жергілікті ауытқуларына байланысты гомогенді және гетерогенді ортада қалыптасуы мүмкін. Гомогенді кристалдану жағдайында бөлінетін кристалдардың құрамы кристалдану орталықтарының құрамына сәйкес келеді. Гетерогенді кристалдану бөгде фазалардың бетінде жүреді.

Анортиттің ($CaAl_2Si_2O_8$) түзілуі силикат кірпішінің беріктігіне, жылу өткізгіштігіне және бу өткізгіштігіне оң әсер етеді.

РФТ нәтижелері каолинмен байытылған силикат кірпішіндегі құм мен әктастың көбеюін, сондай-ақ дифрактограммада 0,255 Å мәндерінде жаңа фаза – магнетиттің (Fe_3O_4) түзілуі байқалатынын көрсетеді.

2 - кесте. Каолиннің әртүрлі мөлшерімен байытылған силикат кірпішінің фазалық құрамын рентгендік фазалық талдау (РФТ) деректері

Фаза / d/n (Å)	2 % каолин	5 % каолин	10 % каолин
Кварц (SiO2)	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425
Кристобалит (SiO2)	0,201; 0,232; 0,415	0,201; 0,232; 0,415	0,201; 0,232; 0,415
Муллит (3Al2O3·2SiO3)	0,211; 0,220; 0,344	0,211; 0,220; 0,344	0,211; 0,220; 0,344
Гематит (Fe2O3)	0,226	0,226	0,226
Магнетит (Fe3O4)	–	0,255	0,255
Анортит (CaAl2Si2O8)	0,324	0,324	0,324
Фельдшпат (K2O·Al2O3·6SiO2)	–	–	0,190; 0,299; 0,319

Құрамында 5 % каолин болған кезде, әртүрлі шығу тегі болуы мүмкін (метаморфты, магмалық, шөгінді) магнетит құрылымының пайда болуы (Fe_3O_4), силикат кірпішінің құрылымына қатайтатын әсер етеді және сығылу беріктігін арттыруға көмектеседі [9].

Құрамында 10 % каолин бар болғандағы дифрактограмма деректерін талдау, кварц пен кремний оксиді шыңдарының (0,181; 0,197; 0,201; 0,232; 0,245; 0,370; 0,415; 0,425 Å) қарқындылығының жақсы кристалданған аймақтардың көптігімен сипатталатынын көрсетеді. Шыңның қарқындылығының 0,334 Å жоғарылауы және шыңның қарқындылығының 0,370 Å төмендеуі, құрылымның бос жерлерінде орналасқан ұсақ кристалдардың пайда болуын көрсетуі мүмкін, бұл силикат кірпішінің тығыздалуына әкеледі.

Алюмосиликаттар ($K_2O·Al_2O_3·6SiO_2$) болып табылатын, дала шпаттарының құрамында алюминий оксиді (Al_2O_3), калий оксиді (K_2O) және кремний оксиді (SiO_2) бар. Дала шпатының (0,190; 0,299; 0,319 Å) болуы оның магмалық, метаморфтық және шөгінді жыныстардың құрамына кіретін негізгі тау жыныстарын құрайтын минерал ретіндегі рөлін көрсетеді. Муллит кристалдарының ерекше формасы бастапқы материалдардағы Fe_2O_3 құрамының жоғары болуына байланысты болуы мүмкін. Қатты ерітінділер пайда болған кезде әртүрлі химиялық құрамдағы муллит түзілетіні белгілі, бұл жағдайда Fe^{3+} ионы Al^{3+} ауыстырады. Темір оксидін қатты ерітіндіге енгізу муллиттің кристалдануына әкеледі. Сұйық фаза жабынды тығыздайды, желімделген материалдардың құрылымдық ақауларына әсер етеді және керамикалық фазаның қалыптасу процесіне белсенді қатысады. Гематит (0,226 Å) және анортит (0,324 Å) шыңдарының пайда болуы материалда ылғалды ұсталуы уақытына әсер етеді.

Осылайша, байытылған каолинді 10 % масс. дейін енгізу магнетит, муллит және анортит фазаларының пайда болуына әкеледі және силикат кірпіштің пайдалану қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Муллит ыстыққа төзімділік пен тығыздықты арттырады, магнетит механикалық қатайтуға ықпал етеді, анортит жылу өткізгіштік пен ылғалға төзімділікті жақсартады, ал дала шпаты материалдың біркелкілігін жақсартатын кристалды жақтауды құрайды [10]. Бұл нәтижелер рентгендік фазалық талдау нәтижелерімен және зерттелген үлгілердің физика-механикалық сипаттамаларының жоғарылауымен расталады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Батыс Қазақстан облысының жергілікті шикізатын қолдана отырып, силикатты кірпіш өндіруге арналған технологиялық шешімдер әзірленді және негізделді.2 %, 5 % және 10 % концентрациясында жергілікті кен орнының байытылмаған және байытылған каолин қоспалары-

мен модификацирленген үлгілерді салыстырмалы физика-механикалық сынау жүзеге асырылды.

Автоклавты өңдеуді 175-200 °С температурада және 0,8 МПа қысымда қолдану кальций гидросиликаттарын синтездеу процестерін күшейту арқылы силикат кірпішінің берік құрылымын қалыптастыруға ықпал ететіні анықталды.10 % байытылған каолинді енгізу бақылау құрамымен салыстырғанда 45 %-ға дейін сығылу беріктігінің статистикалық маңызды жоғарылауын қамтамасыз ететіні эксперименталды түрде расталды.28 тәуліктік қатаюдан кейін силикат кірпішінің суды сіңіруін талдау нормативтік талаптарға сәйкестігін көрсетті. Алынған материалдағы табиғи радионуклидтердің тиімді үлестік белсенділігі 370 Бк/кг белгіленген шектен аспайтыны анықталды.

Термофизикалық сипаттамаларды кешенді зерттеу 5 % байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштік коэффициенті шамамен 0,69 Вт/(м•К) екенін анықтады, бұл дәстүрлі керамикалық кірпіш үшін ұқсас көрсеткіштен 50 % жоғары және әзірленген материалдың жылу оқшаулау қасиеттерінің жоғарылағанын көрсетеді. Шикізат қоспасының құрамындағы компоненттердің оңтайлы арақатынасы 0,11 мг/(м•с•Па) деңгейінде бу өткізгіштігін қамтамасыз ететіні дәлелденді, бұл ғимараттардың қоршау конструкцияларында қолайлы микроклиматты сақтау үшін қолайлы жағдай жасайды.

Рентгендік фазалық талдау деректері силикат кірпішінің құрылымында, материалдың беріктігі мен пайдалану сипаттамаларына оң әсер ететін, кристалды фазалардың: муллит, магнетит, анортит және дала шпаттары түзілуін растады. Микроқұрылымды қалыптастыруда автоклавты өңдеу жағдайында Al^{3+} иондарын Fe^{3+} иондарымен алмастырудан туындаған муллиттің кристалдану процесі ерекше рөл атқарады, бұл кеуектіліктің төмендеуіне және материалдың тығыздығының жоғарылауына әкеледі.

Осылайша, нормативтік құжаттаманың талаптарын қанағаттандыратын, жақсартылған физика-механикалық сипаттамалары бар силикат кірпішін өндіру үшін, алдын ала байыту процесіне ұшыраған, жергілікті саз шикізатын пайдаланудың принципиалды мүмкіндігі көрсетілген. Жүргізілген зерттеу нәтижелері Батыс Қазақстан өңірінде силикат бұйымдарының өнеркәсіптік өндірісіне енгізу үшін ұсынылуы мүмкін, бұл жергілікті шикізат ресурстарын ұтымды пайдалану есебінен құрылыс саласының экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Normatov I., Kamolov E. V. Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment // IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). - 2020: 9216371. - P.1-4. DOI 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216371.

2. Tauler E., Xu J., Campeny M., et al. A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola) // Clays and Clay Minerals. -2019. - Vol 67(3). - P.228-243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

3. Казначеева Н. М., Крахмаль Ю. А., Примаченко В. В. Термодинамический анализ твердофазовых реакций образования волластонита из различных сырьевых компонентов // Сб. научных трудов ОАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного». - 2008. - № 8. - С.130-137.

4. Yankova T. Mineral processing waste utilization // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM.-2020.-Т.20 (11).- P.821-828. DOI 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

5. Шачнева Е. Ю. Термодинамика в современной химии/Русайнс. - 2024. - 209 с. ISBN:978-5-4365-9132-2.

6. Арсентьев В. А., Герасимов А. М., Мезенин А. О. Исследование технологии обогащения каолинов с использованием гидротермального модифицирования // Обогащение руд. - 2017. - № 2. -

С.3-9.

7. Кузнецова Г. В., Морозова Н. Н., Ишмухаметов Д. А, Мухарлямова А. Р. Схемы укладки силикатных изделий на вагонетку с учетом упаковки и энергоэффективность автоклавной тепловой обработки//Строительные материалы.-2023.- № 10.- С.109-115. DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-109-115.

8. PROrynok. Kirpich.URL: URL: http://www.stroymat.ru/articles/tb-6-2021/pro_market_kirpich_2021_08.pdf. - Қаралған күні: 09.05.2025.

9. Семенов А. А. Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г. // Строительные материалы. - 2022. - № 3. - С.44-45. DOI 10.31659/0585-430X-2022-800-3.

10. Денисов Д. Ю., Ковков И. В., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование технолгенного сырья для производства керамических композиционных материалов // Башкирский химический журнал. - 2007. -Т. 14(4). - С.79-82.

References

1. Normatov I., Kamolov E. V. Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment // IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). - 2020: 9216371. - P.1-4. DOI 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216371.

2. Tauler E., Xu J., Campeny M., et al. A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola) // Clays and Clay Minerals. -2019. - Vol 67(3). - P. 228-243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

3. Kaznacheeva N. M., Krahmal’ Ju. A., Primachenko V. V. Termodinamicheskij analiz tverdofazovyh reakcij obrazovanija vollastonita iz razlichnyh syr’ evyh komponentov // Sb. nauchnyh trudov OAO «UkrNIIO im. A. C. Berezhnogo». - 2008. - № 8. - S. 130-137. [in Russian]

4. Yankova T. Mineral processing waste utilization // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM.-2020.-T.20 (11).- P.821-828. DOI 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

5. Shachneva E. Ju. Termodinamika v sovremennoj himii/Rusajns. - 2024. - 209 s. ISBN:978-5-4365-9132-2. [in Russian]

6. Arsent’ ev V. A., Gerasimov A. M., Mezenin A. O. Issledovanie tehnologii obogashhenija kaolinov s ispol’ zovaniem gidrotermal’ nogo modificirovanija // Obogashhenie rud. - 2017. - № 2. - S.3-9. [in Russian]

7. Kuznecova G. V., Morozova N. N., Ishmuhametov D. A, Muharljamova A. R. Shemy ukladki silikatnyh izdelij na vagonetku s uchetom upakovki i jenergojeffektivnost’ avtoklavnoj teplovoj obrabotki//Stroitel’ nye materialy.-2023.- № 10.- S.109-115. DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-109-115. [in Russian]

8. PROrynok. Kirpich.URL: URL: http://www.stroymat.ru/articles/tb-6-2021/pro_market_kirpich_2021_08.pdf. - Қaralған kүni: 09.05.2025.

9. Semenov A. A. Itogi razvitija rossijskogo rynka stenovyh materialov v 2021 g. // Stroitel’ nye materialy. - 2022. - № 3. - S. 44-45. DOI 10.31659/0585-430X-2022-800-3.[in Russian]

10. Denisov D. Ju., Kovkov I. V., Abdrahimov V. Z., Abdrahimova E. S. Ispol’ zovanie tehnolgennogo syr’ ja dlja proizvodstva keramicheskih kompozicionnyh materialov // Bashkirskij himicheskij zhurnal. - 2007. -T.14(4). - S.79-82. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Ниязбекова А.Б.- химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: abnyazbekova@mail.ru;

Байтлесова Л.И. - химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: beu64@mail.ru;

Алмагамбетова М.Ж. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан. e-mail: maira0815@mail.ru;

Губайдуллина Г.М.- техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: ggulkhan@mail.ru;

Жунусова Э.Б. - техника ғылымдарының кандидаты, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Усенкулова Ш.Ж. – PhD доктор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Sholpan1990@gmail.com;

Information about the authors

Niyazbekova A.B. - candidate of chemical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan,e-mail: abnyazbekova@mail.ru;

Baytlesova L.I. - candidate of chemical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: beu64@mail.ru;

Almagambetova M.Z. - candidate of technical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: maira0815@mail.ru;

Gubaidullina G.M.- candidate of technical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: ggulkhan@mail.ru;

Zhunussova E.B.- candidate of technical Sciences, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Ussenkulova Sh.Zh. - PhD doctor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan. e-mail: Sholpan1990@gmail.com.