

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.17/04.06.2021.T.06.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI**

**ARIPOV AVAZ ROZIKOVICH**

**VERMIKULIT RUDALARINI BOYITIB TURLI MAHSULOTLAR OLISH  
TEXNOLOGIYASINI YARATISH**

**04.00.14 – Foydali qazilmalarni boyitish**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Navoiy – 2023**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
of technical sciences**

**Aripov Avaz Rozikovich**

Vermikulit rudalarini boyitib turli mahsulotlar olish  
texnologiyasini yaratish .....3

**Арипов Аваз Розикович**

Разработка технологии обогащения вермикулитовых руд  
для получения различной продукции.....21

**Aripov Avaz Rozikovich**

Development of technology for enrichment of vermiculite ores  
to obtain various products .....39

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ  
List of published works.....43

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.17/04.06.2021.T.06.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI**

**ARIPOV AVAZ ROZIKOVICH**

**VERMIKULIT RUDALARINI BOYITIB TURLI MAHSULOTLAR OLIH  
TEXNOLOGIYASINI YARATISH**

**04.00.14 – Foydali qazilmalarni boyitish**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Navoiy – 2023**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida №B2021.3.PhD/T2367 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ndki.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich**  
texnika fanlari doktori, dotsent

**Rasmiy opponentlar:**

**Muxiddinov Baxodir Faxriddinovich**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Alimov Rasulxan Sarvarxanovich**  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Yetakchi tashkilot:**

**Milliy tadqiqot texnologik universiteti «MISiS»ning  
Olmaliq shahridagi filiali**

Dissertatsiya himoyasi Navoiy Davlat konchilik va texnologiyalar universiteti huzuridagi DSc.17.04.06.2021.T.06.01 raqamli Ilmiy kengashning 2023 yil «14» aprel soat 15<sup>00</sup> da majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 210100, Navoiy shahri, G'alaba shoh ko'chasi, 76v-uy. Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti majlislar zali. Tel.: (79) 223-23-32; faks: (79) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com).

Dissertatsiya bilan Navoiy Davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (27 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 210100, Navoiy shahri, G'alaba shoh ko'chasi, 76v-uy, Tel.: (79) 223-23-32; faks: (79) 223-49-66.)

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil «31» mart kuni tarqatildi.

(2023 yil «31» mart da 9 raqamli reestr bayonnomasi)



**K. Sanakulov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

**O.U. Fuzaylov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.f.d. (PhD)

**A.U. Samadov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash qoshidagi  
ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

## **KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Dunyoda vermikulit asosida ko‘plab turdagi mahsulotlarga talabning paydo bo‘lishi mahalliy xomashyodan sanoat industriyasiga yangi turdagi o‘tga chidamli, yengil va mustahkam konstruktiv xususiyatli va vermikulit minerali mahsulotlarini ishlab chiqarilishini yildan-yilga ortishiga olib keldi. Shu bilan birga, vermikulit minerali mahsulotlari po‘lat olishda, suyuqliklarni filtrlashda, zaharli gazlarning adsorbsiyalashda, tuproqni nitratlar bilan ifloslanishini oldini olishda, sanoatda, atom energetikasi va mashinasozlik sanoatida keng qo‘llanilmoqda. Qayd etib o‘tilgan sohalaridagi hamda ishlab chiqarish vermikulit asosida olingan ko‘pchimaydigan mahsulotlarni, bo‘sh tog‘ jinslari va zaif ko‘pchiydigan slyudalardan ajratish masalasi muhim ahamiyatga ega.

Bugungi kunda dunyoda yuqori g‘ovaklilik, past issiqlik o‘tkazuvchanlik, yetarli mexanik mustahkamlik, shuningdek, yuqori yong‘inga chidamlilik kabi xususiyatlarga ega bo‘lgan qurilish materiallari olish, buning uchun vermikulit minerallarini boyitishning yuqori samarador texnologiyalarini ishlab chiqish va takomillashtirishga oid ilmiy-amaliy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada yuqori sifatli, turli mexanik, termik va kimyoviy ta’sirlarga chidamli vermikulit asosli qurilish materiallari olish uchun tarkibi toza bo‘lmagan vermikulit rudalarini turli gravitatsion usullarni qo‘llab boyitish va jarayonlar samaradorligini oshirish hisobiga mahsulot tannarxini kamaytirib, yuqori sifatli qurilish xomashyosi tayyorlash va unga termik ishlov berib, xossalarini yaxshilash usullarini tadqiq qilish va takomillashtirishga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda vermikulit xomashyosidan keng turdagi zamonaviy qurilish materiallari tayyorlash, ularni ommalashtirish va qo‘llash sohalarini kengaytish, shu bilan birga, ishlab chiqarish tannarxini pasaytirib, sifat jihatidan yuqori darajaga olib chiqish bo‘yicha bir qator ilmiy amaliy natijalarga erishilmoqda. Yangi O‘zbekistonning 2022-2026-yillarga mo‘ljallangan taraqqiyot strategiyasida<sup>1</sup> “ilmiy-tadqiqot va innovatsion faoliyatni rag‘batlantirish, innovatsion yutuqlarni amaliyotga joriy etishning samarali mexanizmlarini yaratish, ishlab chiqarishga energiya va resurs tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish...” kabi muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda Vermikulit rudalarini boyitib turli mahsulotlar olishning yangi texnologiyalarini ishlab chiqishga yo‘naltirilgan tadqiqotlar olib borish, mavjud texnologiyalarni takomillashtirish katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-139-son qarori 2022-yil 21-fevraldagi “Uy-joylar qurilishini va qurilish materiallari sanoatini qo‘llab-quvvatlashning qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi muhim vazifalaridan kelib chiqqan holda dissertatsiya tadqiqotlari katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. Faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan

---

<sup>1</sup>O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil, 28-yanvardagi PF-60-son «2022-2026-yillarda Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni

vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi.** Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning VII “Yer to‘g‘risidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xomashyolarni qayta ishlash)” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Vermikulit rudalarini boyitish, ko‘pchitish darajasini o‘rganish va vermikulit asosida materiallar tayyorlash bo‘yicha ilmiy ishlanmalar rivojiga G.F.Uoker, I.Barshad, V.A.Basset, I.V.Gruner, A.P.Afanasev, Ya.A.Axtyamov, P.P.Borovikov, B.S.Bobrov, G.V.Gemmerling, K.N.Dubenetskiy, N.N.Kalyanov, A.M.Korchagin, I.A.Lvova, A.P.Pojnin, Yu.Tixonov, P.A.Arifov kabi olimlar salmoqli hissa qo‘shishgan.

Mavjud ishlarni tahlil qilish asosida vermikulit rudalarini boyitish va undan turli mahsulotlar ishlab chiqarishda ko‘pchimaydigan bo‘sh tog‘ jinslaridan va zaif ko‘pchiydigan slyudalardan ajratib olishni qiyinlashtirishga olib keladigan, hal qilinishi murakkab bo‘lgan muammolardan birini o‘zida aks ettirishi aniqlandi. Shu bilan birga, vermikulit rudalarining sifatini oshirish, ulardan olovbardosh materiallar ishlab chiqarish maqsadida mazkur mahsulotlardan keng foydalanishga yo‘naltirilgan texnologik jarayonlarni takomillashtirish bo‘yicha muammolar yetarlicha o‘rganilmagan.

Ushbu dissertatsiya ishining mohiyati vermikulit rudalarini boyitib, turli mahsulotlar olish texnologiyasini yaratish, uni qurilish va metallurgiya sohasida qo‘llash darajasini oshirishdan iborat.

**Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq №1/05-2021 “Tebinbuloq koni vermikulit rudalari bo‘yicha tajriba sinovlarini amalga oshirish” (2021-yil) mavzusidagi loyiha doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** vermikulit rudalarini boyitish va ulardan qurilish, olovbardosh, issiqlikdan himoya qilish mahsulotlarini olish texnologiyasini yaratishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

“Tebinbuloq” koni vermikulit rudalarining kimyoviy va mineralogik tarkibini o‘rganish;

vermikulit rudasini boyitishga tayyorlash va boyitish jarayonlarini qo‘llashning maqbul parametrlarini aniqlash;

boyitilgan vermikulit rudasini kuydirish jarayonining maqbul parametrlarini aniqlash va olinadigan mahsulotning texnik xususiyatlarini tadqiq qilish;

ko‘pchitilgan vermikulitdan bog‘lovchi materiallar qo‘shish orqali issiqlikni himoyalovchi, o‘tga chidamli, qurilish plitalari ishlab chiqarish jarayonlarining maqbul parametrini aniqlash;

vermikulit rudalaridan qurilish va filtrlovchi materiallar olish texnologiyasini ishlab chiqish va sanoat muhitida tajriba sinov tekshirishlarini

o'tkazish hamda olingan natijalarni amalda to'liq qo'llash tavsiyalarini ishlab chiqish;

tajriba-sanoat sinovlarini o'tkazish, ilmiy-texnik hujjatlarni ishlab chiqish, ishlab chiqilgan texnologiyaning texnik-iqtisodiy samaradorligini aniqlashdan iborat.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida Qoraqalpog'iston Respublikasi Qora'zak tumanida joylashgan "Tebinbuloq" koni vermikulit rudasi olingan.

**Tadqiqotning predmeti** vermikulit rudalarini boyitish orqali turli mahsulotlar ishlab chiqarish texnologiyasi hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida zamonaviy kompleks usullar jamlangan, vermikulit rudalarini boyitish bo'yicha ilmiy-texnik ma'lumotlarni tahlil qilish, analitik usullarni qo'llab nazariy o'rganishlar, eksperimental tadqiqotlar, kimyoviy va fizik-kimyoviy usullar, termogravimetrik, polyaografik, spektrofotometrik tahlil usullari, shuningdek, boyitishning magnit va havoli saralash usuli, pirometallurgiya usullari va tajriba natijalariga statistik ishlov berish usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

kimyoviy va mineralogik tarkibini o'rganish natijasiga ko'ra Tebinbuloq vermikulit rudalari tarkibida ko'pchimaydigan bo'sh tog' jinslari va zaif ko'pchiydigan slyudalar mavjudligi aniqlangan;

Tebinbuloq vermikulit rudasini maydalashda bolg'ali maydalagichdan foydalanish va boyitishda magnitli saralagich orqali temir birikmalarini chiqarib yuborish va havoli saralagichda boyitish samarali ekanligi aniqlangan;

birinchi marta "Tebinbuloq" koni vermikulitini ko'pchitish uchun maqbul harorat 900°C da -4+2 mm yiriklikdagi fraksiya 3 min, -2+1 mm yiriklikdagi fraksiya 2 min, -1 mm yiriklikkacha bo'lgan fraksiya 1,5 min davomida kuydirish samarali ekanligi va ko'pchitishdan keyin tez sovutish uning tarkibidagi elementar minerallarini yonib ketishdan asrab, mexanik mustahkamligi saqlab qolishi aniqlangan;

"Tebinbuloq" koni ko'pchitilgan vermikulitiga bog'lovchi sifatida kaolin, bentonit qo'shish orqali olovbardosh plitalar, sement qo'shish bilan qurilish plitalari hamda suyuq shisha qo'shish orqali issiqlikdan himoyalovchi materiallar olish jarayonining maqbul parametrlari aniqlangan;

tajriba-sanoat sinovlarini o'tkazish natijasida vermikulit rudalarini boyitish va u asosida turli mahsulotlar olish texnologiyasi va dastgohlar zanjir sxemasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

vermikulit rudasi magnitli va havoli saralash jarayonlarini qo'llash orqali ko'pchimaydigan bo'sh tog' jinslari va zaif ko'pchiydigan slyudalardan tozalanib, vermikulitni 85% gacha ajratib olish usuli yaratilgan;

boyitilgan vermikulit rudasini kuydirish jarayonida minerallarning holat o'zgarishlari aniqlangan;

ko'pchitilgan vermikulitdan bog'lovchi materiallar qo'shish bilan issiqlikni himoyalovchi, o'tga chidamli qurilish plitalari yaratilgan;

g'alvirlash, maydalash, magnitli va havoli saralash, kuydirish jarayonlarini qo'llagan holda vermikulit rudalaridan qurilishda keng qo'llaniluvchi, yuqori haroratga chidamli va issiqlikni himoyalovchi mahsulotlar ishlab chiqishning yangi takomillashtirilgan texnologiyasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi** tadqiqotlarning zamonaviy usullarini qo'llash va o'tkazilgan kimyoviy, fizik-kimyoviy tahlil usullari, shuningdek, matematik modellashtirish usullaridan foydalanib ishlov berilgan ko'p hajmli eksperimental materiallar bilan isbotlangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati vermikulit rudasini boyitishga tayyorlash va boyitish jarayonlarini qo'llashning maqbul parametrlarini aniqlash, boyitilgan vermikulit rudasini kuydirish jarayonining maqbul parametrlarini aniqlash va olinadigan mahsulotning texnik xususiyatlarini tadqiq qilib, ko'pchitilgan vermikulitdan bog'lovchi materiallar qo'shish bilan issiqlikni himoyalovchi, o'tga chidamli, qurilish plitalari ishlab chiqarish jarayonlarining maqbul parametrini aniqlash izohlanadi;

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati kambag'al bo'lgan vermikulit rudasini boyitish va undan bog'lovchi materiallar qo'shish bilan issiqlik o'tkazmaydigan, o'tga chidamli, qurilish plitalari, filtrlovchi materiallar olish texnologiyasini ishlab chiqish uchun xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Vermikulit rudalarini boyitib turli mahsulotlar olish texnologiyasini yaratish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

“Tebinbuloq” koni vermikulit rudasini magnitli saralagich yordamida temir birikmalarini chiqarib yuborish va havo saralagichda boyitish texnologiyasi “SVERXBELPROEKT” MChJ va “TRUMF-VERMICULIT” MChJda amaliyotga joriy etilgan (O'zbekiston qurilish materiallari sanoati korxonalari uyushmasining 2022-yil 28-dekabrda 05/15-3160–son ma'lumotnomasi). Natijada vermikulit rudasidan vermikulitni 85 % gacha ajratib olish imkonini bergan;

vermikulit boyitmasini ko'pchitilgan vermikulit olish maqsadida aylanma quvurli pechda 900°C da kuydirish usuli “SVERXBELPROEKT” MChJ va “TRUMF-VERMICULIT” MChJda amaliyotga joriy etilgan (O'zbekiston qurilish materiallari sanoati korxonalari uyushmasining 2022-yil 28-dekabrda 05/15-3160–son ma'lumotnomasi). Natijada qurilish plitalari va o'tga chidamli issiqlikni himoyalovchi materiallar olish uchun ishlatiladigan ko'pchitilgan vermikulit olish imkonini bergan;

ko'pchitilgan vermikulitga bog'lovchi materiallar: kaolin, bentonit, sement va suyuq shisha qo'shish orqali o'tga chidamli va issiqlikni himoya qiluvchi plitalar ishlab chiqarish usuli “SVERXBELPROEKT” MChJ va “TRUMF-VERMICULIT” MChJda amaliyotga joriy etilgan (O'zbekiston qurilish materiallari sanoati korxonalari uyushmasining 2022-yil 28-dekabrda 05/15-3160–son ma'lumotnomasi). Natijada o'tga chidamli va issiqlikni himoya qiluvchi plitalar olish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqotlarning natijalari 4 ta respublika va 3 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo'lib, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola, jumladan, 4 ta respublika va 4 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 116 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida olib borilgan tadqiqotning dolzarbligi va unga bo'lgan talab, tadqiqot maqsadi va vazifalari asoslangan, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotda qo'llanilishi bo'yicha tavsiyalar, nashr qilingan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Vermikulit rudalarini boyitishning zamonaviy ahvoli, nazariyasi va texnologiyasi”** deb nomlangan birinchi bobida vermikulit rudalarini boyitish va qayta ishlashning zamonaviy holati va rivojlanish darajasi bo'yicha tahlil o'tkazilgan.

Vermikulit tarkibli rudalarni boyitish va qayta ishlashning dunyo tajribasini o'rganish natijalari turlichaligi va har bir kon uchun alohida xarakterli ekanligi aniqlandi, shuningdek, boyitish usullarining texnologik jarayonlarda ko'plab kamchiliklar mavjudligi va vermikulit boyitmalarining qayta ishlash jarayonlarini takomillashtirish va yangi texnologiyalar ishlab chiqish kerakligini talab etishi ma'lum bo'ldi. Adabiyotlar tahlili natijasida tadqiqotning maqsadi va vazifalari jamlangan.

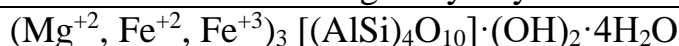
Dissertatsiyaning **“Vermikulit rudasi xususiyatlari va ko'pchitilgan vermikulit olish usullarini tadqiq qilish”** deb nomlangan ikkinchi bobida obyekt sifatida olingan “Tebinbuloq” koni vermikulit rudasining kimyoviy, mineralogik va granulometrik tarkibi o'rganilgan(1 va 2-jadval). Vermikulitning kimyoviy va mineralogik tarkibi tahlilning spektral, kimyoviy va mineralogik usullari yordamida aniqlandi. “Tebinbuloq” koni vermikulit rudasida asosiy minerallar: vermikulit, piroksen va amfibol; ikkinchi darajali minerallar: karbonat, titanomagnetit, dingeit, gidroxlorid, montmorillonit, xrizotil-asbest, aktinolit, gips, kvarts va temir oksidlari; qo'shimchalar: apatit, rutil, selestin, sirkon, anataz, sfen, barit va granit kabi minerallar uchraydi.

Tebinbulok vermikuliti Kovdor koni rudasi bilan solishtirilganda tarkibida magniy, ishqoriy metallar va temir oksidlari sezilarli darajada ko'pligi aniqlandi. Vermikulit rudalarini g'alvirlash, maydalash, quritish, elektromagnit saralash, havoli saralagichda boyitish, boyitmani kuydirish va turli mahsulotlar olish bo'yicha tadqiqotlarni o'tkazish uchun metodikalar tanlandi. Vermikulit rudasini boyitib, olingan boyitmani kuydirish natijasida olingan vermikulit plitadan devor

konstruksiyalarida vermikulit to'ldirgichlarini iqlimi issiq bo'lgan joylarda binolarning haddan tashqari qizib ketishiga qarshi vosita sifatida qo'llash mumkin, shuningdek, shimoliy hududlarda esa issiqlikni saqlash uchun ishlatiladi.

1-jadval

Vermikulit rudasining kimyoviy tarkibi



SiO <sub>2</sub>	38,1 %	TiO <sub>2</sub>	1,5 %
MgO	23,4 %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,2 %	MnO	0,2 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5 %	Cl	0,4 %
FeO	1,2 %	CO <sub>2</sub>	0,6 %
K <sub>2</sub> O	5,1 %	S	0,2 %
Na <sub>2</sub> O	0,7 %	H <sub>2</sub> O	5,2 %
CaO	0,8 %		

2-jadval

Vermikulit rudasining granulometrik tarkibi

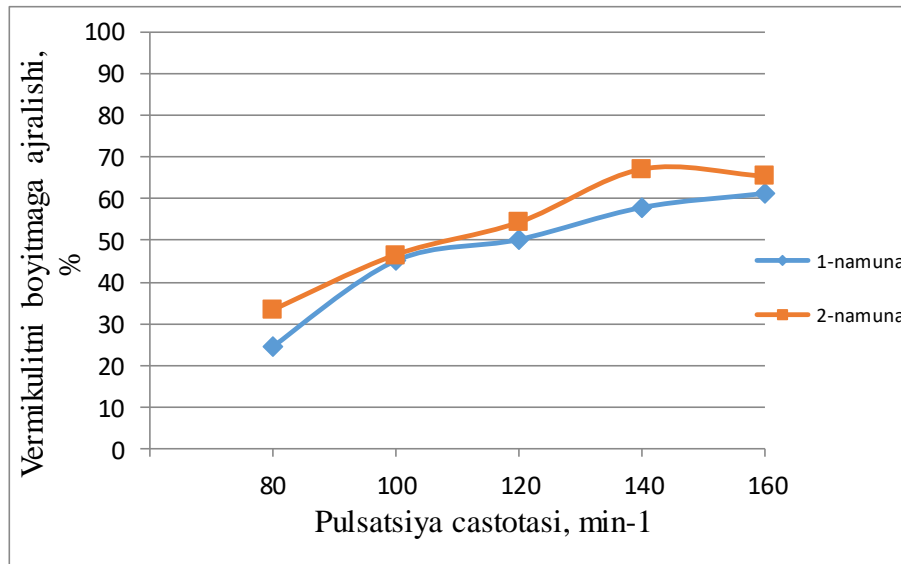
№	Yiriklik sinfi, mm	Fraksiyaning chiqishi			
		Maydalashgacha		Maydalashdan keyin	
		gr	%	gr	%
1	+20	42	2,1	-	-
2	-20+12	458	22,9	216	10,8
3	-12+4	718	35,9	512	25,6
4	-4+2	682	34,1	642	32,1
5	-2+0,25	74	3,7	562	28,1
6	-0,25	26	1,3	68	3,4
	Jami:	2000	100	2000	100

Dissertatsiyaning “**Tebinbuloq koni vermikulit rudasini boyitish va ko'pchitishning texnologik parametrlarini tadqiq qilish va aniqlash**” deb nomlangan uchinchi bobida vermikulit rudalarini maydalash jarayoni, boyitish usuli va texnologiyasi, ko'pchitish texnologiyasi, ko'pchitilgan vermikulit asosida yong'inga chidamli mahsulotlar olish texnologiyasi, vermikulit boyitmasini metall quyishda issiqlik saqlovchi sifatida qo'llash jarayonlari tadqiqot natijalari keltirilgan.

Vermikulit rudasini boyitish jarayonining asosiy vazifasi-vermikulit zarrachalaridan bo'sh tog' jinslarini, ko'pchimaydigan ortiqcha jinslarni va zaif ko'pchiydigan slyuda zarralarini ajratib olishdan iborat. Ushbu boyitish jarayoni ko'pchitilgan vermikulit ishlab chiqarishda eng ko'p vaqt talab qiladigan va qimmat jarayon hisoblanadi. Xomashyoni qayta ishlashning keyingi bosqichlarida – kuydirish jarayoni kamroq mehnat va xarajatlar talab qiladi.

Rudalardagi vermikulitning miqdori nisbatan pastligini hisobga olib, ularni dastlabki boyitish imkoniyatini aniqlash uchun cho'ktirish mashinasida laboratoriya sinovlari o'tkazildi. Sinovlarda vermikulit miqdori 8,12% va 11,62%

bo'lgan 7,1 kg va 8,1 kg og'irlikdagi ikkita namunada olindi, boyitmada (yengil fraksiyalarda) vermikulitning miqdori mos ravishda 18,49% va 28,35% ni va chiqishda 25,7 % ni tashkil etdi. Boyitmada vermikulitning miqdori 58-67 % ga yetdi. Ko'pchitilgan vermikulitning massaviy zichligi 166-178 kg/m<sup>3</sup> ni tashkil qildi. Cho'ktirish mashinalarida boyitishda ko'rsatkichlar yuqori emas (1-rasm). Bundan tashqari, suvli muhitda boyitilgandan so'ng boyitmani suvsizlantirish va quritish jarayoni qo'llanilishi kerak, shundan keyingina boyitma kuydirish jarayoniga yuborilishi mumkin.



**1-rasm. Vermikulit rudasini cho'ktirish mashinasida boyitishda pulsatsiya chastotasining ta'siri**

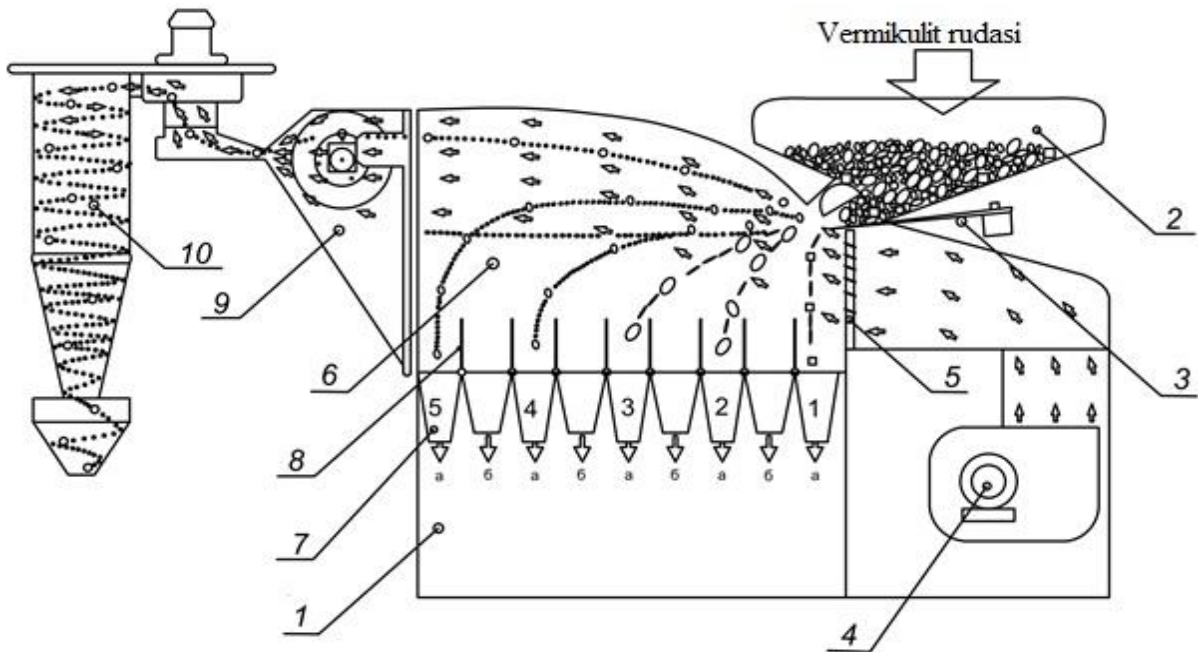
Rudalarda titanomagnetit miqdori yuqori bo'lganligi sababli texnologik jarayonning boshida rudalarni magnitli saralash yo'li bilan magnit boyitmasini ajratish imkoniyati o'rganildi. Magnetit boyitmalarida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ning miqdori laboratoriya tekshiruvlariga ko'ra 24,7-50 % ni tashkil qildi va uni sement ishlab chiqarishda temir qo'shimchasi sifatida ishlatish maqsadga muvofiqligi tasdiqlandi.

Bundan tashqari, havoli saralagichda quruq boyitish yo'li bilan vermikulit boyitmasi olindi. Saralagichning boyitish samaradorligini oshirish uchun har bir o'lcham va sinfi alohida ajratildi. Saralash vaqtida vermikulit rudalari solishtirma og'irliklari farqi evaziga minerallarning ajralishiga erishildi.

Zichligi katta bo'lgan minerallar birinchi qabul qiluvchiga, rudadagi boshqa minerallarga nisbatan solishtirma og'irligi past bo'lgan vermikulit havo oqimi bilan olib ketilib, uzoqdagi qabul qiluvchiga tushadi (2-rasm).

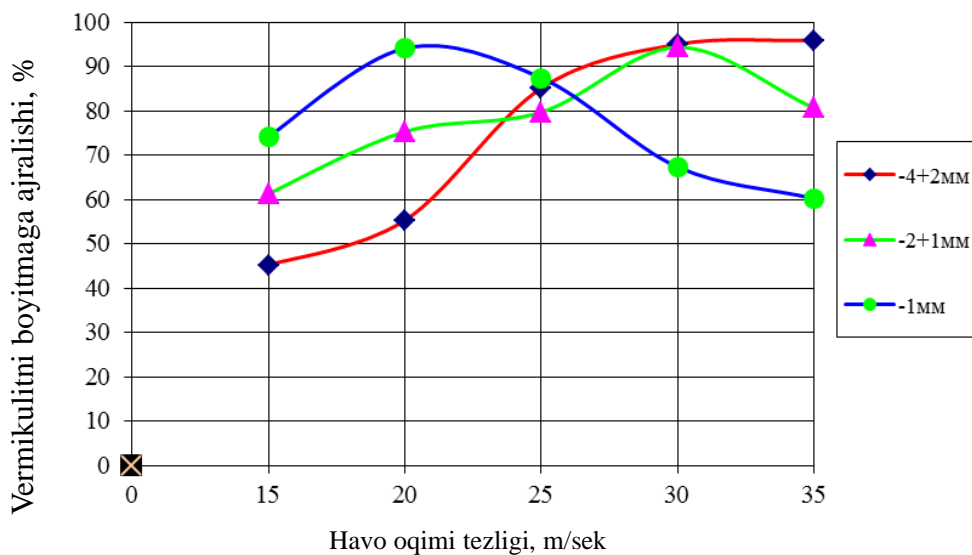
Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, vermikulit zarrachalarining asosiy sinfini chiqindi jinslardan ajratish uchun havo oqimining dastlabki tezligi 20-30 m/s oralig'ida bo'lishi kerak (3-rasm).

Vermikulit boyitmasini kuydirish jarayonining har bir bosqichida bug' hosil bo'ladi. U vermikulit boyitmasining zarralaridan ajralib chiqishga intilishi bilan uni kengaytiradi. Bosqichlarning har birida bug' bosimining kuchi tufayli vermikulit zarralari bir-biridan ajralib chiqadi va bug' uning qavatlaridan chiqadi so'ngra slyuda barglari ochiladi. Kontsentrlangan vermikulit uzoq vaqt davomida



**2-rasm. Saralagich ichidagi solishtirma og‘irlikka ko‘ra minerallar harakatining trayektoriyasi:**

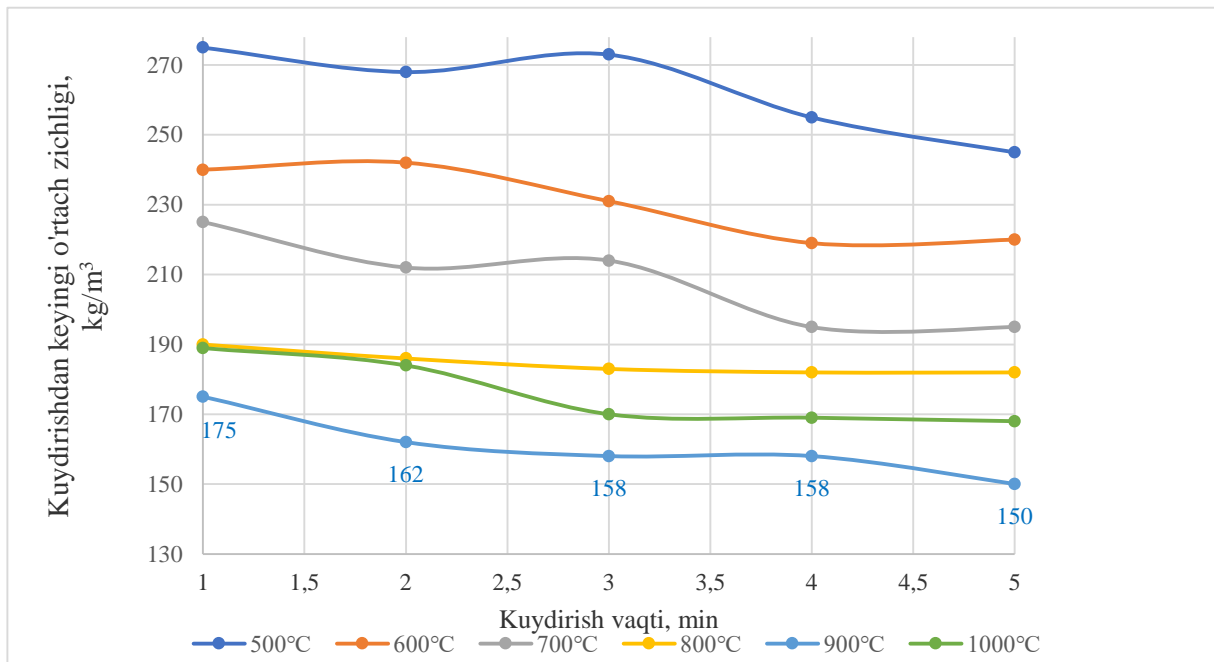
1-asosiy modul; 2-ta‘minlovchi bunker (pitatel); 3-tebranish quvuri; 4-asosiy ventilyator; 5-oqimli generator; 6-ish kamerasi; 7-yig‘uvchi kollektori (1-og‘ir fraksiyalar uchun, 2,3-oraliq zichlik fraksiya uchun, 4,5-yengil fraksiyalar uchun); 8-buriluvchi to‘siq; 9-aspiratsiya bloki; 10-tsiklon.



**3-rasm. Vermikulitni boyitmaga ajralishini havo saralagichning havo oqimi tezligiga bog‘liqlik grafigi**

pechda qolib ketmasligi kerak. Chunki vermikulit juda uzoq vaqt davomida issiq muhitda bo‘lganida, tarkibidagi minerallar oksidlanadi va uning kuchi sezilarli darajada kamayadi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ko‘pchitilgan vermikulit sifat ko‘rsatkichi kengaytirish usullariga bog‘liqdir. Boyitmani yuqori haroratgacha haddan tashqari sekin kuydirish tarkibidagi ko‘p miqdorda bog‘langan suvni muddatidan oldin chiqib ketishi tufayli kengayish ta‘sirini kamaytiradi, qolgan qismi esa qizdirilganda kengayishi uchun yetarli bo‘lmaydi. Juda tez kuydirish,

ko'p miqdorda kichik zarrachalar ajralishiga, bu esa pechda kuydirilayotgan massaning erishiga olib kelishi mumkin. Eng yaxshi kuydirish natijalari 900°C haroratda va 2-3 minutlik kuydirish vaqtidagi sharoitda olinadi (4-rasm). Haroratni yanada oshirish maqsadga muvofiq emas: vermikulit yanada mo'rt bo'ladi, bo'laklar parchalanadi va o'rtacha zichlik oshadi.

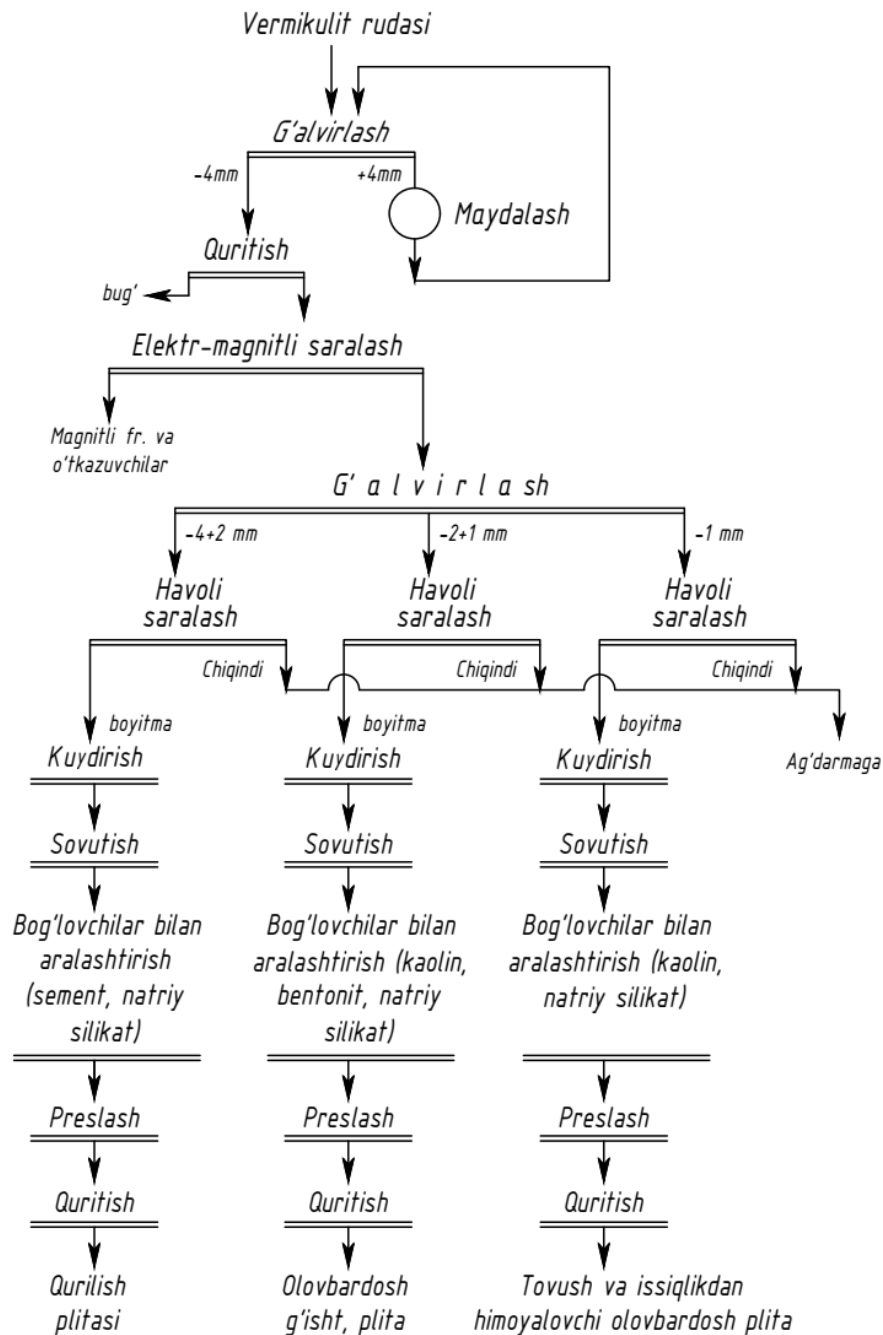


**4-rasm. Ko'pchitilgan vermikulitning sochma zichligini kuydirish vaqti va haroratiga bog'liqlik grafigi.**

Havoli saralagichda boyitish bilan bo'sh tog' jinsi va vermikulitni ajratishda yirik rudalar samarali ajraladi, havo siklonida saralash samaradorligi yuqori bo'lishi aniqlandi. Ko'pchitilgan vermikulit xomashyosi hajmiy kengayishi sababli qo'shimcha bog'lovchanlik bo'shliq hosil bo'lish xususiyatini yo'qotib, mustahkamlik hosil qiladi, vermikulit asosida tayyorlangan materiallarda tebranishga chidamlilikni oshiradi. Ko'pchitilgan vermikulitdan bog'lovchi materiallar qo'shish bilan yong'inga chidamli olovbardosh plitalar, qurilish plitalari ishlab chiqarish texnologiyasi ishlab chiqildi.

Dissertatsiyaning **“Vermikulit rudasini boyitish texnologiyasini ishlab chiqish, undan olovbardosh materiallar olish va ularning samaradorligini aniqlash”** deb nomlangan to'rtinchi bobida vermikulit rudalarini boyitishni apparatlar zanjir sxemasi va texnologik sxema ishlab chiqilgan. Boyitishning optimal sxemasini yaratish maqsadida tarkibida 10,6% vermikulit bo'lgan Qorao'zak konining vermikulit rudasi boyitish uchun sinovdan o'tkazildi. Laboratoriya tajribalari va tajriba sinovlari natijasi asosida vermikulit rudalarini boyitish texnologik sxemasi ishlab chiqildi, jumladan, saralash, bir bosqichli maydalash, rudalar tarkibida temir va rangli metallar, shuningdek, boshqa aralashmalarni ajratib olish va saralash natijasida -4+2 mm, -2+1 mm va -1 mm fraksiyalar alohida-alohida havoli saralashda bunkerlarga yig'iladi.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasiga asoslanib, turli mahsulotlar olish uchun vermikulit rudalarini boyitishning texnologik sxemasi tavsiya etiladi (5-rasm).



**5-rasm. Vermikulit rudalarini quruq boyitish uchun tavsiya etilayotgan texnologik sxemasi**

Vermikulit boyitmasini olish uchun ma'lum bir fraksiyagacha maydalangan vermikulit rudalari ishlatiladi. Keyinchalik turli mahsulotlar ishlab chiqarishda foydalanish uchun maydalangan vermikulit rudalarining fraksion tarkibi -4+2 mm, -2+1 mm va -1 mm dan bo'lishi kerak. "Tebinbuloq" konining vermikulit rudalarini maydalashda bu shartlar hisobga olindi. "Tebinbuloq" konida og'irligi 24 t bo'lgan vermikulit rudasining namunasi olindi, unda vermikulit miqdori 10,6 % bo'lib, ya'ni 2,54 t vermikulitni tashkil etdi. Namuna ishlab chiqilgan sxema bo'yicha "SVERXBELPROEKT" MChJ va "TRUMF-VERMICULIT" MChJ larda vermikulit korxonasida sinovdan o'tkazildi. Taklif qilinayotgan texnologiya

bo'yicha boyitish mahsulotlari balansi, mahsulot chiqishi, vermikulitning miqdori va uning ajralish darajasi aniqlandi (3-jadval).

3-jadval

Vermikulitni miqdori va uni ajralish darajasi aniqlanganda boyitmaning mahsulot balansi va fraksiyalar bo'yicha taqsimlanishi

Mahsulotlar	Mahsulot chiqishi		Vermikulit tarkibi, $\beta$ -%	Vermikulit ajralishi, $\varepsilon$ %
	Q-kg	$\gamma$ -%		
<b>Boyitma</b>				
-4 +2 mm fraksiya	1000,8	4,17	91,1	33,92
-2 +1 mm fraksiya	900	3,75	88,9	30,87
-1 mm fraksiya	852	3,55	80	28,49
Jami:	2752,8	11,47	86,20	93,27
Magnitli fraksiya	96	0,4	0,80	0,03
Chiqindi	21151,2	88,13	0,81	6,70
Dastlabki ruda	24000	100	10,6	100

Texnologik jarayon tugallangach 2752,8 kg miqdorida -4+2 mm, -2+1 mm va -1 mm vermikulit fraksiyalarining boyitmasi olindi. Boyitmada vermikulitning olinishi 93,27 %, boyitmaning unumi 11,47 %, boyitmadagi vermikulit miqdori 86,2 % ni tashkil etdi. Olingan tadqiqot ma'lumotlariga asoslanib, boyitishning miqdoriy sxemasi hisoblab chiqildi (4-jadval, 6-rasm).

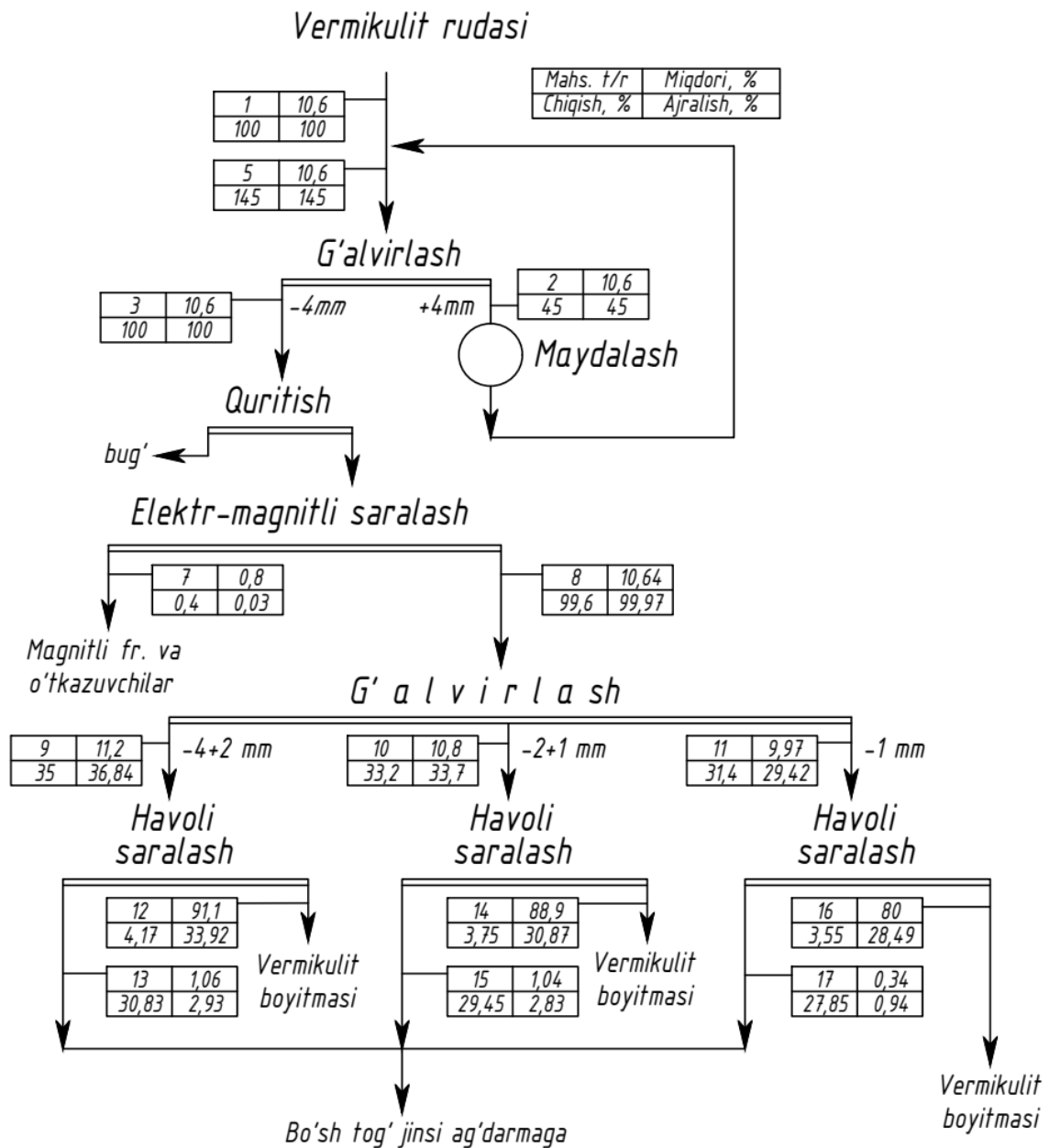
4-jadval

Vermikulit rudalarini boyitishning material balansi

№	Mahsulotlar	Mahsulot chiqishi		Vermikulit tarkibi $\beta$ , %	Vermikulit ajralishi, %
		Q-kg	$\gamma$ , %		
1	2	3	4	5	6
<b>I</b>	<b>G'alvirlash</b>				
	Kelishi:				
1	Dastlabki ruda	24000	100	10,6	100
5	Maydalangan mahsulot	10800	45	10,6	45
2	Jami:	34800	145	10,6	145
	Chiqishi:				
4	G'alvir usti mahsuloti	10800	45	10,6	45
3	G'alvir osti mahsuloti	24000	100	10,6	100
2	Jami:	34800	145	10,6	145
<b>II</b>	<b>Maydalash</b>				
	Kelishi:				
4	G'alvir usti mahsuloti	10800	45	10,6	45
	Jami:	10800	45	10,6	45
	Chiqishi:				
5	Maydalangan mahsulot	10800	45	10,6	45
	Jami:	10800	45	10,6	45
<b>III</b>	<b>Quritish</b>				
	Kelishi				

1	2	3	4	5	6
3	G'alvir osti mahsuloti	24000	100	10,6	100
	Chiqishi:				
6	Quritish mahsuloti	24000	100	10,6	100
	Suv bug'i				
<b>IV</b>	<b>Magnitli saralash</b>				
	Kelishi:				
6	Quritish mahsuloti	24000	100	10,6	100
	Chiqishi:				
7	Magnit fraksiya va o'tkazgichlar	96	0,4	0,8	0,03
8	Magnit bo'lmagan fraksiya	23904	99,6	10,64	99,97
	Jami:	24000	100	10,6	100
<b>V</b>	<b>G'alvirlash</b>				
	Kelishi:				
8	Magnit bo'lmagan fraksiya	23904	99,6	10,64	99,97
	Chiqishi:	Q-kg	$\gamma$ , %	B-%	$\epsilon$ , %
9	-4+2 mm fraksiya	8400	35,00	11,20	36,84
10	-2+1 mm fraksiya	7968	33,2	10,80	33,70
11	-1+0 mm fraksiya	7536	31,4	9,97	29,42
	Jami:	23904	99,6	10,64	99,97
<b>VI</b>	<b>Havoli saralash 1</b>				
	Kelishi:				
9	-4+2 mm fraksiya	8400	35,00	11,20	36,84
	Chiqishi:				
12	Vermikulit boyitmasi 1	1000,8	4,17	91,1	33,92
13	Chiqindi 1	7399,2	30,83	1,06	2,93
	Jami:	8400	35,00	11,20	36,84
<b>VII</b>	<b>Havoli saralash 2</b>				
	Kelishi:				
10	-2+1 mm fraksiya	7968	33,2	10,80	33,70
	Chiqishi:	Q	$\gamma$ , %	$\beta$	$\epsilon$ , %
14	Vermikulit boyitmasi 2	900	3,75	88,9	30,87
15	Chiqindi 2	7068	29,45	1,04	2,83
	Jami:	7968	33,2	10,80	33,70
<b>VIII</b>	<b>Havoli saralash 3</b>				
	Kelishi:				
11	-1+0 mm fraksiya	7536	31,4	9,97	29,42
	Chiqishi:	Q	$\gamma$ , %	$\beta$	$\epsilon$ , %
16	Vermikulit boyitmasi 3	852	3,55	80	28,49
17	Chiqishi 3	6684	27,85	0,34	0,94
	Jami:	7536	31,4	9,97	29,42
<b>IX</b>	<b>Ag'darmaga</b>				

1	2	3	4	5	6
	Kelishi:				
13	Chiqishi -1	7399,2	30,83	1,06	2,93
15	Chiqishi -2	7068	29,45	1,04	2,83
17	Chiqishi -3	6684	27,85	0,34	0,94
	Jami:	21151,2	88,13	0,81	6,7

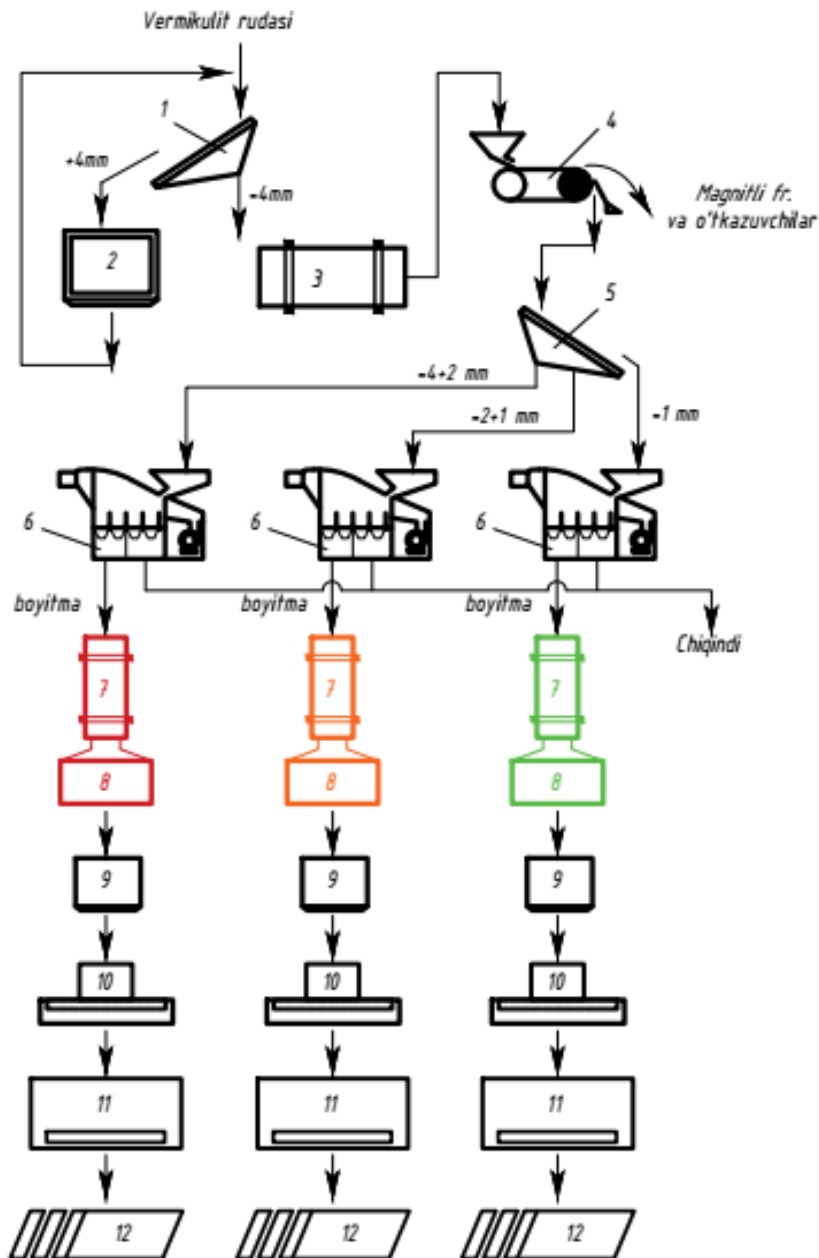


**6-rasm. Vermikulit rudalarini quruq usulda boyitishning sifat-miqdor sxemasi**

Olingan vermikulit boyitmasi sinovlari shuni ko'rsatdiki, barcha fizik-mexanik xossalari bo'yicha TCh 64-20811025-01: 2006 "Vermikulit boyitmasi" talablarga to'liq javob beradi.

Vermikulit rudalarini boyitishning texnologik sxemasiga muvofiq dastgohlarning zanjir sxemasi ishlab chiqilgan (7-rasm). Unga ko'ra dastavval

oziqlantiruvchi bunkerdan ruda tebranuvchi ta'minlagich orqali tasmali konveyerga tushiriladi va g'alvir (1) ga (2WFPS-1860) o'tkaziladi, g'alvir ustidagi 4 mm dan katta bo'laklar lentali konveyer orqali maydalash uchun bolg'ali maydalagichga (2) (VSI-7611) tashiladi va maydalangan ruda tasmali konveyerdan g'alvir (1) ga qaytariladi. -4 mm li fraksiya konveyerdan ishlov berish qismiga yuboriladi. Tasmali ajratgich mashinasi ustida joylashgan magnitli saralagich orqali temir ajratib olinadi. Aylanma quvurli pech (3) da fraksiya -4 +1 mm quritilganidan keyin rangli metallarni saralagach, elektromagnit (4) saralash girdobi orqali elak qavatining yuqori qismiga ko'taruvchi kovsh (TN-250) orqali (magnetit, titanomagnetit, gemotit, marganets va boshqalar kabi) tashiladi.



**7-rasm. Vermikulit rudalarini quruq usulda boyitishning dastgohlar zanjir sxemasi.**

1-g'alvir; 2-bolg'ali maydalagich; 3-quritish barabani; 4-elektromagnit saralagich; 5-g'alvir; 6-pnevmatik saralagich, 7-aylanma quvurli kuydirish pechi, 8-havo sovitgichi, 9-aralastirgich, 10-presslash dastgohi, 11-quritish shkafi 12-qadoqlash dastgohi.

Rangli metallar metall material bunkeriga, metall bo'lmagan materiallar 2 bunkerdan (2WFPS-1842) novga o'tadi. G'alvirlashdan so'ng uch turdagi fraksiyalar hosil bo'ladi. Changni yo'qotish uchun chang o'tkazmaydigan qurilmada suv tumanlagichlari orqali changsizlantiriladi. Siklondan <0,5 mm bo'lgan materiallar beriladi, umumiy chiziqli murakkablikda jami uch turdagi fraksiyalar hosil bo'ladi: -4+2 mm, -2+1 mm va -1 mm.

Olingan -4+2 mm, -2+1 mm va -1 mm sinfdagi fraksiyalar pnevmatik saralagichlarning qabul qiluvchi bunkerlaridan lentali konveyerlar orqali alohida-alohida beriladi. Ruda ajratilgandan so'ng vermikulit boyitmalari va qoldiqlari olinadi. Quruq boyitish orqali vermikulitning boyitmadagi miqdori 86% gacha, tayyor mahsulotlar 50 kg li polipropilen qoplarga qadoqlanadi va xaridorlar uchun sotuvga chiqariladi.

Turli mahsulotlar olish maqsadida vermikulit rudalarini boyitishda qo'llaniladigan texnologik jarayonlarini boshqarish va modellashtirish uchun Borland Delphi dasturiy ta'minotidan foydalanib, EHMLar uchun dasturlar ishlab chiqilgan.

O'tkazilgan tajriba-sinov va yarimsanoat sinovlari natijasi bo'yicha tavsiya etilgan texnologiyadan kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik 2022-yil narxlari bo'yicha 700000 tonna vermikulit rudasini qayta ishlashdan olinadigan iqtisodiy samara 32 699 930 000 so'mni tashkil qiladi.

## XULOSA

“Vermikulit rudalarini boyitib, turli mahsulotlar olish texnologiyasini yaratish” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga asoslangan holda, nazariy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Vermikulit rudasining tarkibi va xossalari to'liq o'rganib chiqildi va uning tarkibida  $\text{SiO}_2$ -38,1%,  $\text{MgO}$ -23,4%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -12,2%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -9,5%,  $\text{FeO}$ -1,2%,  $\text{K}_2\text{O}$ -5,1%,  $\text{TiO}_2$ -1,5%,  $\text{H}_2\text{O}$ -5,2% miqdorda bo'lib ular asosiy minerallar: vermikulit, biotit, piroksen va amfibol; ikkinchi darajali minerallar: karbonat, titano-magnetit, dingeit, gidrokslorid, montmorillonit, xrizotil-asbest, aktinolit, gips, kvarts va temir oksidlari; qo'shimcha minerallar: apatit, rutil, selestin, sirkon, anataz, sfen, barit va granit kabi minerallar ko'rinishida bo'ladi.

2. Vermikulit rudasi turli formada donador holda bo'lib, nisbatan yirik bo'laklari 20 mm gacha bo'ladi, ko'pchitish jarayoni vermikulit maydaligiga bog'liqligi sababli vermikulit rudasini boyitishdan oldin o'lchamini -4 mm gacha maydalash kerak bo'ladi.

3. Rudada titanomagnetit miqdori yuqori bo'lganligi sababli texnologik jarayonning boshida magnitli saralash yo'li bilan magnit boyitmasi olindi. Magnit boyitmasida tarkibida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ning miqdori 24,7% dan 50% gachani bo'lishi, uni sement ishlab chiqarishda temir qo'shimchasi sifatida ishlatilish imkonini beradi.

4. Vermikulit rudasini havoli saralash usuli bilan boyitish bo'yicha tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, vermikulit zarrachalarining asosiy sinfini chiqindi jinslardan ajratish uchun havo oqimining dastlabki tezligi 20-30 m/s oralig'ida bo'lishi 95 % vermikulitni boyitmaga o'tkazish imkonini beradi.

5. Vermikulit rudasini boyitish natijasida olingan boyitmani ko'pchitish uchun 900°C haroratda -4+2 mm yiriklikdagi fraksiya 3 min, -2+1 mm yiriklikdagi fraksiya 2 min, -1 mm yiriklikkacha bo'lgan fraksiya 1,5 min davomida kuydirish samarali bo'lishi aniqlandi. Haroratni va kuydirish davomiyligini yanada oshirish maqsadga muvofiq emas, olingan vermikulit yanada mo'rt bo'lib, bo'laklar ezilishi va o'rtacha zichlik oshishiga olib keladi.

6. Vermikulit rudalarini boyitib, turli mahsulotlar olishni ishlab chiqilgan texnologiyasi xomashyo bazasini kengaytirish, vermikulit rudalari tarkibidan ko'pchimaydigan bo'sh tog' jinslari va zaif ko'pchiydigan slyudalarni, hamda temir birikmalarini chiqarib yuborish, bog'lovchi moddalar qo'shish bilan qurilish plitalari, o'tga chidamli, issiqlikni himoyalovchi materiallar olish imkonini beradi.

7. Tadqiqot natijalari asosida vermikulit rudasini boyitib, turli mahsulotlar olish texnologik sxemasi va apparatlarining zanjirli sxemasi tavsiya etilib, kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik 2022-yil narxlari bo'yicha yiliga 32,7 mlrd so'mni tashkil etadi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.17/04.06.2021.Т.06.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АРИПОВ АВАЗ РОЗИКОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ  
РУД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**04.00.14 – Обогащение полезных ископаемых**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Навои – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером № В2021.3.PhD/Г2367.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [www.ndki.uz](http://www.ndki.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:** Холикулов Дониёр Бахтиёрович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Мухиддинов Баходир Фахридинович  
доктор химических наук, профессор

Алимов Расулхан Сарварханович  
доктор философии (PhD) по техническим наукам

**Ведущая организация:** филиал Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС»  
в г. Алмалык

Защита диссертации состоится «14» апреля 2023 года в 15 00 часов на заседании Научного Совета DSc.17/04.06.2021.Г.06.01. Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Зал заседаний Навоийского государственного горно-технологического университета. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горно-технологического университета (зарегистрирован за № 127). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66.

Автореферат диссертации разослан «31» марта 2023 года.

(реестр протокола рассылки № 9 от «31» марта 2023 года).



**К. Санакулов**

Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**О.У. Фузайлов**

Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н. (PhD)

**А.У. Самадов**

Председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире появление спроса на многие виды продукции на основе вермикулита - привело к тому, что промышленная индустрия из года в год увеличивает из местных сырья производство новых видов огнеупорных, легких и прочных изделий из минералов вермикулита с конструктивными свойствами. В то же время он широко используется при получении стали, фильтрации жидкости, адсорбции токсичных газов, снижении загрязнения почвы нитратами, в атомной энергетике и машиностроительной промышленности. Вышеуказанных отраслях также производство таких материалов имеет особое значение для того, чтобы отделять вермикулитовые минералы от пустых нерасширяющихся горных пород и слабой расширяющейся слюды.

На сегодняшний день в мире ведутся научно-практические исследования по получению строительных материалов с такими свойствами, как высокая пористость, низкая теплопроводность, достаточная механическая прочность, а также высокая огнестойкость. В связи с этим для получения качественных строительных материалов на основе вермикулита, стойких к различным механическим, термическим и химическим воздействиям, особое внимание уделяется обогащению неочищенных вермикулитовых руд различными гравитационными методами и повышению эффективности процессов, снижению себестоимости продукции, получению высоко - качественного строительного сырья, исследованию и совершенствованию методов термической обработки и улучшению его свойств.

В Республике достигается ряд научных и практических результатов по получению широкой номенклатуры современных строительных материалов из вермикулитового сырья, их популяризации и расширению областей применения при одновременном снижении себестоимости производства и доведение его до высокого уровня с точки зрения качества. В Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы<sup>1</sup> определены важные задачи по «интеграции с практикой научных изысканий, проводимых в высших образовательных учреждениях, созданию широких возможностей по всем направлениям для реализации инновационных проектов, внедрению современных механизмов поддержки исследований и инновационных инициатив». В связи с этим важно выполнять задачи по обогащению вермикулитовых руд, проведение исследований, направленных на разработку новых технологий производства различной продукции, совершенствование существующих технологий имеют большое научное и практическое значение.

Указ президента Республики Узбекистан от 21 февраля 2022 года "О дополнительных мерах по поддержке жилищного строительства и промышленности строительных материалов", основанный на важных

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 г. «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

задачах, диссертационное исследование имеет большое научное и практическое значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для решения задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПК-139 от 21 февраля 2022 года «О дополнительных мерах по поддержке строительства жилья и промышленности строительных материалов» и имеет большое научное и практическое значение. Данная диссертационное исследование в определенной степени служит в реализации задач, изложенных в других нормативных правовых актах, связанных с деятельностью.

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

**Степень изученности проблемы.** В мировой практике в развитие обогащения вермикулитовых руд, в изучении способов вспучивание концентратов и получения материалов на их основе внесли значительный вклад ученые Г.Ф.Уокер, И.Баршад, В.А.Бассет, И.В.Грюнер, А.П.Афанасьев, Я.А.Ахтямов, П.П.Боровиков, Б.С.Бобров, Г.В.Геммерлинг, К.Н.Дубенецкий, Н.Н.Кальянов, А.М.Корчагин, И.А.Львова, А.П.Пожнин, Ю.Тихонов, П.А.Арифов и др.

На основании анализа имеющихся работ установлено, что вермикулитовые руды представляют собой одну из самых сложных для решения проблем, так как затруднено их отделение от невспучивающихся рыхлых пород и слабовспучиваемых слюд при обогащении и производстве различной продукции. В то же время недостаточно изучены проблемы повышения качества вермикулитовых руд, совершенствования технологических процессов, направленных на широкое использование этих продуктов с целью получения из них огнеупорных материалов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени посвящено разработке технологии обогащения вермикулитовых руд и получения различных продуктов и их применению в области строительства и металлургии.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено с планом НИР Навоийский государственный горный института в рамках проекта № 1/05-2021 «Проведение опытных испытаний на вермикулитовых рудах месторождения Тебинбулак» (2021 г.).

**Целью исследования** является обогащение вермикулитовых руд и разработка эффективной технологии получения строительных, огнеупорных и теплозащитных изделий из них.

**Задачи исследования:**

изучение химического, минералогического состава вермикулитов рудника «Тебинбулак»;

изучение подготовки вермикулитовых руд к обогащению и определение оптимальных параметров обогащения;

определение оптимальных параметров процесса обжига обогащенной вермикулитовой руды и исследование технических характеристик получаемого продукта;

исследование процессов производства теплозащитных, огнеупорных, строительных плит с добавлением, вяжущих из вспученного вермикулита, определение оптимальных параметров процессов;

разработка технологии получения строительных и фильтрационных материалов из вермикулитовых пород и проведение опытно-промышленных испытаний в промышленных условиях, а также разработка рекомендаций по полному практическому использованию полученных результатов;

в результате проведенных исследований разработка технологии получения различной продукции путем обогащения вермикулитовых руд.

**Объектом исследования** являются вермикулитовая руда месторождения Тебинбулак, расположенного в Караузьякском районе Республики Каракалпакстан.

**Предметом исследования** является технология получения различных продуктов путем обогащения вермикулитовых руд.

**Методы исследований.** В диссертационную работу включены современные комплексные методы, анализ научно-технических данных по обогащению вермикулитовых руд, теоретические исследования с использованием аналитического метода, экспериментальные исследования, химические и физико-химические методы, термогравиметрические, полярографические, спектрофотометрические методы анализа, магнитные методы обогащения, применён метод обогащения воздушной сортировки, методы пирометаллургии, а также статистическую обработку результатов опытов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

в результате исследований установлен химико-минералогический состав Тебинбулакской вермикулитовой руды, определено наличие невспучивающихся рыхлых пород и слабо вспучивающихся слюд;

в результате исследований установлено, что применение молотковой дробилки при дроблении Тебинбулакской вермикулитовой руды, удаление соединений железа с помощью магнитного сепаратора при обогащении и обогащение в воздушном сепараторе являются наиболее эффективными;

впервые определены оптимальные параметры вспучивания «Тебинбулакского» вермикулита при температуре 900°C, при этом обжига для фракции -4+2мм в течении 3 минут, для фракция -2+1мм в течении 2 минут, для фракция -1мм в течении 1,5 минуты оказался самым эффективным и установлено, что быстрое охлаждение после вспучивания вермикулита предохраняет его элементарные минералы от горения и сохраняет его механическую прочность;

определены оптимальные параметры процесса получения огнеупорных теплозащитных материалов путем добавления каолина, бентонита и цемента в качестве вяжущего материала к вспученному вермикулиту и строительным плитам с добавлением жидкого стекла;

в результате опытно-промышленных испытаний были разработаны технология схема цепи аппаратов обогащения вермикулитовых руд и производства на его основе различной продукции.

**Практические результаты исследования заключается в следующем:**

разработан способ извлечения вермикулита до 85%, с помощью процессов магнитной и пневматической сортировки осуществляется очистка вермикулитовой руды от невспучивающихся рыхлых пород и слабовспучивающихся слюд;

определены изменения состояния минералов при обжиге обогащенной вермикулитовой руды;

разработаны теплозащитные, огнеупорные, строительные плиты с добавлением вспученных вермикулитовых вяжущих материалов.

разработана новая усовершенствованная технология производства теплозащитных изделий из вермикулитовых руд с использованием процессов грохочения, дробления, магнитной и пневматической сортировки.

**Достоверность результатов исследования** доказана применением современных методов исследований и проведенных химических, физико-химических методов анализа, а также большим объемом экспериментального материала, обработанных с использованием методов математического моделирования.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость исследования объясняется определением оптимальных параметров подготовки и применения процессов обогащения вермикулитовой руды, определением оптимальных режимов процесса обжига обогащенной вермикулитовой руды, изучением технических характеристик получаемого продукта с добавлением вяжущих веществ для получения теплозащитных, огнестойких, строительных плит.

Практическая значимость результатов исследований служит обогащению бедной вермикулитовой руды и разработке технологии получения теплоизоляционных, огнеупорных, строительных плит, фильтрующих материалов путем введения вяжущих материалов.

**Внедрение результатов исследования.**

На основании полученных научных результатов по разработке технологии получения различной продукции путем обогащения вермикулитовых руд:

Технология удаления соединений железа из вермикулитовой руды месторождения Тебинбулок с использованием магнитного сепаратора и обогащения в воздушном сепараторе внедрена в ООО «SVERXBELПРОЕКТ» и «TRUMF-VERMICULIT» (справка «Ассоциация предприятий промышленности строительных материалов Узбекистана»

№05/15-3160 от 28 12 2022 г.). В результате количество вермикулита в вермикулитовом концентрате было увеличено до 85%;

Способ обжига в трубчатой вращающейся печи при температуре 900°C с целью получения вспученного вермикулита из вермикулитового концентрата внедрен в ООО «SVERXBELПРОЕКТ» справка «Ассоциация предприятий промышленности строительных материалов Узбекистана» №05/15-3160 от 28 12 2022 г.). В результате были установлены оптимальные параметры процесса получения вспученного вермикулита.

Способ производства огнеупорных и теплозащитных плит путем добавления во вспученный вермикулит в качестве вяжущих каолина, бентонита, цемента и жидкого стекла внедрен в ООО «SVERXBELПРОЕКТ» и «TRUMF-VERMICULIT» (справка «Ассоциация предприятий промышленности строительных материалов Узбекистана» №05/15-3160 от 28 12 2022 г.). В результате были получены огнеупорные и теплозащитные плиты.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования проведена на 4 республиканских и 3 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы всего 21 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, изданы 8 статей, в том числе 4 из которых в республиканском и 4 в зарубежных журналах.

**Структура и объём диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 116 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагается научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние, теория и технология обогащения вермикулитовых руд**» анализируется современное состояние и уровень развития обогащения и переработки вермикулитовых руд. Результаты изучения мирового опыта обогащения и переработки вермикулитсодержащих руд оказались разными и уникальными для каждого рудника, а также установлено, что в технологиях имеется множество недостатков, требующих совершенствования существующих способов обогащения и разработки новых технологий.

Во второй главе диссертации «Исследование свойств вермикулитовой руды и способы получения вспученного вермикулита» изучен химический, минералогический и гранулометрический состав вермикулитовой руды рудника «Тебинбулак», выбранного как объект исследования. Химический и минералогический состав вермикулита определяли спектральными, химическими и минералогическими методами анализа.

Вермикулитовая руда месторождения Тебинбулак содержит основные минералы: вермикулит, пироксен и амфибол, вторичные минералы: карбонат, титаномагнетит, дингеит, гидрохлорид, монтмориллонит, хризотил-асбест, актинолит, гипс, кварц и оксиды железа, добавки: апатит, рутил, целестин, обнаружены такие минералы, как циркон, анатаз, сфен, барит и гранит. Определенный химический и гранулометрический составы вермикулитовой руды представлены в табл. 1 и 2.

Вермикулитовые заполнители могут быть использованы в стеновых конструкциях из вермикулитовых плит, полученных путем обжига обогащенной вермикулитовой руды, как средство предотвращения перегрева зданий в условиях жаркого климата, а также для сохранения тепла в северных районах.

Таблица 1

Химический состав вермикулитовых руд  
(Mg<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>)<sub>3</sub> [(AlSi)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]·(OH)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O

SiO <sub>2</sub>	38,1%	TiO <sub>2</sub>	1,5%
MgO	23,4%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,2%	MnO	0,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5%	Cl <sub>2</sub>	0,4%
FeO	1,2%	CO <sub>2</sub>	0,6%
K <sub>2</sub> O	5,1%	S	0,2%
Na <sub>2</sub> O	0,7%	H <sub>2</sub> O	5,2%
CaO	0,8%		

Таблица 2

Гранулометрический состав вермикулитовых руд

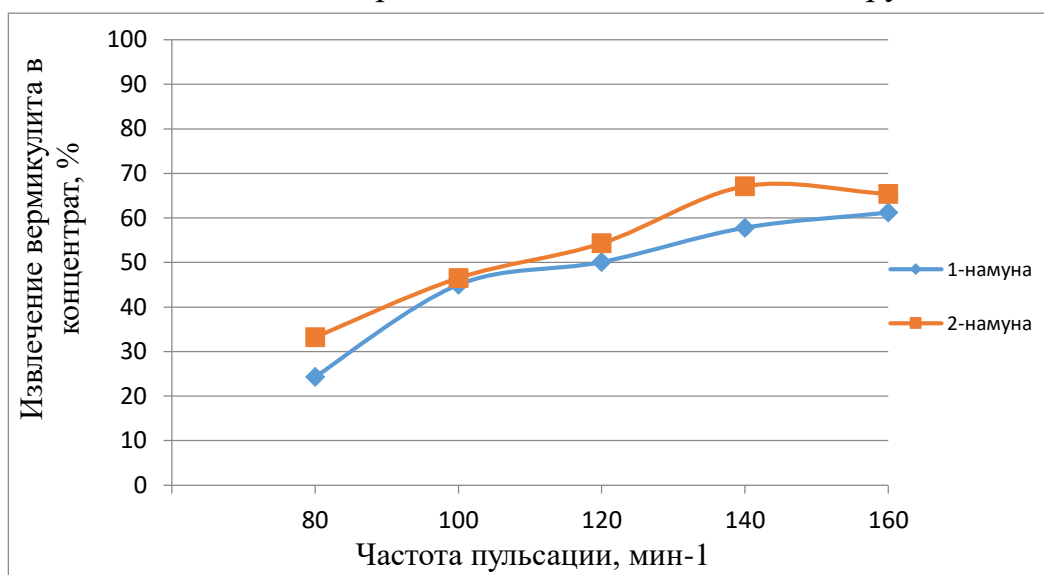
№	Класс крупности, мм	Выход фракции			
		До дробления		После дробления	
		г	%	г	%
1	+20	42	2,1	-	-
2	-20+12	458	22,9	216	10,8
3	-12+4	718	35,9	512	25,6
4	-4+2	682	34,1	642	32,1
5	-2+0,25	74	3,7	562	28,1
6	-0,25	26	1,3	68	3,4
	Всего:	2000	100	2000	100

В третьей главе диссертации под названием «Исследование и определение технологических параметров обогащения и вспучивания вермикулитовой руды Тебинбулакского рудника» описаны процесс измельчения вермикулитовых руд, способ и технология обогащения руд, технология вспучивания вермикулитового концентрата, технология получения огнеупорных изделий на основе вспученного вермикулита, использование вермикулитового концентрата в металлолитье и представлены результаты исследований процессов применения вермикулита в качестве теплосбережения.

Основной задачей процесса обогащения вермикулитовой руды является отделение от частиц вермикулита рыхлой породы, невспучивающейся вскрыши и слабовспучивающихся частиц слюды. Этот процесс обогащения является наиболее трудоемким и дорогостоящим процессом в производстве вспученного вермикулита. Следующие этапы переработки сырья - процесс обжига требует меньше труда и затрат.

Учитывая относительно низкое содержание вермикулита в рудах, были проведены лабораторные испытания в отсадочной машине для определения возможности предварительного обогащения. Испытания проводились на двух образцах массой 7,1 и 8,1 кг с содержанием вермикулита 8,12 и 11,62 %. Количество вермикулита в полученном концентрате (легкая фракция) составило 18,49 и 28,35% соответственно, а выход 25,7%. При обогащении получено 58-67% вермикулита. Массовая плотность вспученного вермикулита составляет 166-178 кг/м<sup>3</sup> (рис. 1). Как видно из графика, показатели обогащения при обогащении в отсадочных машинах невысокие. Кроме того, после обогащения в водной среде концентрат должен быть подвергнут процессу обезвоживания и сушки, и только после этого концентрат может быть отправлен на процесс сжигания.

Благодаря высокому содержанию в рудах титаномагнетита возможно выделение магнитного концентрата магнитным обогащением руд в начале

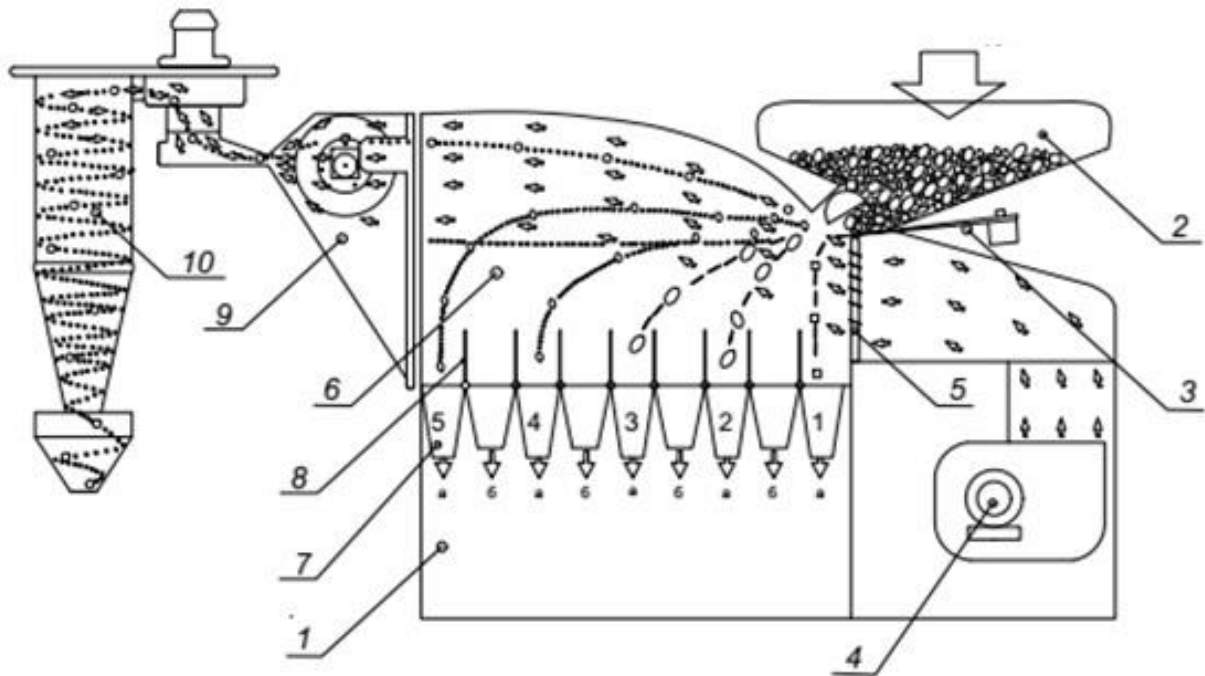


**Рис.1. Графики зависимостей частоты пульсации при получении вермикулитового концентрата в отсадочных машинах.**

технологического процесса. Согласно лабораторным испытаниям количество  $Fe_3O_4$  в магнетитовом концентрате составляет 24,7-50%, и он может быть использован в качестве добавки к железу в производстве цемента.

Кроме того, обогащение вермикулита проводили сухим обогащением в воздушном сепараторе. Каждый размер и класс был разделен отдельно, чтобы повысить эффективность обогащения сепаратора. При сортировке минералы разделяются вследствие разницы в удельном весе вермикулитовых руд.

Более плотные минералы попадают в первый приемник, а вермикулит, имеющий меньший удельный вес, чем другие минералы в руде, уносится воздушным потоком и попадает в дальний приемник (рис. 2).

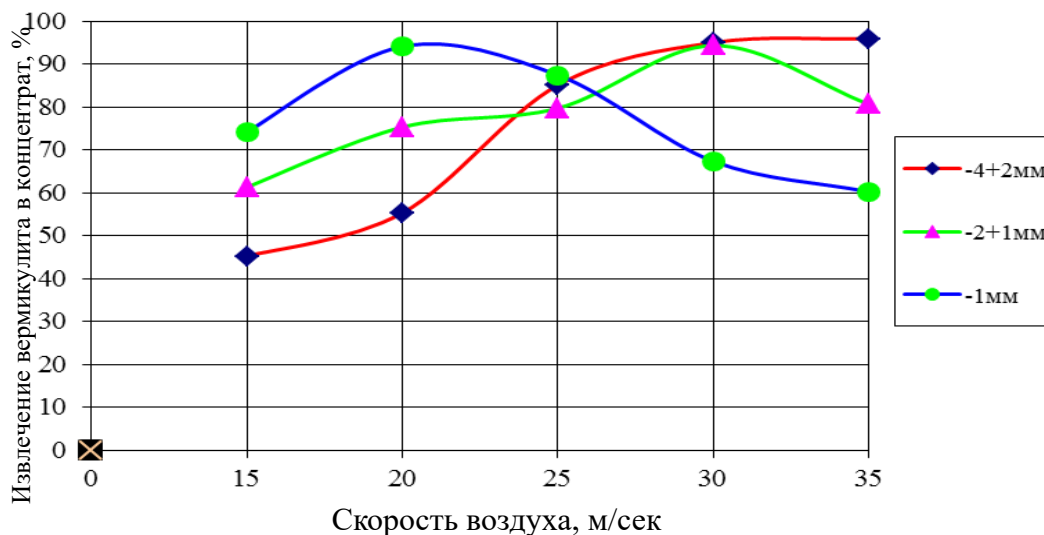


**Рис.2. Траектория движения минералов по их удельному весу внутри сепаратора:**

1-основной модуль; 2-бункер подачи (питатель); 3-вибрационная труба; 4-главный вентилятор; 5-генератор потока; 6-рабочая камера; 7-коллектор-собирающий (1-для тяжелых фракций, 2,3-для фракции средней плотности, 4,5-для легких фракций); 8-поворотный барьер; 9 - аспирационный блок; 10 - циклон.

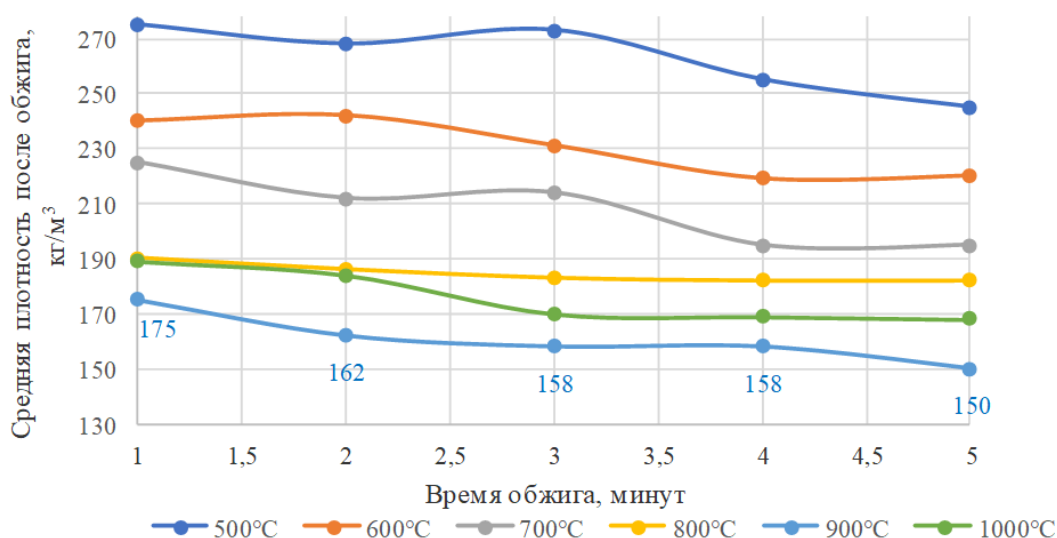
Результаты исследования показывают, что для отделения основного класса вермикулита от пустой породы начальная скорость воздушного потока должна быть в пределах 20-30 м/с. Результаты представлены на рис.3.

На каждом этапе процесса обжига вермикулита образуется пар, который расширяет вермикулитовый концентрат, поскольку он имеет тенденцию отделяться от частиц. На каждом этапе за счет силы давления пара частицы вермикулита отделяются друг от друга, пар выходит из его слоев, а слюда остается открытой. Концентрированный вермикулит нельзя оставлять надолго в печи. Причина этого в том, что из-за длительного нахождения в жаркой среде содержащиеся в ней минералы могут сгореть и ее прочность значительно снизится. В результате качество производимого вермикулита зависит от методов расширения.



**Рис.3. Графики зависимостей отделения вермикулита от расхода воздуха на сепараторе воздушного обогащения.**

Результаты анализа показали, что чрезмерно медленный обжиг концентрата до высокой температуры снижает эффект расширения за счет преждевременного выделения в содержимом большого количества связанной воды, а оставшейся части недостаточно для расширения при нагревании. Слишком быстрый обжиг может привести к выделению большого количества мелких частиц, что может привести к расплавлению обжигаемой массы в печи. Наилучшие результаты обжига получаются при температуре 900°C и времени обжига 2-3 минуты (рис.4). Дальнейшее повышение температуры нецелесообразно: вермикулит становится более ломким, куски измельчаются, увеличивается средняя плотность.

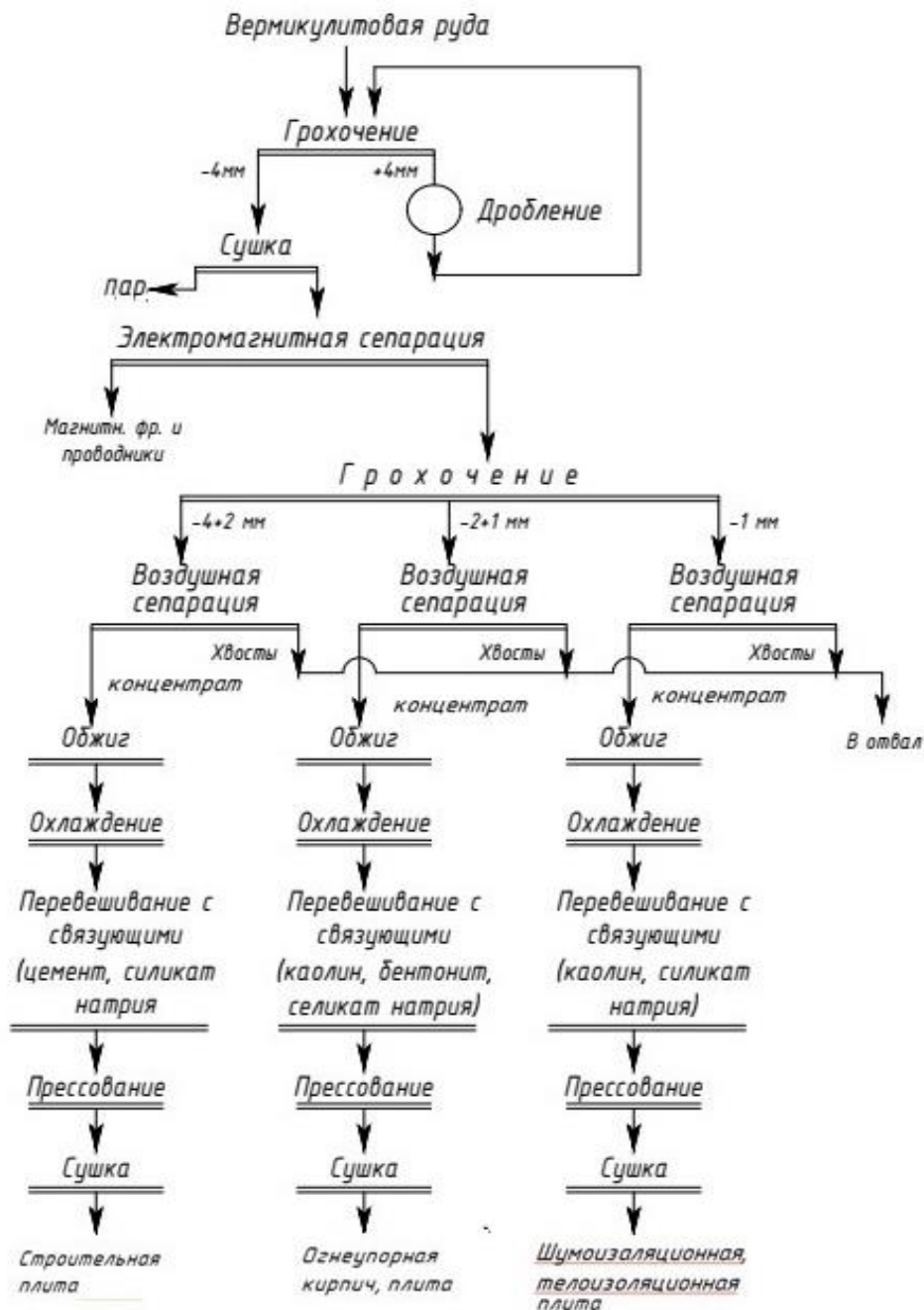


**Рис.4. График зависимости плотности вспученного вермикулита от времени обжига и температуры**

В четвертой главе диссертации под названием «**Разработка технологии обогащения вермикулитовой руды, получение огнеупоров и определение их эффективности**» разработана принципиальная схема аппарата и

технологическая схема обогащения вермикулитовой руды. С целью создания оптимальной схемы обогащения была испытана на обогащение вермикулитовая руда Караузьякского месторождения с содержанием вермикулитовой руды 10,6%. По результатам лабораторных опытов и опытно-промышленных испытаний разработана технологическая схема обогащения вермикулитовых руд, включающая сепарацию, одностадийное измельчение, извлечение в рудах железа и цветных металлов, а также других примесей, и дробление до фракций - 4+2 мм, -2+1 мм и -1 мм в отдельности, каждая фракция собирается в бункеры при воздушной сортировке.

По результатам проведенных исследований рекомендована технологическая схема обогащения вермикулитовых руд с получением различной продукции (рис. 5).



**Рис.5. Рекомендуемая технологическая схема сухого обогащения вермикулитовых руд**

Для обогащения вермикулита используют измельченные до определенной фракции вермикулитовые руды. Фракционный состав измельченных вермикулитовых руд должен быть -4+2 мм, -2+1 мм и -1 мм в зависимости от использования для производства различной продукции. Эти условия учитывались при дроблении вермикулитовых руд месторождения Тебинбулак. Проба вермикулитовой руды массой 24 т была отобрана с месторождения Тебинбулак, в котором количество вермикулита составило 10,6%, то есть 2,54 т вермикулита. Образец был испытан на вермикулитовом предприятии ООО «SVERXBELПРОЕКТ» по разработанной схеме. По предлагаемой технологии определяли баланс продуктов обогащения, выход продукта, количество вермикулита и степень извлечения (табл. 3).

Таблица 3

Продукты	Выход продукта		Состав вермикулита $\beta$ , %	Извлечение вермикулита $\epsilon$ , %
	Q -кг	$\gamma$ -%		
Концентрат				
Фр. -4 +2 мм	1000,8	4,17	91,1	33,92
Фр. -2 +1 мм	900	3,75	88,9	30,87
Фр. -1 мм	852	3,55	80	28,49
Итого:	2752,8	11,47	86,20	93,27
Магнит фракция и проводники	96	0,4	0,80	0,03
Хвосты	21151,2	88,13	0,81	6,70
Исходная руда	24000	100	10,6	100

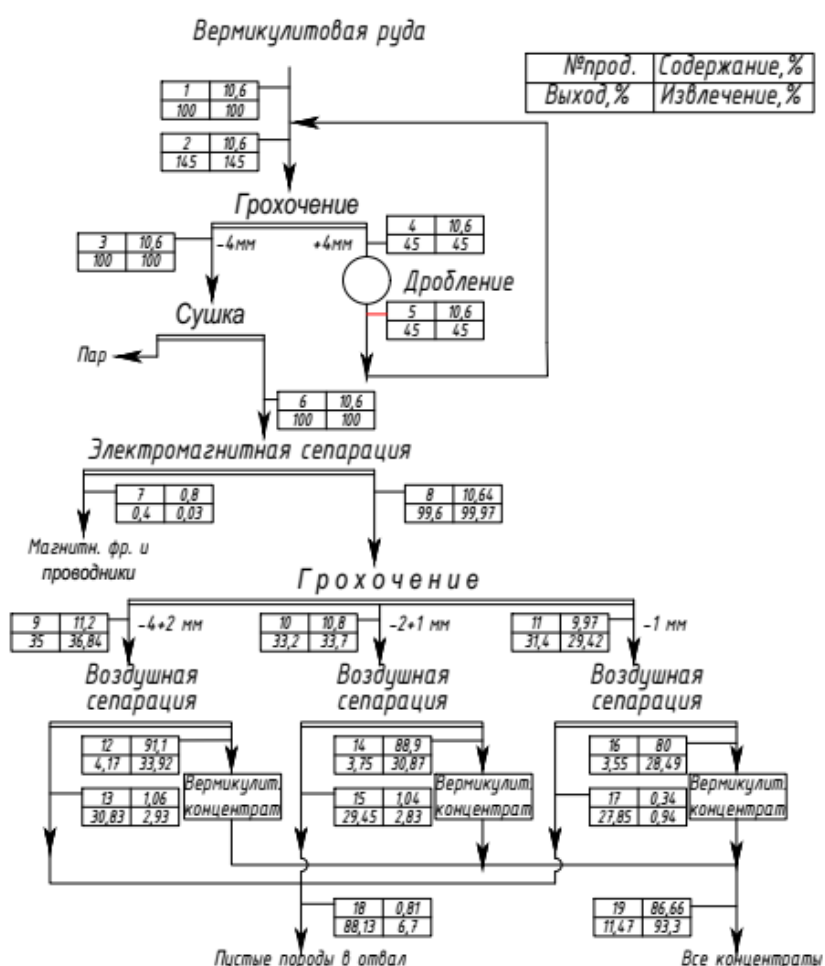
После завершения технологического процесса был получен концентрат фракцией вермикулита -4+2мм, -2+1мм и -1мм в количестве 2752,8 кг. Количество вермикулита при обогащении составило 93,27%, выход концентрата 11,47%, количество вермикулита в концентрате 86,2%. На основании полученных экспериментальных данных была рассчитана количественная схема обогащения (табл. 4, рис.6).

Таблица 4

№	Продукт	Выход продукта		Состав вермикулита $\beta$ , %	Извлечение вермикулита $\epsilon$ , %
		Q -кг	$\gamma$ -%		
1	2	3	4	5	6
I	<b>Грохочение</b>				
	Поступает:				
1	Исходная руда	24000	100	10,6	100
5	Дробленный продукт	10800	45	10,6	45
2	итого:	34800	145	10,6	145
	Выходит:				

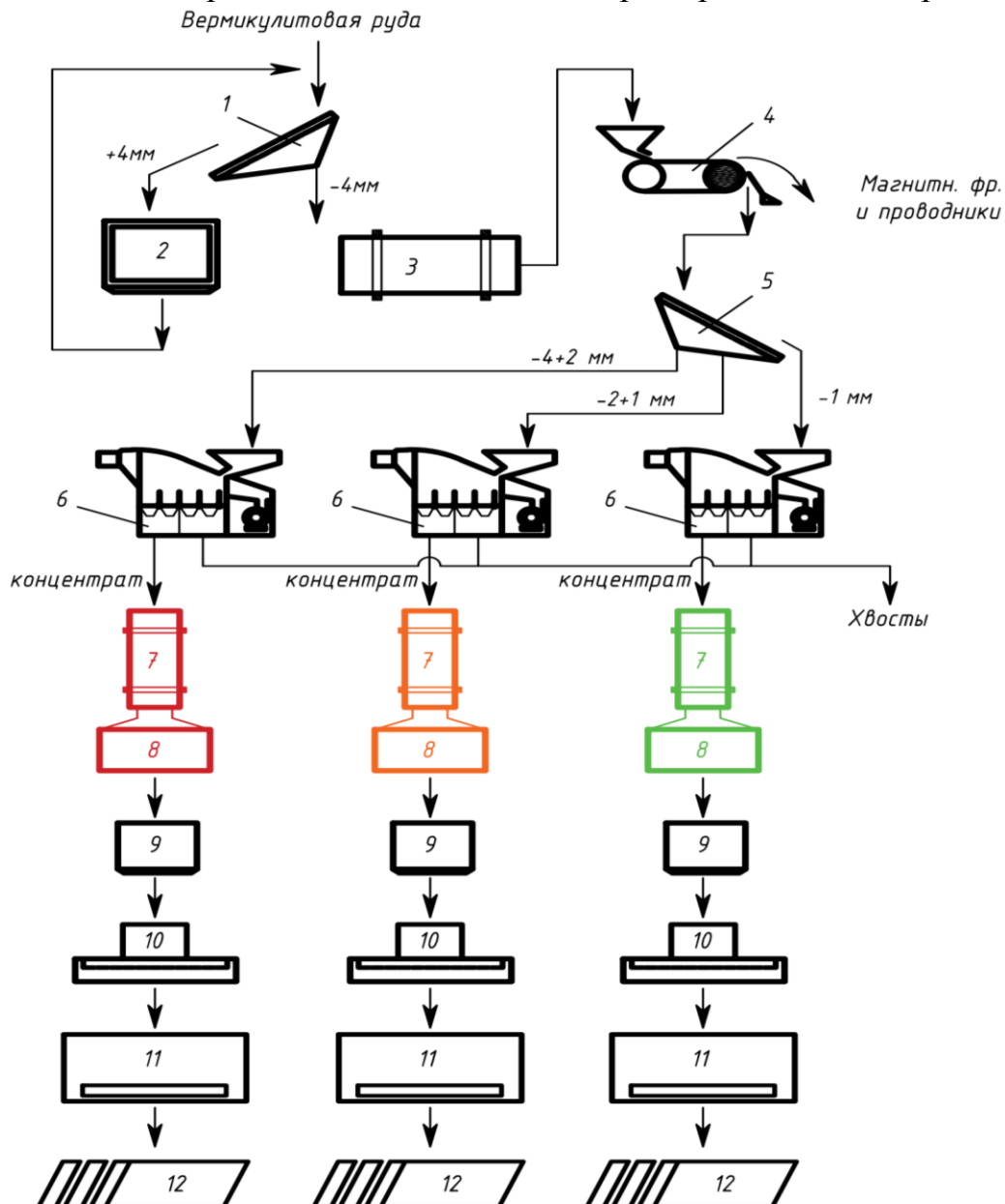
4	Надрешетный продукт	10800	45	10,6	45
1	2	3	4	5	6
3	Подрешетный продукт	24000	100	10,6	100
2	Итого:	34800	145	10,6	145
II	<b>Дробление</b>				
	Поступает:				
4	Надрешетный продукт	10800	45	10,6	45
	итого:	10800	45	10,6	45
	Выходит:				
5	Дробленный продукт	10800	45	10,6	45
	итого:	10800	45	10,6	45
III	<b>Сушка</b>				
	Поступает				
3	Подрешетный продукт	24000	100	10,6	100
	Выходит:				
6	Выходной продукт	24000	100	10,6	100
	Пар				
IV	<b>Магнитная сепарация</b>				
	Поступает:				
6	Продукт сушки	24000	100	10,6	100
	Выходит:				
7	Магнитная фракция ва проводники	96	0,4	0,8	0,03
8	Немагнитная фракция	23904	99,6	10,64	99,97
	Выходит:	24000	100	10,6	100
V	<b>Грохочение</b>				
	Поступает:	Q-кг	$\gamma$ -%	B-%	$\varepsilon$ -%
8	Немагнитная фракция	23904	99,6	10,64	99,97
	Выходит:				
9	кл. -4+2 мм	8400	35,00	11,20	36,84
10	масса -2+1 мм	7968	33,2	10,80	33,70
11	масса -1+0 мм	7536	31,4	9,97	29,42
	Итого:	23904	99,6	10,64	99,97
VI	<b>Воздушная сепарация 1</b>				
	Поступает:				
9	масса -4+2 мм	8400	35,00	11,20	36,84
	Выходит:				
12	Вермикулитовый концентрат 1	1000,8	4,17	91,1	33,92
13	Хвосты 1	7399,2	30,83	1,06	2,93
	Итого:	8400	35,00	11,20	36,84
VII	<b>Воздушная сепарация 2</b>				
	Поступает:				
10	Масса -2+1 мм	7968	33,2	10,80	33,70

	Выходит:				
1	2	3	4	5	6
14	Вермикулитовый концентрат 2	900	3,75	88,9	30,87
15	Хвосты 2	7068	29,45	1,04	2,83
	итого:	7968	33,2	10,80	33,70
<b>VIII Воздушная сепарация 3</b>					
	Поступает:				
11	масса -1+0 мм	7536	31,4	9,97	29,42
	Выходит:				
16	Вермикулитовый концентрат 3	852	3,55	80	28,49
17	Выходит 3	6684	27,85	0,34	0,94
	Итого:	7536	31,4	9,97	29,42
<b>IX Хвосты</b>					
	Поступает:				
13	Выходит -1	7399,2	30,83	1,06	2,93
15	Выходит -2	7068	29,45	1,04	2,83
17	Выходит -3	6684	27,85	0,34	0,94
	Итого:	21151,2	88,13	0,81	6,7



**Рис.6. Качественно-количественная схема сухого обогащения вермикулитовых руд**

Испытания полученного вермикулитового концентрата показали, что он полностью соответствует требованиям ТЧ 64-20811025-01:2006 «Вермикулитовый концентрат» по всем своим физико-механическим свойствам. В соответствии с технологической схемой обогащения вермикулитовых руд разработана схема цепи аппаратов (рис. 7). В соответствии с ней сначала материал из загрузочного бункера опускается на ленточный конвейер через вибрационный питатель и передается на грохот 1 (2WFPS-1860), куски крупнее 4 мм по ленточному конвейеру транспортируются в молотковую дробилку 2 (ВСИ-7611) для измельчения, а измельченный материал с ленточного конвейера переносится на грохот 1.



**Рис.7. Схема цепи аппаратов сухого обогащения вермикулитовых руд:**

1- грохот; 2- молотковая дробилка; 3- сушильный барабан; 4- электромагнитный сепаратор; 5- грохот; 6- пневматический сепаратор, 7- вращающаяся трубчатая печь для обжига, 8- воздухоохладитель, 9- смеситель, 10- прессование, 11- сушильный шкаф, 12- упаковка.

Фракция -4 мм направляется с конвейера в блок обработки. Железо отделяется магнитным сепаратором, расположенным над ленточным сепаратором. После сушки фракции -4+1 мм во вращающейся трубчатой печи 3 и после сортировки цветных металлов, они (магнетит, титаномагнетит, гематит, марганец и др.) транспортируются в верхнюю часть ситового пола через сортировочный вихревой 4 подъемный ковш (ТН-250).

Магнетит, титаномагнетит, гематит, марганец поступают в бункер для металлических материалов, неметаллические материалы поступают из бункера 2 (2WFPS-1842) в желоб. После грохочения образуются три типа фракций. Обеспыливание осуществляется водяными туманами в пылезащитном устройстве для удаления пыли. Приведены материалы <0,5 мм от циклона, всего трех типов фракций по общей линейной сложности: -4+2 мм, -2+1 мм и -1 мм.

Полученные фракции классов -4+2 мм, -2+1 мм и -1 мм подаются раздельно из приемных бункеров пневмосепараторов по ленточным конвейерам. После разделения руды мы получаем вермикулитовые концентраты и хвосты. Количество вермикулита при обогащении сухим обогащением составляет до 86%, готовая продукция фасуется в 50-килограммовые полипропиленовые мешки и реализуется потребителям.

Для управления и моделирования технологических процессов применяемых при обогащении вермикулитовых руд с целью получения различных продуктов применялось программное обеспечение Borland Delphi, разработана программа для ЭВМ.

Ожидаемая экономическая эффективность предлагаемой технологии, основанная на результате проведенных опытно-лабораторных и полупромышленных испытаний, составляет 32699930000 сумов от переработки 700000 тонны вермикулитовой руды по ценам на 2022 год.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в диссертационной работе, были сделаны следующие выводы:

1. Полностью изучены состав и свойства вермикулитовой руды и в ее составе имеются  $\text{SiO}_2$ -38,1%,  $\text{MgO}$ -23,4%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -12,2%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -9,5%,  $\text{FeO}$ -1,2%,  $\text{K}_2\text{O}$ -5,1%,  $\text{TiO}_2$ -1,5%,  $\text{H}_2\text{O}$ -5,2%, они были обнаружены в минералах в виде: в основных минералах: вермикулит, биотит, пироксен и амфибол; второстепенные минералы: карбонат, титаномагнетит, дингеит, гидрохлорид, монтмориллонит, хризотил-асбест, актинолит, гипс, кварц и оксиды железа; дополнительные минералы: апатит, рутил, целестин, циркон, анатаз, сфен, барит и гранит.

2. Вермикулитовая руда зернистая, различной формы, с относительно крупными кусками до 20 мм, так как процесс вспучивания связан с крупностью вермикулита определено, что до обогащения вермикулитовую руду необходимо измельчить до крупности -4 мм.

3. Благодаря высокому содержанию в руде титаномагнетита методом магнитной сепарации в начале технологического процесса магнитной сепарацией был получен магнитный концентрат. Содержание  $Fe_3O_4$  в магнитном концентрате от 24,7% до 50% дает возможность его применения в цементной промышленности в качестве железной добавки.

4. Результаты исследований по обогащению вермикулитовой руды воздушной сепарацией показали, что для извлечения основного класса вермикулитовых частиц из пустой породы начальная скорость воздушного потока должна быть в пределах 20-30 м/с, что дает возможность перевода в концентрат 95% вермикулита.

5. Было установлено, что для вспучивания концентрата полученного в результате обогащения вермикулитовой руды эффективно обжигать при температуре 900°C фракцию размером -4+2 мм в течение 3 мин, фракцию размером -2+1 мм в течение 2 мин, фракцию размером 1 мм в течение 1,5 мин. Нецелесообразно дополнительно повышать температуру и время обжига, полученный вермикулит становится более хрупким, комки измельчаются и приводят к увеличению средней плотности.

6. Разработанная технология обогащения вермикулитовых руд и получения различных продуктов позволяет исключить из содержания вермикулитовых руд неразрыхляющиеся горные породы и слабо разрыхляющуюся слюду, а также соединения железа руды и расширять сырьевую базу добавлением связующих материалов получить строительные плиты, огнеупорные, теплозащитные материалы.

7. По результатам исследования рекомендована технологическая схема и схема цепи аппаратов для получения различных продуктов основанная на обогащении вермикулитовой руды, ожидаемая экономическая эффективность в ценах на 2022 год составляет 32,7 млрд. сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.17/04.06.2021.T.06.01 AT NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING  
AND TECHNOLOGIES**

---

**NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGIES**

**ARIPOV AVAZ ROZIKOVICH**

**DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF PROCESSING  
VERMICULITE ORES FOR OBTAINING VARIOUS PRODUCTS**

**04.00.14 - Mineral processing.**

**DISSERTATION ABSTRACT  
for the Doctor of Philosophy (PhD) of Technical Sciences**

**Navoi –2023**

The topic of the dissertation of a Doctor of Philosophy (PhD) is registered at the Higher Attestation Commission under the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under No. B2024.3.PhD/T.2367.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining and Technology University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) on the website of the Scientific Council (www.ndki.uz) and on the information and educational portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

**Scientific supervisor:**

**Kholikulov Doniyor Bakhtiyorovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Official opponents:**

**Mukhiddinov Bakhodir Fakhriddinovich**  
doctor of chemical sciences, professor

**Alimov Rasulkhan Sarvarkhanovich**  
Doctor of Philosophy (Phd) in technical sciences

**Leading organization:**

**Almalyk branch of the National University of Science and Technology «MISiS»**

The defense of the dissertation will be held on «14» april 2023 at 15<sup>00</sup> at the meeting of the Scientific Council DSc.17/04.06.2021.T.06.01 at the Navoi State University of Mining and technologies. Address: 210100, Navoi, Galaba Shokh Street, 76v. Conference Hall of the Navoi State University of Mining and technologies Phone: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com.

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Navoi State University of Mining and technologies under No 127 Adress: 210100, Navoi, 76v Galaba Shokh St. Phone: (79) 223-56-90; fax: (79) 223-00-55.

The abstract of the dissertation is distributed on «31» march 2022.

(Protocol at the register No 9 dated «31» march 2022.)



**K.Sanakulov**  
Chairman of the Scientific Council  
for awarding the scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**O.U.Fuzaylov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
for awarding the scientific degrees,  
Doctor of Philosophy (Phd) in technical sciences

**A.U. Samadov**  
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific  
Council for awarding academic degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

## **INTRODUCTION (abstract of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))**

**The aim of the work** is to develop a technology for enrichment of vermiculite ores and production of construction, refractory, heat protection products.

**The object of the research** is the vermiculite ore of the Tebinbulak deposit, located in the Karauzyak region of the Republic of Karakalpakstan

### **The scientific novelty of the research is as follows:**

as a result of the research, the chemical and mineralogical composition of the Tebinbulak vermiculite ore was established, the presence of non-intumescent loose rocks and slightly intumescent micas was defined;

as a result of the research, it was found that the use of a hammer crusher in the crushing of Tebinbulak vermiculite ore, the removal of iron compounds using a magnetic separator during enrichment and enrichment in an air separator are the most effective;

for the first time, the optimal parameters of swelling of “Tebinbulak” vermiculite at a temperature of 900°C were determined, while roasting for a fraction of -4 + 2mm – 3 minutes, for a fraction of -2 + 1mm – 2 minutes, for a fraction of -1mm – 1.5 minutes turned out to be the most effective and it has been found that rapid cooling after swelling of vermiculite prevents its elemental minerals from burning and preserves its mechanical strength;

the optimal parameters of the process of obtaining refractory heat-shielding materials by adding kaolin, bentonite and cement as a binder to expanded vermiculite and building boards with the addition of liquid glass were determined;

as a result of pilot tests, a technology scheme was developed for the circuit of apparatus for the enrichment of vermiculite ores and the production of various products based on it.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained scientific results on the development of technology for obtaining various products by enriching vermiculite ores:

The technology for removing iron compounds from vermiculite ore from the Tebinbulok deposit using a magnetic separator and enrichment in an air separator has been implemented at LLC SVERKHBELPROEKT & TRUMF-VERMICULIT (certificate by «Association of enterprises of the building materials industry of Uzbekistan» No. 05 / 15-3160 dated December 28, 2022). As a result, the amount of vermiculite in the vermiculite concentrate was increased to 85%;

The method of roasting in a tubular rotary kiln at a temperature of 900°C in order to obtain expanded vermiculite from vermiculite concentrate has been introduced in SVERXBELPROEKT LLC (certificate by «Association of enterprises of the building materials industry of Uzbekistan» No. 05 / 15-3160 dated December 28, 2022). As a result, the optimal parameters for the process of obtaining expanded vermiculite were established.

A method for the production of refractory and heat-shielding boards by adding kaolin, bentonite, cement and liquid glass as binders to expanded vermiculite has been introduced in SVERXBELPROEKT LLC and TRUMF-

VERMICULIT (certificate by «Association of enterprises of the building materials industry of Uzbekistan» No. 05 / 15-3160 dated December 28, 2022). As a result, refractory and heat-shielding plates were obtained.

**The structure and volume of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 116 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; part I)**

1. А.С.Хасанов, И.М.Ражаббоев, Б.Р.Вохидов, А.Р.Арипов, А.Н.Шодиев, А.А.Саидахмедов // Изучение вещественного состава и разработка технологии переработки проб руд месторождения Тебинбулак. // Горный вестник Узбекистана, - Навои, - №2 (77) - 2019, - С. 57-61 (04.00.00; №3).

2. А.Р.Арипов и др. Обогащение вермикулитовых руд караузьякского месторождения республики Каракалпакистан // Универсум: технические науки, – г.Москва, - 2021. –№. 3-13(84).– С. 78-81. (02.00.00; №1).

3. A.R.Aripov, A.A.Saidaxmedov, F.E.Axtamov. Vermikulit rudalarini boyitib turli mahsulotlar olish imkoniyatlari // O'zbekiston konchilik xabarnomasi, – Navoiy, –2021, - 4(87).-S 73-75. (04.00.00; №3).

4. A.Aripov, A.Saidakhmedov, B.Vokhidov. Development of a technology for enrichment of vermiculite ore of the Karauzyak deposit // Universum: технические науки: научный журнал, -Москва, -2021, - № 12 (93), Часть 7.М., Изд. «МЦНО», – С. 5-10. (02.00.00; №1).

5. А.Р.Арипов, Ф.Э.Ахтамов, А.А.Саидахмедов, Б.Р.Вохидов Разработка технологии обогащения вермикулитовых руд караузьякского месторождения // Горный журнал Казакстана. -2022, -№2.–С 33-39. (04.00.00; №35).

6. A.R.Aripov, D.B.Xolikulov, A.A.Saidaxmedov, B.R.Voxidov. Qorauxyak koni vermiculit rudasini boyitish texnologiyasini ishlab chiqish // O'zbekiston konchilik xabarnomasi,- Navoiy, –2022, -2(89), –В 76-80. (04.00.00; №3).

7. A.R.Aripov, F.E.Axtamov., B.R.Voxidov., R.G.G'oyibnazarov // O'zbekiston sharoitida vermiculit asosida turli mahsulotlar olish imkoniyatlari // Kompozitsion materiallar. -Toshkent, -2022, -№ 2(90), – С. 136-140. (02.00.00; №4).

8. A.R.Aripov, L.A.Saidaxmedova, R.G.G'oyibnazarov, SH.I.Utkirova, M.M.Murtozayeva, Q.G.Bektamishov // Efficiency of vermiculite ores enrichment in air filter // Universum: технические науки: научный журнал. -Москва,- 2022, -№ 11 (104) Часть 7. – С. 17-21. (02.00.00; №1).

**II bo'lim (II часть, part II)**

9. А.Р.Арипов, О.У.Фузайлов, О.Э.Тошов, Ф.Г.Пирназаров, Г.Ф.Мамараимов. Вермикулитовая руда караузьякского месторождения Республики Каракалпакистан // Journal of Advances in Engineering Technology -2021,-Vol.1(3), -С. 31-34.

10. А.Р.Арипов, Т.Т.Сирожов, М.М.Муртозоева, Ш.И.Уткирова. Application of foamed vermiculite in casting // Международный научно-образовательный электронный журнал «Образование и наука XXI веке» - Москва, – 2022, -№25(том 5), -С. 1596-1599.

11. A.Aripov, F.Akhtamov, Q.Bektamishov, A.Ikromov, F.Erkinov. Study of enrichment of vermiculite ores of the «Tebinbulak» deposit of the Republic of

Uzbekistan // Chemistry in Building Materials. Volume 2, Issue 1, No. 2 Published online February 6 2023.-С. 1-6.

12. А.Р.Арипов, Ф.Э.Ахтамов, О.Э.Тошев, А.Б.Азимова. Обогащение вермикулитовых руд // X Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» Филиал КузГТУ в г. Междуреченске 22 апреля 2021, -С. 106-110.

13. А.Р.Арипов, А.Э.Нуримов, Г.Ф.Мамараимов, Р.Г.Гойибназаров. Возможности переработки вспучного вермикулитового концентрата // Международная научная и научно-техническая конференция “Практические и инновационные научные исследования: актуальные проблемы, достижения и новшества (посвящены памяти профессора А.А.Юсупходжаева)” – Ташкент, 6 декабря, 2021 -С. 213-215.

14. А.Р.Арипов, Д.Б.Холикулов, Ф.Э.Ахтамов, Ш.Р.Ўринов, Н.Б.Хўжакулов, Ғ.Ғ.Мамараимов. Вермикулит рудасини ҳаво ёрдамида саралашнинг технологик параметрларини аниқлаш // Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги № DGU 13267. 25.11.2021.

15. A.R.Aripov, O.A.Azimov, F.E.Axtamov, N.B.Xo‘jaqulov, Sh.R.O‘rinov, B.M.Nemenyonok, Sh.I.O‘tkirova, M.M.Murtozaeva. Vermikulit boyitmalarini kuydirish uchun aylanma quvurli pechning ishlab chiqarish unumdorligini aniqlash // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 15775. 29.04.2022.

16. A.R.Aripov, M.M.Murtozayeva. Air enrichment of tebinbulak vermiculite ore // «O‘zbekistonda ilmiy tadqiqotlar” davriy anjumani №40 –Toshkent 1 may, 2022, –35 б.

17. Aripov A.R., Utkirova Sh.I. Tebinbuloq koni vermikulit rudasini boyitish // «O‘zbekistonda ilmiy tadqiqotlar” davriy anjumani №40 – Toshkent 1 may 2022, – В 13.

18. A.R.Aripov, M.M.Murtozayeva Vermekulit boyitmasini olishda havo saralagichini ahamiyati // «O‘zbekistonda ilmiy tadqiqotlar” davriy anjumani, №40 – Toshkent, 1 may, 2022, –29 б.

19. A.R.Aripov, Sh.I.Utkirova. Vermiculite ore grinding process // «O‘zbekistonda ilmiy tadqiqotlar» davriy anjumani №40 –Toshkent. 2022, –37 б.

20. A.R.Aripov, F.E.Axtamov, R.G‘.G‘oyibnazarov, D.B.Xoliqulov Vermikulit rudalarini havoli saralagichda boyitish usuli samaradorligi // «Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjumani». –Navoiy, 27-28 oktabr 2022, -I bo‘lim, –138-145 б.

21. A.R.Aripov, F.E.Axtamov, Sh.R.Urinov, B.R.Voxidov, G‘.F.Mamaraimov, Q.G‘.Bektamishov. Vermikulit rudalarini maydalash uchun bolg‘ali maydalagichlarning ish unumdorligini aniqlash // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 19790. 04.11.2022.

Avtoreferat «O‘zbekiston konchilik xabarnomasi» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bichimi 60x84<sub>1/16</sub>. Raqamli bosma usulida chop etildi. Times New Roman garniturasida. Shartli bosma tabog‘i: 3. Adadi 50. Buyurtma № 40. Guvohnoma № 021683 “SARMISH NASHR” MCHJ bosmaxonasida chop etildi. Bosmaxona manzili: Navoiy sh., G‘alaba shox ko‘chasi, 84a.





