

## **BOSHQARILADIGAN GORIZONTAL VIBROMAYDALAGICH QURILMASI VA UNING MATEMATIK MODELI**

**Axmedov Azamat Xaitovich**

Islom Karimov nomidagi

Toshkent davlat texnika universiteti professori,

texnika fanlari doktori

[azam0602@mail.ru](mailto:azam0602@mail.ru)

+998901232287

### **ANNOTATSIYA**

*Maqolada ruda va qotishmalarni boyitishga tayyorlash jarayonida ularni samarali maydalash uchun mo'ljallangan boshqariladigan gorizontaal vibromaydalagich qurilmasi va uning matematik modeli ishlab chiqilgan. Qurilmaning kinematik va dinamik xususiyatlari o'rganilib, dibilansli vibrator asosida ikki koordinatali vibratsion harakatni hosil qilish mexanizmi tahlil qilingan. Ishchi organ harakati uchun differensial tenglama tuzilib, uning umumiy yechimi, tezlik va tezlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari aniqlangan. Qurilmaning prujina tizimi, dibilans massasi va elektrodvigatel burchak tezligi yordamida vibratsiya amplitudasi va chastotasini boshqarish imkoniyati ilmiy asoslab berilgan.*

***Kalit so'zlar:** gorizontaal vibromaydalagich, vibratsion harakat, dibilans, matematik model, differensial tenglama, boshlang'ich shartlar, vibratsiya chastotasi, prujina tizimi.*

## **УПРАВЛЯЕМЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВИБРОМЕЛЬНИЦ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

### **АННОТАЦИЯ**

*В статье разработаны конструкции управляемое горизонтальное вибромельниц и его математическая модель, предназначенные для эффективного дробления руд и сплавов при их подготовке к обогащению. Изучены кинематические и динамические характеристики устройства, проанализирован механизм формирования двухкоординатного вибрационного движения на основе дебалансного вибратора. Для движения рабочего органа составлено дифференциальное уравнение, определены его общее решение, а также закономерности изменения скорости и ускорения во времени. Научно обоснована возможность управления амплитудой и частотой вибрации с*

помощью пружинной системы, массы дебаланса и угловой скорости электродвигателя.

**Ключевые слова:** горизонтальной вибромельницы, вибрационное движение, дебаланс, математическая модель, дифференциальное уравнение, начальные условия, частота вибрации, пружинная система.

## **CONTROLLED HORIZONTAL VIBRO-CRUSHING DEVICE AND ITS MATHEMATICAL MODEL**

**Akhmedov Azamat Khaitovich**

Professor of Tashkent State

Technical University named after

Islam Karimov, doctor of technical sciences

### **ABSTRACT**

*This article presents the development of a controlled horizontal vibro-crushing device and its mathematical model designed for efficient crushing of ores and alloys during their preparation for beneficiation. The kinematic and dynamic characteristics of the device are studied, and the mechanism of generating two-coordinate vibrational motion based on an unbalanced vibrator is analyzed. A differential equation describing the motion of the working body is formulated, and its general solution as well as the time-dependent laws of velocity and acceleration are derived. The feasibility of controlling vibration amplitude and frequency through the spring system, unbalance mass, and the motor's angular velocity is scientifically substantiated.*

**Key words:** horizontal vibro-crusher, vibrational motion, unbalance, mathematical model, differential equation, initial conditions, vibration frequency, spring system.

### **KIRISH**

Gorizontal vibromaydalagich qurilmasini ishlab chiqish va asoslash uchun tog' rudalari va turli tabiiy qotishmalar to'g'risidagi quyidagi ma'lumotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

Rudalar va turli tabiiy qotishmalarni boyitishga tayyorlash jarayonida ularni sifatli va boshqariladigan tarzda maydalash talab etiladi. Respublikamiz konlaridan olingan foydali qazilmalar laboratoriya sharoitida dastlab jag'li yoki konusli tegirmonlarda 10 mm dan 3 mm gacha maydalanadi, so'ngra boyitish texnologiyasiga qarab 74–44 mkm gacha maydalash jarayoni amalga oshiriladi. Ruda tarkibidagi foydali komponentlarni flotatsiya orqali ajratib olish uchun namunani 3 mm gacha kichraytirgandan so'ng fizik

xususiyatlariga qarab 10–20 daqiqa davomida minimum 44 mkm gacha maydalash talab etiladi. Jarayonning dastlabki 10 daqiqasida 70 % materialni 74 mkm gacha, 20 daqiqagacha esa 90–95 % aniqlikda maydalash zarur hisoblanadi [1].

Yangi konlarda chuqurlik ortishi bilan ruda tarkibidagi sulfidlar ko‘payib boradi. 10 mm gacha bo‘lgan maydalash – *drobleniye*, 3 mm dan 74 mkm gacha bo‘lgan maydalash esa *izmelcheniye* bosqichi sanaladi. 20 mkm dan kichik zarrachalarning ko‘payishi esa ortiqcha maydalash natijasida shlak (chiqindi) hosil bo‘lishiga olib keladi. Shu sababli ruda granulometrik tarkibi va qattiqligiga qarab maydalash rejimlarini 10–40 daqiqa oralig‘ida to‘g‘ri tanlash muhimdir [2].

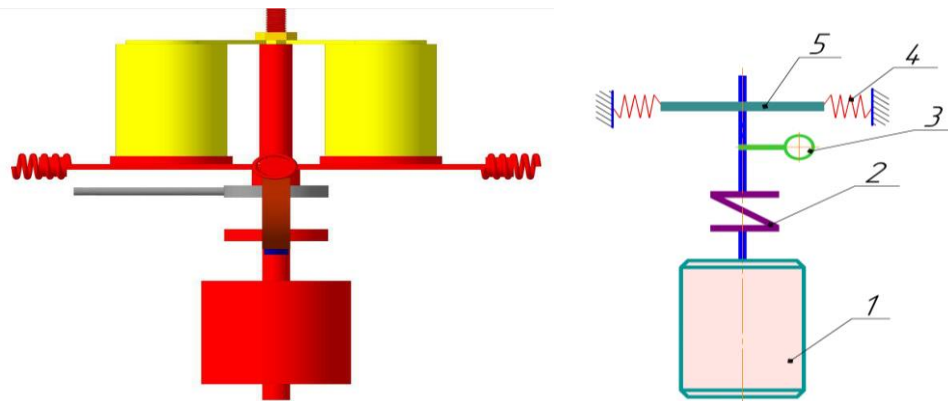
Amaldagi laboratoriya tegirmonlarida asosiy kamchilik — maydalash vaqtini doimiy nazorat qilishning qo‘lda bajarilishini talab etishi bo‘lib, bu mehnat sarfi va natijalarning barqarorligiga ta‘sir qiladi. Taklif etilayotgan boshqariladigan gorizontal vibromaydalagich qurilmasida ushbu muammo sezgir datchiklar va avtomatik taymer tizimi orqali bartaraf etiladi.

Yaratilayotgan qurilma foydali qazilmalar, ruda va qotishmalarni boyitishga tayyorlash jarayonlarini takomillashtirishga qaratilgan bo‘lib, unda dibalans massasi, val aylanish tezligi va konstruksiyaviy bog‘lanishlarni boshqarish orqali yuqori chastotali vibratsiya hosil qilinadi. Bu esa maydalash sifatini oshirish, ortiqcha maydalashni kamaytirish va umumiy iqtisodiy samaradorlikni yaxshilash imkonini beradi [3].

Mamlakatimizning boy mineral resurslarini qayta ishlashda zamonaviy, ixcham, energiya tejankor va barqaror ishlaydigan vibromaydalagichlarga ehtiyoj katta. Shu bois ilgari qo‘llanilgan vibromaydalagichlarning kamchiliklarini bartaraf etgan holda, elektrodvigateli vertikal joylashgan, konstruktiv jihatdan ratsional gorizontal vibromaydalagich qurilmasini yaratish bo‘yicha tajribaviy tadqiqotlar olib borildi.

1-rasmda tavsiya etilayotgan ratsional vibromaydalagich qurilmasi va uni hisoblash sxemasi keltirilgan.

$\omega$  burchak tezlik bilan 1-elektrodvigateldan aylanma harakat 2-mufta orqali 5-ishchi organga uzatiladi, 3-dibalans massasi orqali dvigatel o‘qi  $F = mr\omega^2$  ( $r$  - dibalans aylanish o‘qidan uning og‘irlik markazigacha bo‘lgan masofa) markazdan qochma kuch ta‘sirida ikki o‘q bo‘ylab gorizontal tebranma harakatga keladi, ramaga qistirib mahkamlangan 4-prujinalar ishchi organning vibratsion harakatini vujudga keltiradi.



1-rasm. Gorizontal vibromaydalagich qurilmasi va uning hisoblash sxemasi:  
1-elektrodvigatel; 2-mufta; 3-dibalans; 4-prujina; 5-ishchi organ.

Yurtimizda qo‘llanilayotgan ruda va qotishmalarni maydalashga mo‘ljallangan vibromaydalagichlarda elektrodvigatel odatda gorizontal joylashtiriladi. Bunday tuzilma vibratsion harakatni dibalansdan ishchi organga uzatishda qo‘shimcha mexanik elementlardan foydalanishni, ya‘ni tebranish yo‘nalishini  $90^\circ$  ga burishni talab qiladi. Bu esa qurilmaning konstruktiv murakkabligi va energiya sarfini oshiradi hamda maydalash sifatini pasaytiradi. Ishchi organi vertikal joylashtirilgan qurilmalar esa yanada murakkab bo‘lib, ishlash jarayonida qo‘shimcha kuch sarfini talab qiladi, biroq ularning foydali ish koeffitsiyenti yuqoriroq bo‘ladi.

Taklif etilayotgan (1-rasm) ratsional gorizontal vibromaydalagich qurilmasi ushbu ikki turdagi qurilmalar kamchiliklarini bartaraf etishga qaratilgan. Yangi qurilma elektrodvigatelning vertikal, ishchi organing esa gorizontal joylashuvi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, ishchi organga ulanadigan prujinalarning gorizontal holatda o‘rnatilishi tekislikdagi ikki koordinatali vibratsion harakatni hosil qilishni soddalashtiradi.

Gorizontal vibromaydalagichning asosiy texnik ko‘rsatkichlari quyidagilar: maydalash kamerasining umumiy hajmi —  $0,04 \text{ m}^3$ , tebranish chastotasi —  $25 \text{ s}^{-1}$ , elektrodvigatel quvvati —  $0,5 \text{ kVt}$ , unumdorligi —  $0,1 \text{ t/soat}$ , umumiy og‘irligi (dvigatel va ishchi organ bilan birga) —  $42 \text{ kg}$ . Qurilmaning o‘lchamlari: uzunligi —  $0,4 \text{ m}$ , kengligi —  $0,4 \text{ m}$ , balandligi —  $0,6 \text{ m}$ .

Mazkur ratsional gorizontal vibromaydalagichning tebranma harakati yuqori aniqlikda tadqiq etilishi mumkin, bu esa qurilma samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Debalans aylanishi markazdan qochma  $F_a = m_0 r \omega^2$  kuchni vujudga keltiradi. Bu kuchning tashkil etuvchilari:  $F_x = F_a \cos \omega t$ ,  $F_y = F_a \sin \omega t$  [4].

Ishchi organing harakat differensial tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + c_x x &= F_a \cos \omega t; \\ m\ddot{y} + c_y y &= F_a \sin \omega t; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Bir qancha hisoblashlardan so'ng, bu tenglamaning ushbu umumiy yechimi aniqlandi:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= C_1 \cos \sqrt{\frac{c_x}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{\frac{c_x}{m}} t + \frac{m_0 r \omega^2}{m(\omega_x^2 - \omega^2)} \cos \omega t \\ y(t) &= C_3 \cos \sqrt{\frac{c_y}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{c_y}{m}} t + \frac{m_0 r \omega^2}{m(\omega_y^2 - \omega^2)} \sin \omega t \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

bunda  $\omega_x = \sqrt{\frac{c_x}{m}}$ ,  $\omega_y = \sqrt{\frac{c_y}{m}}$  ishchi organning xususiy tebranish chastotalari bo'lib, boshlang'ich shartlardan aniqlanadi.

$C_1, C_2, C_3$  va  $C_4$  integrallash doimiylarini  $t = 0: x(t) = y(t) = 0, \dot{x}_0 = \dot{y}_0 = 0$ , boshlang'ich shartlarga ko'ra aniqlaymiz.

$$\left. \begin{aligned} t = 0: x(t) = 0 &\Rightarrow C_1 = -\frac{m_0 r \omega^2}{m(\omega_x^2 - \omega^2)}; \\ t = 0: y(t) = 0 &\Rightarrow C_3 = 0; \\ t = 0: \dot{x}(t) = 0 &\Rightarrow C_2 = 0; \\ t = 0: \dot{y}(t) = 0 &\Rightarrow C_4 = -\frac{m_0 r \omega^3}{m \omega_y (\omega_y^2 - \omega^2)}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Demak, (1) sistemaning umumiy yechimi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= \frac{m_0 r \omega^2}{m(\omega_x^2 - \omega^2)} (\cos \omega t - \cos \omega_x t) \\ y(t) &= \frac{m_0 r \omega^2}{m(\omega_y^2 - \omega^2)} \left( \sin \omega t - \frac{\omega}{\omega_y} \sin \omega_y t \right) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Ishchi organning tezligi va tezlanishi o'zgarish qonuniyati mos ravishda quyidagi ifodalar yordamida aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}(t) &= \frac{-m_0 r \omega^2}{m(\omega_x^2 - \omega^2)} (\omega \sin \omega t - \omega_x \sin \omega_x t) \\ \dot{y}(t) &= \frac{m_0 r \omega^3}{m(\omega_y^2 - \omega^2)} (\cos \omega t - \cos \omega_y t) \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

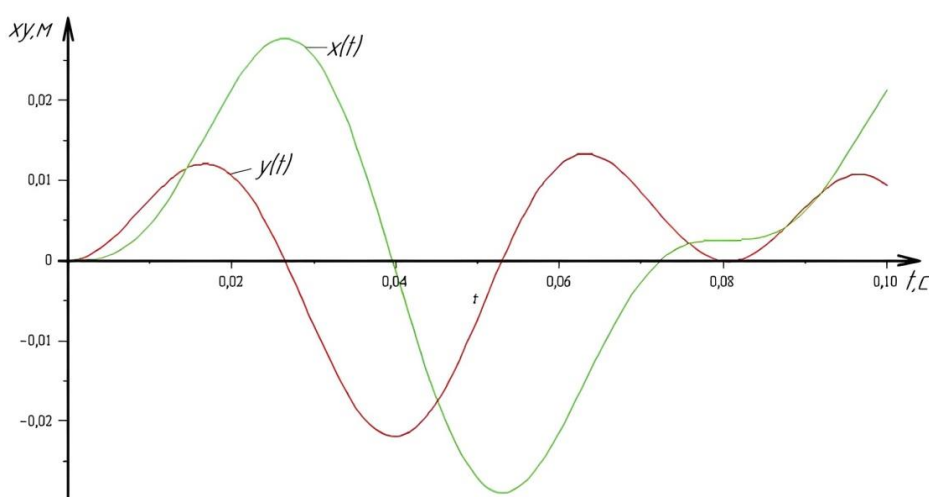
$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}(t) &= \frac{-m_0 r \omega^2}{m(\omega_x^2 - \omega^2)} (\omega^2 \cos \omega t - \omega_x^2 \cos \omega_x t) \\ \ddot{y}(t) &= \frac{-m_0 r \omega^3}{m(\omega_y^2 - \omega^2)} (\omega \sin \omega t - \omega_y \sin \omega_y t) \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Taklif etilayotgan ratsional qurilmaning asosiy ustunligi shundaki, tebranishlarni hosil qiluvchi prujinalarning ishchi organga to'rt tomondan simmetrik tarzda mahkamlanishi hamda ularni diskret almashtirish imkoniyati mavjud. Shu sababli zarur bo'lgan amplituda va chastotadagi tebranishlarni barqaror hosil qilish mumkin. Bunday konstruktiv yechim natijasida gorizontol vibromaydalagichning ishchi organi  $x$  va  $y$  gorizontol o'qlari bo'ylab barqaror elliptik tebranma harakatni amalga oshiradi.

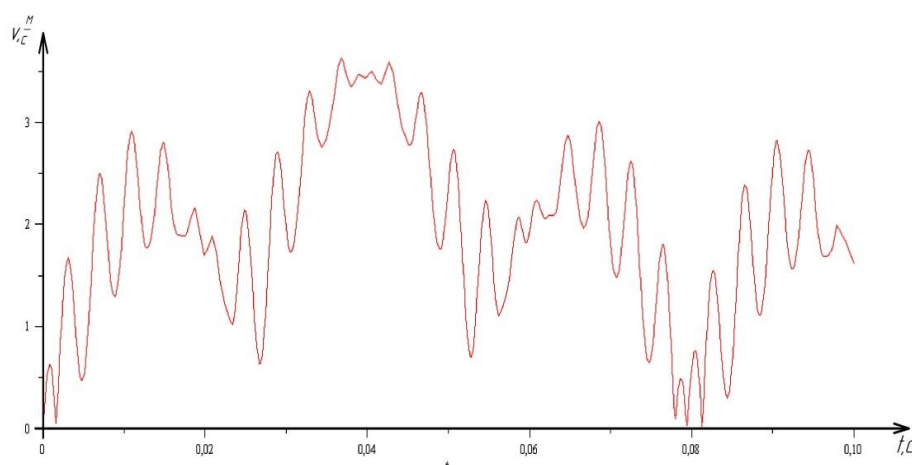
(4) ifodadan ko'rish mumkinki, ishchi organing barcha nuqtalari bir xil elliptik trayektoriya hosil qiladi.  $\frac{\omega_x^2 - \omega^2}{\omega_y^2 - \omega^2} < 0$  shartda ishchi organ barcha nuqtalari debalans

aylanishiga teskari,  $\frac{\omega_x^2 - \omega^2}{\omega_y^2 - \omega^2} > 0$  da esa debalans aylanishi yo'nalishida harakatlandi.

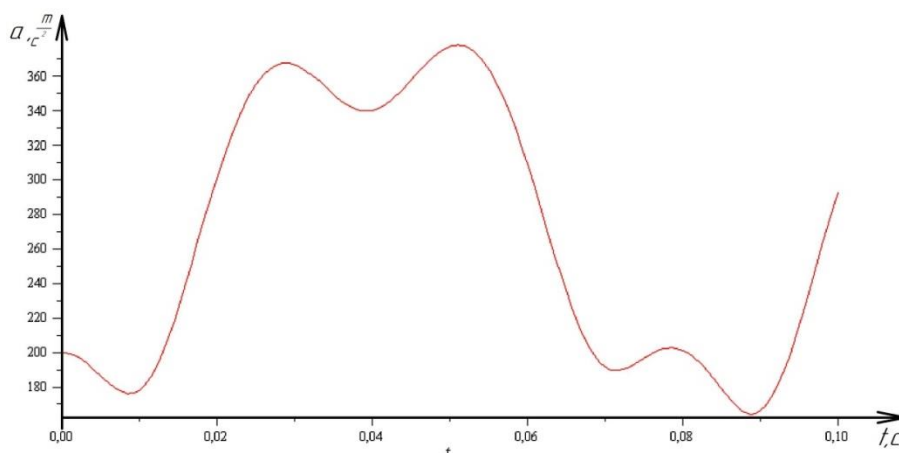
$\omega_x = \omega_y$  da esa ishchi organ nuqtalari trayektoriyasi konsentrik aylanalardan iborat bo'ladi [5, 6].



2-rasm.  $t \in [0; 0,1s]$  da  $x$  va  $y$  o'qlari bo'yicha ishchi organ harakati



3-rasm.  $t \in [0; 0,1s]$  da ishchi organ absolyut tezligining o'zgarish grafigi



4-rasm.  $t \in [0; 0,1 \text{ s}]$  da ishchi organ absolyut tezlanishining o'zgarishi grafigi

Tavsiya etilayotgan va ishlab chiqilgan qurilmamiz uchun turli vaqt oraliqlari uchun gorizontaal vibromaydalagich ishchi organi harakatining o'zgarish qonuniyatlarini keltiramiz: Ekvivalent prujina bikrligi  $c_{xo} = c_{yo} = 16 \cdot 10^4 \text{ N/m}$ , elektrodvigatelning debalansli valga beradigan burchak tezligi  $\omega = 157 \text{ rad/s}$ , ishchi organ massasi  $m = 25 \text{ kg}$ , markazdan qochma kuch  $F_a = 5000 \text{ N}$ .

2–4-rasmlarda keltirilgan grafiklarni ixtiyoriy vaqt oralig'i uchun, shuningdek taklif etilgan ratsional qurilmaning geometrik va kinematik parametrlarining turli qiymatlarida ham hosil qilish mumkin. 2–3-rasm grafiklaridan ko'rinadiki, vibrostol juda qisqa vaqt ichida yuqori chastotali tebranish rejimiga o'tadi. Bu esa qurilmaning geometrik va kinematik parametrlarini boshqarish orqali optimal tebranish rejimini shakllantirish imkonini beradi. 4-rasm tahlili shuni ko'rsatadiki, tebranuvchi stolning ikki koordinatali tebranishi tezlik va tezlanish modullarining o'zgarishiga mutanosib ravishda ortib boradi.

Qurilmaning kinematik va geometrik parametrlarini to'g'ri tanlash yoki ularni boshqarish orqali vibrostolning zaruriy tebranish chastotasi va amplitudasiga erishish mumkin. Bu esa ishchi organ ichida rudalarni maydalashning optimal texnologik rejimini ta'minlaydi. Bundan tashqari, debalans massasini diskret o'zgartirish yoki valning burchak tezligini boshqarish orqali ham talab etilgan tebranish chastotasi va amplitudasi hosil qilinadi.

Taklif etilayotgan ratsional gorizontaal vibromaydalagich qurilmasining eng muhim afzalliklaridan biri — uning geometrik va kinematik parametrlarini boshqarish orqali texnologik jarayon talablari asosida kerakli tebranish rejimlarini aniqlik bilan sozlash imkoniyati mavjudligidir. Shu bilan birga, qurilmada asinxron elektrodvigatelining aylanish tezligini boshqarish imkoniyati yaratiladi, bu esa qurilmaning funksional samaradorligini yanada oshiradi.

Yuqorida bayon etilgan ilmiy-nazariy asoslar va amaliy tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan ushbu parametrlarini boshqarish imkoniyatiga ega bo'lgan yangi avlod gorizontall vibromaydalagich qurilmasi "Mineral resurslar instituti"da sinovdan muvaffaqiyatli o'tkazildi. Tajriba-sinov natijalari qurilmaning yuqori samaradorligini tasdiqladi hamda uni ishlab chiqarishga joriy etish orqali sezilarli iqtisodiy samara qo'lga kiritildi.

### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. Терещенко С.В. *Основы обогащения полезных ископаемых*. Учебное пособие для вузов. - Издательство ЛАНЬ, 2025. - 329 с.
2. Сиденко П.М. *Измельчение в химической промышленности*. – М.: Химия, 1977. - 368 с.
3. Ахмедов А.Х. *Тог-кон саноати технологик машиналарида вибрация орқали бошқарилувчи механизмларни қўллаш* // Кон-металлургия мажмуаси: ютуқлар, муаммолар ва ривожлантиришнинг замонавий истиқболлари IX халқаро илмий-техникавий анжуман материаллари. - Навои, 2017. – Б. 222.
4. Абдулова С.Р. *Вибрационные мельницы: Аспекты классификации* / Вестник ИрГТУ. - Иркутск, 2015. - №3. - С. 30 – 34.
5. Белов Н.В., Сидоров А.В. *Горизонтальные вибромельницы: конструкция и расчет параметров*. – Москва: Недра, 2014. – 198 с.
6. Тоиров М.Ш., Каримов К.А., Мардонов Б.Т., Ахмедов А.Х. *Инерт материалларни саралаб олишда ресурстежамкор тебранувчи элаксинг назарий асослари, конструкцияси ва амалий татбиқи* / Монография. – Навои, 2022. - 172 б.