

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті

ӘОЖ 621.926 (043.3)

Қолжазба құқығында

СУЛЕЙМЕНОВ АНСАГАН ДЮСЕМБАЕВИЧ

**Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның
параметрлерін негіздеу**

6D071200 – Машина жасау

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:

Т.ғ.к., профессор

Гурьянов Г.А.

PhD, Халықаралық инженерия

мектебінің деканының орынбасары

Байгереев С.Р.

Шетелдік ғылыми жетекші:

Prof. Dr. hab. inz.

Marek Mlynchak,

Wroclaw University of Science and
Technology, Poland

Қазақстан Республикасы

Өскемен, 2024

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	5
КІРІСПЕ	9
1 МАТЕРИАЛДЫ МАЙДАЛАП ҰНТАҚТАУ (ҰСАҚТАУ) МӘСЕЛЕЛЕРІН ТАЛДАУ	13
1.1 Майдалап ұнтақтау бойынша диірмендерді (ұнтақтағыштарды) жіктеу	13
1.2 Қолданыстағы майдалап ұнтақтау диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкцияларына шолу жасау және оларды талдау	16
1.3 Шарлы және дірілді диірмендердің патенттік анализі	22
1.4 Ұнтақтау денелері бар диірмендердің (ұнтақтағыштардың) ұнтақ майдалығына әсер ететін факторларына талдау жүргізу	29
1.5 Майдалап ұнтақтау диірменінің (ұнтақтағышының) жаңа конструкциясы	33
1.6 Бірінші тарау бойынша қорытынды	36
2 ЖАҢА ДИІРМЕННІҢ (ҰНТАҚТАҒЫШТЫҢ) ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ	38
2.1 Ұнтақтау (ұсақтау) теорияларына шолу	38
2.2 Жаңа диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау (ұсақтау) процесінің қолданбалы механикалық-математикалық моделін жасау	40
2.2.1 Ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығын анықтау	40
2.2.2 Ұнтақтау майдалығын теориялық анықтау	42
2.3 Теориялық қуаттың жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс жасау параметрлерінен тәуелділігін орнату	53
2.4 Диірменнің (ұнтақтағыштың) геометриялық параметрлерін негіздеу	54
2.5 Жасалған механикалық-математикалық модельді апробациялау	57
2.5.1 Теориялық ұнтақ майдалығының мәнін анықтау	57
2.5.2 Диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатын анықтау	61
2.6 Екінші тарау бойынша қорытынды	65
3 ЖАҢА ДИІРМЕННІҢ (ҰНТАҚТАҒЫШТЫҢ) КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ	67
3.1 Эксперименттің жалпы сипаттамасы	67
3.2 Ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулер	70
3.3 Ұнтақ майдалығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер	75
3.3.1 Эксперименттік қондырғының сипаттамасы	75
3.3.2 Экспериментті жоспарлау	77
3.3.3 Экспериментті жүргізу тәртібі	78
3.3.4 Эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін өңдеу	88
3.4 Үшінші тарау бойынша қорытынды	93
4 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІНІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНЫСЫ	96
4.1 Майдалап ұнтақтау қолданылатын өндіріс салалары	96
4.2 Ұнтақтаудың (ұсақтаудың) жаңа тәсілін өндіріске енгізу	97

4.3 Экономикалық тиімділігін бағалау	98
4.4 Ұсынылған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілін жүзеге асыруға болатын перспективалық әдістері	101
4.5 Төртінші тарау бойынша қорытынды	102
ҚОРЫТЫНДЫ	103
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	105
ҚОСЫМША А - Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының хаттамасынан үзінді	112
ҚОСЫМША Б – Вроцлав политехникалық университетінің (Вроцлав, Польша) ғылыми семинары отырысының хаттамасы	126
ҚОСЫМША В – Диссертация тақырыбы бойынша 2018-2019 оқу жылында өткізілген докторанттардың ғылыми-зерттеу жұмыстарының Республикалық байқауының жеңімпазы екенін растайтын құжат	131
ҚОСЫМША Г – Диссертациялық зерттеу нәтижелерін өндіріске енгізу актілері	132
ҚОСЫМША Д – Диссертациялық зерттеу нәтижелерін оқу процесіне енгізу актісі	136
ҚОСЫМША Е – Диссертация тақырыбы бойынша зерттеу нәтижелерін патенттік қорғау	139
ҚОСЫМША Ж – Ұнтақтау камерасының құрастыру сызбасы	146
ҚОСЫМША И – Ұнтақтау камерасын жасау бойынша маршруттық карта	148

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертацияда келесі стандарттарға сілтемелер қолданылған:

МЕСТ 166-89 - «Штангенциркульдер. Техникалық шарттар».

МЕСТ 5264-80 – Қол доғалық пісіру. Пісіру қосылыстары. Негізгі типтері, құрылымдық элементтері және өлшемдері»

МЕСТ 30893.1-2002 - «Өзара алмастырудың негізгі нормалары. Жалпы шектер. Белгіленбеген шектері бар сызықтық және бұрыштық өлшемдердің максималды ауытқулары.

МЕСТ 30893.2-2002 - «Өзара алмастырудың негізгі нормалары. Жалпы шектер. Жеке белгіленбеген беттердің пішіні мен орналасуының шектері».

АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі терминдерге сәйкес анықтамалар және белгілеулер қолданылған:

Ұнтақтау - механикалық әдіспен материалды (құм, кен және т.б.) ұсақтау;
Диірмен (ұнтақтағыш) - сусымалы және сықпа тәрізді материал бөлшектерінің өлшемін кішірейту, яғни ұсақтау үшін арналған механизм.

Ұсақтау дәрежесі - материал бөлшектерінің ұсақтауға дейінгі өлшемінің ұсақтаудан кейінгі бөлшектердің өлшеміне қатынасы.

D_k - ұнтақтау камерасының диаметрі, мм;

H - камера секциясының биіктігі, мм;

d_σ - бөлшек диаметрі, мкм;

$d_\sigma^{\min}$ - ұнтақталған (ұсақталған) материал бөлшегінің диаметрі, мкм;

d_{III} - ұнтақтау шарларының диаметрі, мм;

φ_{III} - ұнтақтау камерасын ұнтақтау шарларымен толтыру дәрежесі;

φ_m - ұнтақтау камерасын ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен толтыру дәрежесі;

n_k - ұнтақтау камерасының айналу жиілігі, айн/мин;

A - ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы, мм;

α - көлденең оське камера секциясының көлбеу бұрышы;

n_o - дебалансты біліктің айналу жиілігі, айн/мин;

P - диірменнің қуаты, Вт;

A_w - материалды ұнтақтауға (ұсақтауға) жұмсалатын жұмыс, Дж;

$K_P, K_K, K_{P\sigma 1}, K_{P\sigma 2}, K_\sigma, K_p$ - пропорционалдылық коэффициенттері;

ΔS - беттің өсімі, мм²;

σ - кернеу, МПа;

$V_{\text{деф}}$ - деформацияланатын дене көлемі, м³;

E - серпімділік модулі, МПа;

ΔV - көлемнің өсімі, м³;

D_{opt}, d_{opt} - ұнтақтауға (ұсақтауға) дейін және ұнтақтаудан (ұсақтаудан) кейінгі материал бөлшегінің орташа өлшемі, мм;

Q - материал саны;

i - ұнтақтау (ұсақтау) дәрежесі;

n - дәреженің көрсеткіші;

v_x - бойлық орын ауыстыру кезінде ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы, м/с;

$v_{y1}^{(x)}$ - ауырлық күші әсерінен көлбеу сызық бойымен қозғалатын ұнтақтау шарларының жылдамдығы, м/с;

$v_{y2}^{(x)}$ - тік бағытта әсер ететін камераның дірілді қозғалысының жылдамдығы, м/с;

v_{y1} - ұнтақтау шарларының қозғалу жылдамдығы, м/с;
 g - ауырлық күшінің үдеуі, м/с²;
 $t_{ш}$ - ұнтақтау шарларының қозғалу уақыты, с;
 t_{ϕ} - ұнтақтау камерасының айналу (бұрылу) уақыты, с;
 δ - бұрыштық айналым жиілігі, рад/с;
 ω - тербеліс жиілігі, Гц,
 t_k - тербеліс уақыты, с;
 R_{ϕ} - материал бөлшегінің радиусы, мм;
 m - ұнтақтау шарының массасы, кг;
 m_0 - сыртқы теңгеруші массалар, кг;
 v_0 - уақыттың бастапқы сәтіндегі жылдамдығы, м/с;
 v_1, v_2 - ұнтақтау шарларының жылдамдығы, м/с;
 R, R_1, R_2 - шарлардың радиустары, мм;
 u - өзара байланысқа түсетін денелердің жергілікті (контактілі) деформацияларының нәтижесіндегі жақындасуы;
 μ, μ_1, μ_2 - Пуассон коэффициенттері;
 E, E_1, E_2 - өзара байланысқа түсетін материалдардың серпімділік модулі, МПа;
 $\sigma_{\text{сc}}$ - сығымдау кезінде уақытша кедергісі, МПа;
 $\sigma_{\text{ср}}$ - созылу кезінде уақытша кедергісі, МПа;
 t_y - ұнтақтау шары мен материал бөлшегінің жақындасу кезеңіндегі контактілі орын ауыстыруының уақыты, с;
 t_M - ұнтақтау шары мен материал бөлшегінің жақындасу кезеңіндегі контактілі орын ауыстыруының максималды уақыты, с;
 t - ұнтақтау (ұсақтау) процесінің уақыты, мин;
 F_y - соққының реактивті бойлық күші, Н;
 F_M - соққының максималды реактивті бойлық күші, Н;
 σ_1 - ең үлкен негізгі созу кернеуі, МПа;
 q_y - ұнтақтау шарымен әрекеттесу кезінде материал бөлшегінде пайда болатын контактілі қысым, МПа;
 q_0 - максималды реактивті қысым, МПа;
 r - контактілі қысымның шеңберлі алаңшасының радиусы, мм;
 G - ұнтақтау шарының салмағы, Н;
 G_{ϕ} - материал бөлшегінің салмағы, Н;
 v_K - шар тәріздес ұнтақтау денелері мен бөлшектің сфералық бетінің нүктелік түйісу кезіндегі $t = 0$ уақыт моментіндегі жылдамдығы, м/с;
 K - ыдырату (бұзу) энергиясының кинетикалық құраушысы, Дж;
 U - ыдырату (бұзу) энергиясының потенциалдық құраушысы, Дж;
 γ_c - ұнтақтау шарының тығыздығы, кг/мм³;

F_H - ұнтақтау (ұсақтау) күші, Н;
 V - бір ұнтақтау шарының көлемі, мм³;
 β - бөлшек материалының серпімді тұрақтысы; мм²/Н
 K_1 - физико-механикалық функционалды коэффициент;
 K_2 - модельдің геометриялық сипаттамасының коэффициенті;
 σ_s - эквивалентті статикалық кернеу, МПа;
 P_x - қуат шығыны, кВт;
 P_{III} - ұнтақтау шарларының циркуляциясына қажет қуат, кВт;
 P_H - материал бөлшектерінің ұнтақталу (ұсақталу) процесіне қажет қуат, кВт;
 R_x - ұнтақтау камерасының радиусы, мм;
 N_{III} - ұнтақтау шарларының саны;
 X_u - u факторының кодталған шамасы;
 x_u - u факторының натуралды ағымдағы мәні;
 x_{u0} - фактордың бастапқы нөлдік деңгейі;
 Δx_u - u факторының өзгеріс интервалы;
 x_1 - экспериментті жоспарлау матрицасында ұнтақтау камерасының айналым жиілігінің белгіленуі;
 x_2 - экспериментті жоспарлау матрицасында дебалансты біліктің айналым жиілігінің белгіленуі;
 x_3 - экспериментті жоспарлау матрицасында ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының белгіленуі;
 S_i - математикалық күтім;
 $\bar{y}$ - оңтайландыру параметрінің орташа арифметикалық мәні;
 k - факторлар саны;
 p - өзгерту деңгейлерінің саны;
 N_{on} - тәжірибе саны;
 n - қайталама тәжірибелер саны;
 $t_{есеп}$ - Стьюдент критерийінің есептік мәні;
 $t_{кесте}$ - Стьюдент критерийінің кестелік мәні;
 $S_{\{y\}}$ - жаңғыртылу дисперсиясы;
 $F_{есеп}$ - Фишер критерийінің есептік мәні;
 $F_{кесте}$ - Фишера критерийінің кестелік мәні;
 $G_{есеп}$ - Кохрен критерийінің есептік мәні;
 $G_{кесте}$ - Кохрен критерийінің кестелік мәні;
 f - еркіндік дәрежесі саны;
 b_i - сызықтық коэффициенттер;
 b_{ij}, b_{ijk} - өзара әрекеттесу коэффициенттері;

Δb_i - сенімгерлік интервалдың шектері;
 $S_{\text{шын}}$ - шындыққа жанасымдылық дисперсиясы;
 $W_{\Sigma 1}$ - диірмен (ұнтақтағыш) тиімділігін бір рет тесттік зерттеуге жұмсалатын энергия шығыны, кВт·сағ.;
 $W_{\Sigma \text{Д}}$ - ұнтақтау (ұсақтау) процесіне жұмсалатын бір күндік электр энергиясының шығыны, кВт·сағ.;
 $N_{\text{зж}}$ - бір күнде ұнтақтау (ұсақтау) жұмыстарының саны;
 $N_{\text{жк}}$ - жұмыс күндерінің саны;
 $T_{\text{э}}$ - электр энергиясының тарифы, 1 кВт·сағ үшін теңге;
 $\Phi_{\text{эж}}$ - электр энергиясына жұмсалатын жылдық қаржылық шығын, теңге.

КІРІСПЕ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Әр түрлі сусымалы материалдарды ұнтақтау (ұсақтау) процесі құрылыс, кен-байыту, химия, тамақ және басқа да өнеркәсіп салаларында кеңінен таралған.

Сусымалы материалдарды аса майда ұнтақтау байыту технологиялары нарығында кенді айырып алу тиімділігін арттыруды қамтамасыз ету бойынша маңызды әдіс ретінде танымал. Бояғыштар, пигменттер, пластмассалар және резина секілді химиялық өнімдерді өндіруде сусымалы материалдарды майдалап ұнтақтау бөлшектердің қажет текстурасы мен өлшемін алу үшін қолданылады. Құрылыс саласында сапалық және бағалық сипаттамалар жағынан жақсартылған бетонды және басқа да қоспаларды алуға мүмкіндік береді. Металлургия саласында қорытпаларды алу үшін қажет металды түйіршіктерді өндіру үшін майдалап ұнтақтау маңызды кезең болып табылады. Энергетика саласында отын материалдарын өндіру процестері кезінде, оған қоса қатты отындарды өңдеу мен дайындауда қолданылады.

Сонымен қатар, алынатын өнімнің сапасы, өнімділікті арттыру, энергия шығынын азайту және ұнтақтау (ұсақтау) технологиясын арзандату мәселесі сұрақтары бірінші орынға қойылады. Қазақстан Республикасының өңдеу өнеркәсібін дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасының мақсаттарына және Қазақстан Республикасының 2020-2025 жылдарға арналған индустриялық-инновациялық даму тұжырымдамасын қамтамасыз ету аясында қазіргі уақытта аса майдалап ұнтақтауды қолдана отырып әр түрлі сусымалы материалдарды өндіру мен өңдеу салаларындағы жоғарыда айтылып өткен сұрақтарды шешу үшін барлық жағдай жасалған.

Зерттеліп отырған тақырып бойынша әлемде жүргізіліп өткен ғылыми зертеу жұмыстарының ішінен келесі ғалымдардың жұмыстарын атап өтуге болады: Акунов В.И., Богданов В.С., Башкирцев А.А., Бонд Ф.С., Блейкмор Дж., Баловнев В.И., Веригин Ю.А., Голосов С.И., Гордиевский Л.А., Гарднер Р.П., Годэн А.М., Дэвис Э., Ермилов П.И., Ельцов М.Ю., Жуков В.П., Карпачев Д.В., Моргулис М.Л., Мошковский Е.И., Морозов Е.М., Осокин В.П., Олевский В.А., Партон В.З., Пироцкий В.З., Потураев В.Н., Румпф Г., Рунквист А.К., Роуз Г.Е., Ребиндер П.А., Сиденко П.М., Севастьянов В.С., Сергеев К.Ф., Сапожников М.Я., Уваров В.А., Хирт Дж., Ходаков Г.С., Шуляк В.А., Шувалов С.И., Шрейнер Л.А., Юдин К.А., Яшин В.В., Язеа В.А., Steidl D., Boulton A.J., Cahn J.W., Richter D., Dianoux A.J., Petry W., Griffiths A.A., Snow R.H., Cottrel A.H., Raasch J.

Көп жылғы ұнтақтау (ұсақтау) процесінің мәселелері бойынша жүргізілген зерттеулерге қарамастан, бұл мәселелер алынатын материалдардың сапасына заманауи талаптарды қамтамасыз ету және технологиялық жабдықтардың жұмысының энергиялық жағынан тиімділігі жағынан толыққанды шешілді деп айтуға болмайды. Елімізде дамыған кен-байыту және құрылыс салалары бола тұра, материалдарды ұнтақтау (ұсақтау) бойынша зерттеулерге жеткіліксіз көңіл бөлінуде.

Қазіргі уақытта қайта өңделетін материалдардың көлемінің және олардың алуан түрлігінің жылдам өсуі, жабдықтарға қойылатын талаптардың өзгеруі бұрын жинақталған пайдалану тәжірибесінің тұтынушылардың сұранысын қанағаттандырмауына әкелді. Қолданыстағы теориялық модельдер ұнтақтау (ұсақтау) жабдығын пайдалану және жобалау кезінде туындайтын кейбір сұрақтарға жауап бере алмайды.

Ұнтақтау (ұсақтау) жабдығының жұмыс процестерін теориялық тұрғыдан қарастыру күрделі болуы процестің моделі мен ұнтақтау (ұсақтау) режимдерін басқару әдіснамасын жасау (яғни, технологиялық жолдар жұмысының ең тиімді технологиялық режимдерін жасауға мүмкіндік беретін) қазіргі уақытта өзекті. Әрбір нақты материалды ұнтақтаудың (ұсақтаудың) өзіндік ерекшелігі бар. Ұнтақтау (ұсақтау) процесінің тиімділігі материалға динамикалық параметрлердің әсері арқылы анықталады. Бұл ретте ұнтақтау (ұсақтау) процесінің режимдерін басқару өзекті болып келеді.

Жоғарыда баяндалғанға сәйкес, энергияның рационалды шығыны кезінде ұнтақ майдалығын жоғарылататын ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілін жасау және осы тәсілді жүзеге асыру үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясын әзірлеу, оған қоса ұнтақтау (ұсақтау) режимдерін негіздеуге қажет математикалық модель өзекті мәселе болып табылады.

Демек, диссертацияның тақырыбы өзекті болып табылатыны туралы қорытынды жасауға болады.

Жұмыстың мақсаты диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясын жасау арқылы материалдарды майдалап ұнтақтау (ұсақтау) процесінің тиімділігін арттыру

Зерттеу міндеттері:

- материалдарды майдалап ұнтақтау саласындағы бар мәселелерге талдау жасау;
- қызмет ету көрсеткіштері жетілдірілген диірменді (ұнтақтағышты) әзірлеу;
- ұнтақтау (ұсақтау) процесінің математикалық моделін әзірлеп, оның негізінде жаңа ұнтақтағыштың параметрлерін негіздеу;
- көрсеткіштері жетілдірілген тәжірибелік үлгідегі жаңа конструкцияны эксперименттік түрде зерттеу;
- эксперименттік зерттеулерге талдау жасау, әзірленген механика-математикалық модельдің шындыққа жанасымдылығын тексеру және қажет жағдайда сәйкес түзету коэффициенттерін енгізу;
- зерттеу нәтижелеріне техника-экономикалық негіздеу жасау.

Зерттеу нысаны. Сусымалы материалдарды майдалайтын диірмен (ұнтақтағыш).

Зерттеу пәні. Диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыстық органдарының ыдырату (бұзу) күші әсерінен материалдың ыдырау (бұзылу) процесі.

Ғылыми жаңалықтар төмендегідей:

-дірілді-айналмалы диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясы қамтамасыз ететін екі жақты соққылауды қоса алғандағы материал бөлшегіне бірегей әсер етуі ұнтақтың майдалығын арттыруға және ұнтақтау процесінің энергия шығынын төмендетуге мүмкіндік беретіні анықталды;

- алғаш рет ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға екі жақты әсер ететін дірілді-айналмалы ұнтақтағыш конструкциясының қызмет ету параметрлерінен ұнтақ майдалығының теориялық тәуелділігі орнатылды;

- диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясының геометриялық және кинематикалық параметрлерінен қуат шығынының теориялық тәуелділігі анықталды;

- диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясының геометриялық және кинематикалық параметрлерінен ұнтақ майдалығының тәуелділігі эксперимент арқылы орнатылды.

Зерттеудің тәжірибелік құндылығы негізделген:

- дірілді-айналмалы диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмысқа қабілетті жоғары тиімді конструкциясына;

- тиімді нәтижені алу үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) параметрлерін анықтауға және таңдау жасауға мүмкіндік беретін теориялық есептік модельге;

- ұнтақ майдалығын болжамдауға мүмкіндік беретін материалдарды майдалап ұнтақтау процесінің регрессионды моделіне;

- өндіріске зерттеу нәтижелерін ендіруге.

Қорғауға келесі ғылыми тұжырымдамалар ұсынылады:

- ұнтақ майдалығын арттыруға мүмкіндік беретін дірілді-айналмалы диірменнің (ұнтақтағыштың) оригиналды конструкциясы;

- диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясының рационалды параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін материал бөлшегінің ыдырау (бұзылу) процесінің математикалық моделі;

- ұсынылып отырған дірілді-айналмалы диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясының тиімділігін дәлелдейтін эксперименттік зерттеулердің нәтижелері.

Алынған нәтижелердің негізделуі мен нақтылығы эксперименттік зерттеу нәтижелері арқылы тексерістен өткізіліп жасалған математикалық модельдің шындыққа жанасымдылығымен, сонымен қатар, ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшектерінің өлшемін жоғары дәлдікпен анықтауға жол беретін заманауи өлшеу құралдарын қолданумен расталады.

Автордың жеке үлесі зерттеулердің мақсаты мен міндеттерін қою, майдалап ұнтақтайтын жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) конструкциясын жасау, жаңа диірмендегі (ұнтақтағыштағы) материалдың ыдырау (бұзылу) процесінің математикалық моделін жасау, жаңа диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясы тиімділігін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулерді ұйымдастыру және жүргізу болып табылады.

Жұмыстың апробациясы.

Зерттеу жұмыстарының нәтижелері баяндалды және талқыланды:

- «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына» студенттердің, магистранттардың және жас ғалымдардың III Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы (2017 ж. 12-13 сәуір, Д. Серікбаев ат. ШҚМТУ, Өскемен қ., Қазақстан);

- «Global Science and Innovations (GSI-2018)» Халықаралық ғылыми конференциясы (2018 ж. 28 ақпан, Егер қ., Венгрия);

- «Көлік комплексіндегі модернизация мен ғылыми зерттеулер» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университеті, Пермь қ., Ресей, 2017 ж. 9-10 қараша).

- 2024 ж. Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының отырысында (Қосымша А)

- 2017 және 2019 жылдары Вроцлав ғылым және технологиялар университетінің «Машина жасау және трибология» кафедрасының (Вроцлав қ., Польша) ғылыми семинарының отырысында (Қосымша Б);

Сонымен қатар, диссертация тақырыбы бойынша ғылыми-зерттеу жұмысы 2018-19 жж. СҒЗЖ Республикалық байқауында 1-ші орынды иеленді (Қосымша В).

Зерттеу нәтижелерін жүзеге асыру. Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері 2019 жылы Өскемен қаласындағы «ЮА Трансстрой» ЖШС өндірістік процесіне (Қосымша Г) және 2023-2024 о.ж. «Торайғыров университеті» КеАҚ 6В07110 - Технологиялық машиналар және жабдықтар оқу бағдарламасына бакалаврларды дайындау бойынша оқу процесіне енгізілді (Қосымша Д).

Басылым жайлы ақпарат. Диссертация материалдары 8 басылымда жарияланды, оның ішінде 3 - Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда, 1 - SCOPUS мәліметтер қорында индекстелетін журналында, 3 - отандық және шетелдік халықаралық конференция материалдары жинағында, 1 - пайдалы модельге ҚР патентінде (Қосымша Е).

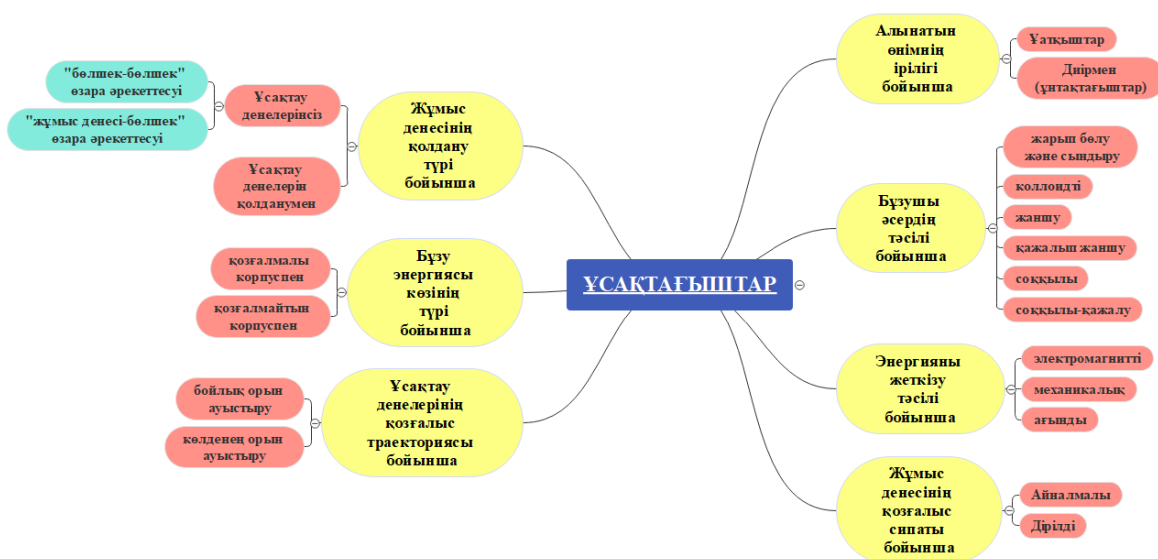
Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс анықтамалар, белгілеулер мен қысқартулардан, нормативтік сілтемелерден, кіріспеден, 4 бөлімнен, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, қорытындыдан және қосымшалардан тұрады. Жұмыстың көлемі 149 бетті машинамен басылған мәтінді құрайды, оған қоса, 49 суреттен, 23 кестеден, 89 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және 8 қосымшалардан.

1 МАТЕРИАЛДЫ МАЙДАЛАП ҰНТАҚТАУ (ҰСАҚТАУ) МӘСЕЛЕЛЕРІН ТАЛДАУ

1.1 Майдалап ұнтақтау (ұсақтау) бойынша ұсақтағыштарды жіктеу

Қазіргі уақытта өндірістің көптеген салаларында өте кішкентай (майда) өлшемді материалдарды пайдалану қажеттілігі туындап отыр. Осыған байланысты аса майдалы ұнтақты алу бойынша ұнтақтау (ұсақтау) агрегаттарының жұмыс тиімділігін арттыру өзекті болып табылады [1-4].

Бүгінгі күнде майдалап ұнтақтау ұсақтағыштарының әр түрлі типтері қолданыста бар. Олар бір-бірінен түрлі жіктеу критерийлермен ерекшеленеді. 1.1-суретте майдалап ұнтақтау ұсақтағыштарын жіктеу сұлбасы көрсетілген.



Сурет 1.1 - Ұсақтағыштарды жіктеу сұлбасы

Жіктеудің ең алғашқы критерийлері алынатын өнімнің ірілігі болып табылады. Бұл сипат бойынша ұсақтағыштар жіктеледі:

- уатқыштар (ұсақтау ірілігі 250 мм-ден 1 мм-ге дейін);
- диірмендер немесе ұнтақтағыштар (ұнтақтың ірілігі 0,1 мм-ден төмен).

Уатқыштарды ірі немесе орташа ұсақтау үшін қолданады, ал диірмендер материалдарды орташа, майдалап және коллоидті ұнтақтауға (ұсақтауға) арналған.

Жіктеудің екінші критерийі - материалдың кесек бөлшегін ыдырату (бұзу) тәсілі болып табылады. Аталған сипат бойынша ұсақтағыштар келесідей жіктеледі [5]:

- жарып бөлу және сындыру;
- жаншу;
- ысқылап (қажалып) жаншу;
- соққылы;
- соққылы-ысқылау (қажалу);
- коллоидті ұсақтағыштар;

Жоғарыда келтірілген тәсілдердің ішінен оңтайлысы - соққылы-ысқылау (қажалу) әсері болып табылады [6].

Жіктеудің келесі критерийі - энергиямен қамтамасыз ету тәсілі бойынша. Бұл сипат бойынша ұсақтағыш түрлері келесідей:

- механикалық;
- ағынды;
- электромагнитті.

Механикалық диірмендерде (ұнтақтағыштарда) ұнтақталатын (ұсақталатын) материал жұмыс органының айналу әсерінен немесе дірілді әсер арқылы қозғалысқа келтіріледі. Ағынды жабдықтарда энергияны жеткізу үшін инертті газ, ауа немесе өте ысытылған бу қолданылады. Электромагнитті энергияны жеткізудің электромагнитті тәсілінің әсер ету принципі айнымалы магнит өрісін қолданатын активацияның физикалық тәсіліне байланысты [7].

Энергияны жұмыс органына және ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға жеткізу бойына жоғарыда келтірілген әдістердің ішінен кең тарағаны механикалық тәсіл болып табылады. Себебі, ағынды және электромагнитті ұсақтағыштармен салыстырғанда механикалық тәсілді жүзеге асыру кезінде майдалап ұнтақтайтын ұсақтағыштардың салыстырмалы түрде қарапайым техникалық шешімдерін әзірлеуге мүмкіндік туады.

Ағынды ұнтақтау (ұсақтау) энергияның елеулі шығындарымен және орнықты аэродинамикалық жұмыс режимін жасаумен айрықшалаанады. Ағынды ұсақтағыштарда материал ағынының ауамен бірге қарсы қозғалысын қолдану бұл ұсақтағыштарды ұнтақтау жағынан салыстырмалы түрде тиімдірек етсе, материалдың орын ауыстыруы үшін энергия өте көп шығындалады. Бұл олардың кеңінен таралуын шектеп отыр [8, 9]. Егер айтылып кеткен қарсы қозғалыс идеясын механикалық конструкцияға энергияны жеткізудің механикалық тәсілімен қиыстырып қолдансақ, салыстырмалы түрде аз энергия шығыны кезінде ұнтақтау майдалығын арттыру бойынша оң әсер алу туралы болжам жасауға болады. Аталып өткен жүктеменің қарсы қозғалыс принципін алдағы зерттеулерді жүргізуге және майдалап ұнтақтау үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) конструкциясын әзірлеу үшін негіз ретінде қабылдауға болады.

Тағы бір классификацияның критерийі - жұмыс органының қозғалыс сипаты болып табылады [3,б.16; 9]:

- айналмалы;
- дірілді.

Ұнтақтау (ұсақтау) процесін жүзеге асыру үшін кәсіпорындарда жұмыс органдары айналмалы қозғалыс (шарлы, планетарлы диірмендер) жасайтын және дірілді қозғалыс жасайтын (дірілді диірмендер) диірмендер (ұнтақтағыштар) кеңінен қолданылатынын атап өткен жөн. Оған қоса, көрсетілген жұмыс органдарының қозғалыс тәсілдерінің құрамдас нұсқалары да (дірілді-айналмалы диірмендер) қолданылады [10].

Қолданылатын жұмыс органының түрі бойынша диірмендер (ұнтақтағыштар) келесідей бөлінеді:

- ұнтақтау денелерін қолданбайтын (ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ыдырату (бұзу) энергиясы тікелей машина жұмыс органы арқылы беріледі);

- ұнтақтау денелерін қолданатын (ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ыдырату (бұзу) энергиясы ұнтақтау денелері арқылы беріледі).

Кең таралған майдалап және аса майдалап ұнтақтау (ұсақтау) диірмендерінің (ұнтақтағыштарының) көбінің әрекет ету принципі бөлшектерге ұнтақтау денелері арқылы ыдырату (бұзу) энергиясын (кинетикалық энергияны) беруге негізделген [11, 12]. Зерттеушілердің көбі ұнтақтау денелерін қолдану оларды қолданбаудан тиімдірек екенін атап өткен, бірақ ұнтақтау денелерінің тозу қалдықтарының болуын ескеру қажет [13]. Ұнтақтау денелерін қолданатын диірмендерді (ұнтақтағыштарды) жобалау кезінде ұнтақтау денелерін тиімдірек пайдалану және энергия шығынын төмендету міндеттерін шешу маңызды. Қазіргі уақытта ұнтақтау денелерін пайдаланатын ұнтақтау (ұсақтау) тәсіліне тиімділік жағынан балама тәсіл жоқ деуге болады.

Ұсақтағыштар ыдырату (бұзу) энергиясы көзінің түрі бойынша бөлінеді:

- стационарлы корпусты диірмендер (ұнтақтағыштар), бұларда бөлшектерді ыдырату (бұзу) энергиясының көзі ретінде жұмыс органының қозғалысы болып табылады (планетарлы, барабанды, дірілді және т.б.);

- қозғалмалы корпусты диірмендер (ұнтақтағыштар), бұларда бөлшектерді ыдырату (бұзу) энергиясының көзі ретінде корпустың қозғалысы болып табылады, мысалы, ротордың айналуы (ортадан тепкіш, бисерлі және т.б.).

Ұнтақтаудың (ұсақтаудың) жоғары өнімділігі талап етілетін өндірістік жағдайда қозғалмалы корпусты диірмендерді (ұнтақтағыштарды) қолданған жөн. Өйткені, стационарлы корпусты және қозғалмалы роторлы диірмендерді (ұнтақтағыштарды) қолдану үшін жоғары қуатты электр жетектері қажет, ал оларды шынайы жағдайда жүзеге асыру қиындыққа соқтырады.

Ұнтақтау денелерінің қозғалыс траекториясы бойынша ұсақтағыштар бөлінеді:

- бойлық орын ауыстырумен;
- көлденең орын ауыстырумен.

Классикалық диірмендерде (ұнтақтағыштарда) бойлық немесе көлденең орын ауыстыратын ұнтақтау денелерінің қозғалысын ұйымдастыру қолданылуына қарамастан, қазіргі кезде диірмендердің (ұнтақтағыштардың) жаңа конструкцияларында ұнтақтау денелерінің құрамдас бойлық-көлденең қозғалысы жүзеге асырылуда [14].

Диірмендердің (ұнтақтағыштардың) классификациясын талдау кезінде алынған мәліметтерді тұжырымдай келе, келесі ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерінің жиынтығын атап өтуге болады:

- жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы;
- энергияны механикалық түрде жеткізу;
- ұнтақтау денелерін(шар) қолдану;
- ұнтақтау (ұсақтау) материалына соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін беру;

- ұнтақтау денелері (шар) мен материалдың қарсы қозғалысы;
- ұнтақтау денелерінің (шар) бойлық-көлденең қозғалысы.

Анықталған ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерін жүзеге асыру, тиімділігі жоғары диірменнің диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясын жасауға мүмкіндік береді.

1.2 Қолданыстағы майдалап ұнтақтау (ұсақтау) диірмендерінің (ұнтақтағыштарының) конструкцияларына шолу жасау және оларды талдау

Жоғарыдағы 1.1 тармағында анықталған ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерінің жиынтығына сүйене келе, қолданыстағы диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкцияларының ішінен ең сәйкес келетіндері таңдап алынды. Оларға шарлы (барабанды), бисерлі, дірілді диірмендер (ұнтақтағыштар) жатады. Ары қарай жоғарыда анықталған ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерінің осы диірмендерде (ұнтақтағыштарда) жүзеге асырылу мүмкіндіктеріне талдау жасалды.

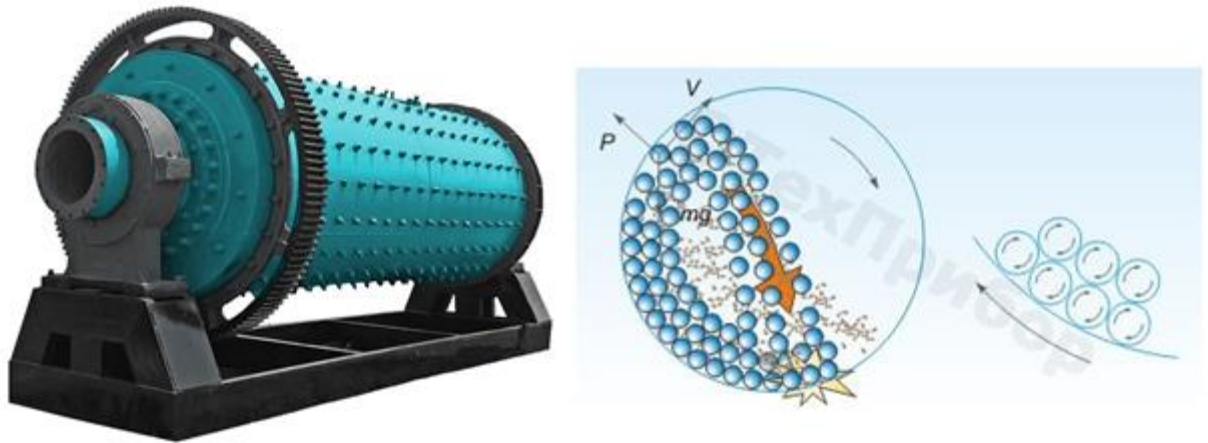
Соққылы-қажалу ыдырату (бұзу) тәсілі жүзеге асырылатын ұнтақтау жабдықтарының ең кең таралған түрі шарлы диірмендер болып табылады. Бұл ұнтақтағыш жабдығының жоғары танымалдығы оның қарапайым конструкциясы және ұнтақтау әсерін күшейтетін ұнтақтау денелерін қолдану арқылы жоғары тиімділігімен негізделген [3,б.16].

Конструкция жағынан шарлы диірмендер (ұнтақтағыштар) ұнтақтау денелерімен толтырылған цилиндрлік барабаннан тұрады. Барабанның айналу әсерінен ұнтақталатын (ұсақталатын) материал мен ұнтақтау денелерінің қосындысы барабанмен бірге шеңберлі траекториямен айналып, белгілі бір мезетте қабырғалардан ажырап параболалық траекториямен төмен қарай құлайды. Ұнтақтау (ұсақтау) процесі ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшектері мен ұнтақтау денелерінің өзара соққылы және қажалу әрекеті кезінде жүзеге асырылады (1.2-сурет) [15, 16].

Шарлы диірмендердің кемшіліктері ортадан тепкіш күш әсерінен шарлардың барабан қабырғасына жабысып қалу себебінен ыдырату (бұзу) энергиясын ұлғайту шектеулігі, жүктемені (ұнтақтау шарлары мен ұнтақталатын (ұсақталатын) материал) ұлғайту арқылы ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектерінің өзара соғылу саны диапазонын жоғарылату шектеулігі, қосалқы процестерге (жылу түзілу, үйкеліс күштерін еңсеру т.б.) жұмсалатын едәуір энергия шығынының болуы себебінен пайдалы әсер коэффициентінің төмендігі болып табылады [17, 18].

Оған қоса, бұл диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау шарларының қозғалысы бір бағытты сипат алады, яғни, ұнтақтау (ұсақтау) процесі ұнтақтау шарларының қарсы соқтығысуы арқылы жүзеге асырылмайды, бұл процесс бір бағытта қозғалатын ұнтақтау шарларының материал бөлшектеріне әсер ету арқылы орын алады. Ұнтақтау шарларының қозғалыс көзі камераның айналу қозғалысы (дірілді әсер етусіз) болып табылады. Шарлы диірмендегі

материалдың ұнтақталуы (ұсақталуы) - ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ұнтақтау шарларының соққылы-ысқылау(қажалу) әсерінің нәтижесі. Шарлы диірменнің конструкциялық ерекшеліктеріне байланысты ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын арттыру шектеулігі себебінен соққылы- ысқылау (қажалу) әсерінің қарқындылығының салыстырмалы жоғары болмауын атап өткен жөн. Бұл диірменде ұнтақтау шарларының көлденең қозғалысы жүзеге асырылады.



Сурет 1.2 - Шарлы (барабанды) диірменнің жалпы көрінісі

Бисерлі диірмендер (1.3-сурет) араластырғыш немесе қосалқы қызметтері бар және араластырудың, бисердің циркуляциясының әр түрлі режимдерін қамтамасыз ететін араластырғыш роторы бар цилиндрлік камерада (ыдыстан) тұрады. Диірмен (ұнтақтағыш) камерасы көлемінің 70-80 % бисерлермен толтырылады. Ұнтақтау (ұсақтау) кезінде камераға майдаланатын ұнтақ суспензиясы құйылады. Ол барлық бос көлемді толтырады. Диірменнің (ұнтақтағыштың) роторы айналу қозғалысын жасағанда бисерлердің қозғалысы жүзеге асырылады, ал бисерлер өз кезегінде материалдың бөлшектерін ысқылайды (қажайды). Жұмыс аяқталған соң материал суспензиясын диірменнен (ұнтақтағыштан) құйып алады. Өндірістік бисерлік диірмендер үздіксіз немесе циркуляциялық режимдерде жұмыс жасайды. Барлық заманауи диірмендер осындай режимдерде жұмыс істей алады және электрі патрон немесе бисерді суспензиядан бөліп алу саңылауларынан тұрады [19]. Бисерлі диірмендер (ұнтақтағыштар) көлденең және тік (вертикаль) болып бөлінеді. Көлденең бисерлі диірмендер кеңінен таралған. Оларда цилиндрлік камера мен ротор көлденең орналасқан. Тік (вертикаль) диірмендер негізінен керамика өндірісінде және берік материалдарды ұнтақтау (ұсақтау) кезінде қолданады. Егер диірмендер (ұнтақтағыштар) вертикаль орналасқан болса, онда толтырылатын бисерлердің массасы әсерінен камера түбіне жоғары абразивті жүктеме түседі. Керамикалық материалдарды өңдеу кезінде бұл әсер пайдалы, өйткені, ұнтақтаудың (ұсақтаудың) үлкен энергия кернеулігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.



Сурет 1.3 - Бисерлі диірменнің жалпы көрінісі

Бисерлі диірмендердің негізгі артықшылықтарының бірі - жоғары меншікті бетті өнімді алу мүмкіндігі. Сонымен қатар, болашақта дәстүрлі барабанды және дірілді диірмендерге балама ретінде қарастырылады. Бұл, жылдамдықты арттыру арқылы ыдырату (бұзу) энергиясын жоғарылатуда теориялық шектеудің болмауымен негізделеді және ол ұнтақтау (ұсақтау) процесін жоғары жылдамдықты режимдерде өткізуге мүмкіндік береді. Бисерлі диірмендерде ұнтақтау (ұсақтау) энергиясы ротордың айналу жылдамдығына кубтық тәуелділікте және тура пропорционал. Осыдан, ұсақ дисперсиялы өнімді алудың жоғары ықтималдылығы туралы айтуға болады [20]. Бірақ, жұмысының авторлары [21] ротордың айналу жылдамдығы артқан кезде жоғары кинетикалық энергия аймағында ұнтақтау денелерінің саны төмендейтінін анықтады. Осыған байланысты, ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі төмендейді.

Оған қоса, бисерлі диірмендердің негізгі кемшілігі - ұнтақтау (ұсақтау) процесінің жоғары энергия шығыны. Мысалы, «IsaMill» бисерлі диірмені қуаты 8000 кВт (7 мкм өнімді алу үшін) болатын жоғары жылдамдықты ұнтақтау (ұсақтау) процесін жүзеге асырады, ал «Vertimill» бисерлі диірмені 3000 кВт (15 мкм өнімді алу үшін) қуатты тұтынады [22, 23].

Бұл диірмендерде (ұнтақтағыштарда) материалдардың ұнтақталуы (ұсақталуы) жұмыс органының (ротордың) айналу қозғалысы арқылы, ұнтақтау бисерлерінің қосымша тербелмелі қозғалысын тудыратын дірілді жетекті қолданусыз жүзеге асырылады. Диірмен (ұнтақтағыш) іске қосылғанда ротордың айналу қозғалысынан ұнтақтау бисерлері материалға бір бағытты соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін береді, яғни, ұнтақтау денелері мен материалдың қарсы қозғалысы жоқ. Оған қоса, мұнда ұнтақтау денелерінің көлденең қозғалысы орын алады.

Дірілді диірмендер (1.4-сурет) - бұл әр түрлі шикізаттарды майдалап ұнтақтауға арналған аса тиімді агрегаттар. Бұл диірмендердегі ұнтақтау (ұсақтау) процесінің ерекшелігі материал бөлшектеріне түсетін жүктеменің

(күштің) салыстырмалы үлкен емес мөлшері кезінде ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға жоғары жиілікті әсер берілуінде. Бұл әсер арқасында ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі артады. Диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс камерасының тербелмелі қозғалысы дірілді жетек арқылы қамтамасыз етіледі. Ол дебалансты білік пен серіппелері бар камерадан тұрады. Сонымен қатар, барабанның айналу қозғалысын тербеліспен алмастыру шарлы диірмендердегі ұнтақтау шарларының соғу күшін реттеуге қатысты мәселелерді тербеліс амплитудасын өзгерту арқылы шешуге мүмкіндік береді. Оған қоса, бұл камераның жүктелу дәрежесіне қарай өнімділікті арттыруға алып келеді [3,б.45; 24].

Дірілді диірмендердің кемшілігіне ұсақ өлшемді жоғары беріктігі бар бөлшектерді ыдырату (бұзу) үшін жоғары кернеуді қамтамасыз ету мүмкіндігінің жоқ болуында. Бұл тербеліс амплитудасының жоғары мөлшерін ұйымдастырудың қиындығына байланысты [25].

Жоғарыда аталып өткен материалды тиімді ұнтақтау (ұсақтау) критерийлерімен сәйкестендіре келе, дірілді диірмендерде айналу қозғалысы жоқ, ұнтақтау денелерінің көлденең қозғалысы орын алады, жүктеменің (материал мен ұнтақтау шарлары) орын ауыстыруы аз қашықтықта болу себебінен соққы мөлшері де аз, яғни, шарлар мен материалдың арасындағы ажырау қашықтығы жоқ деуге болады. Сондықтан бұл диірмендерде (ұнтақтағыштарда) негізінен ысқылау (қажалу) мен жаншу әсерлері басым болады.

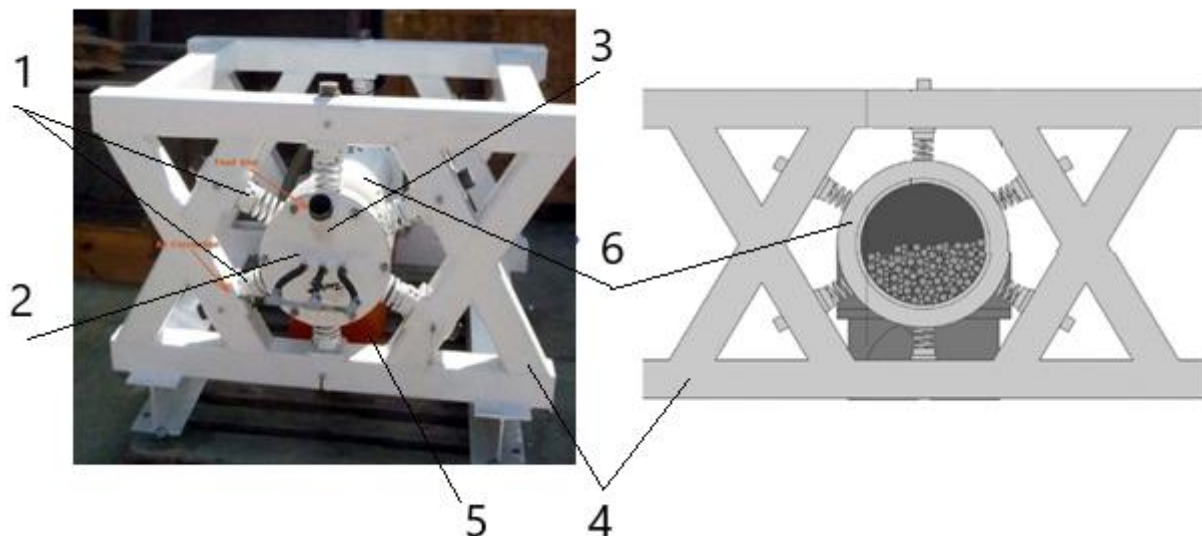


Сурет 1.4 - Көлденең дірілді диірмен

Ары қарай, қолданыстағы жаһандық жетекші өндірушілердің дірілді диірмендерінің (ұнтақтағыштарының) конструкциялары қарастырылған.

«Microgrinding Systems Inc.» (АҚШ, Литл Рок, Арканзас штаты) компаниясы материалдарды ұнтақтау (ұсақтау) үшін корпустың кинетикалық энергиясын тиімді қолданатын дірілді диірменін (ұнтақтағышын) жобалап

жасап шығарды. «VKE 1040» диірмені (1.5-сурет) өнімділікке талаптары төмен (136 кг/сағ) шағын өндіріске арналған және 1,86 кВт қуаты бар электр моторымен жабдықталған. Диірмен ауалық классификаторды қолданатын реттелетін жіктеу жүйесі арқылы материал бөлшектерін 0,3 мкм-ге дейін ұнтақтай (ұсақтай) алады. Қаптаманың тозу бөліктері резеңке, уретан, болат немесе тот баспайтын болаттан жасалуы мүмкін. Диірмен (ұнтақтағыш) (салмағы 544 кг) құрғақ және ылғалды (сулы) режимдерде жұмыс жасай алады [26, 27].

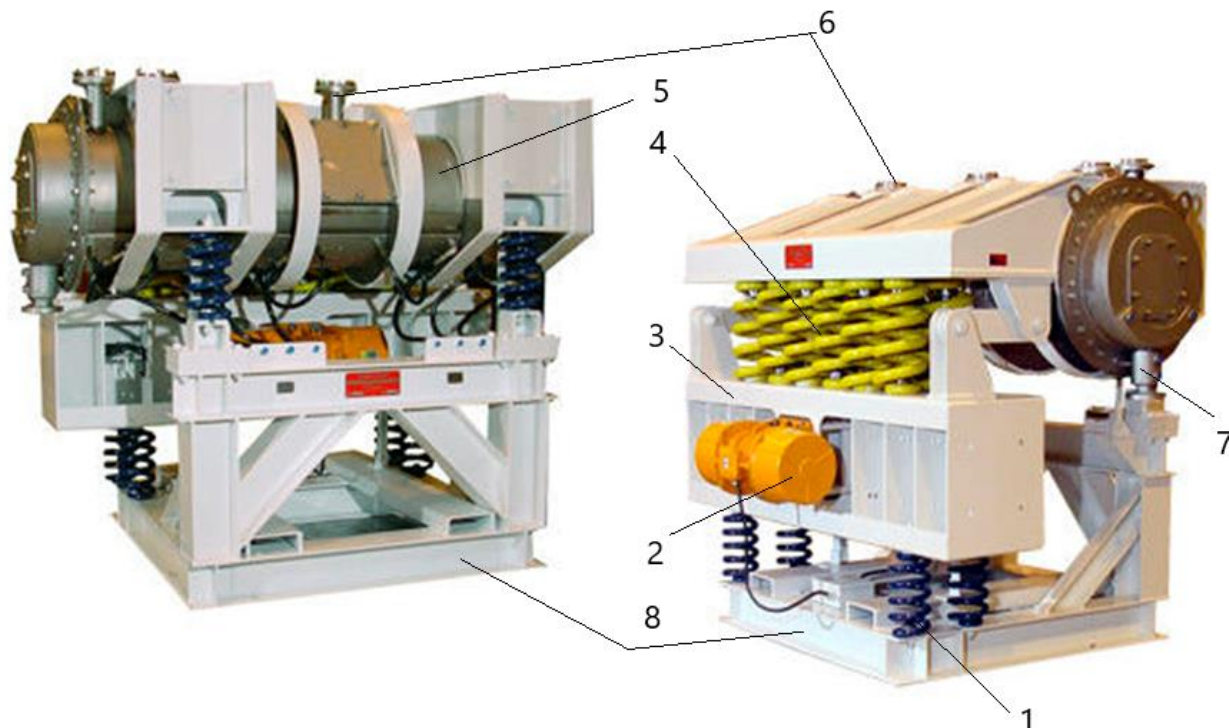


Сурет 1.5 - «VKE 1040» дірілді диірменінің жалпы көрінісі [26,6.437; 27].

Бұл дірілді диірменнің конструкциясы серпімді тіректерге 1 орнатылған ұнтақтау камерасынан 6 тұрады, ал тіректер ұнтақтау камерасының корпусын барлық бағытта айнала орналастырылған. Ұнтақтау камерасының астыңғы бөлігінде дірілді жетек 5 орналастырылған. Материалды жүктеу және шығару ұнтақтау камерасының шетжақ қабырғаларындағы 2 құбыршалар 3 арқылы жүзеге асырылады. Диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс принципі потенциалдық энергияның бір бөлігін серпімді элементтерде жинақтап ұнтақтау шарларына беру. Бұл ұнтақтаудың (ұсақтаудың) энергиялық тиімділігін арттырады және фундаментке берілетін күш мөлшерін азайтады. «VKE» дірілді диірмендерді пайдалану тәжірибесі ұнтақтау (ұсақтау) процесінің тиімділігін жоғарылату мақсатында ұнтақтау шарларының жалпы көлемінің айналу центрі ұнтақтау шарлары көлемінің массалық центріне сәйкес келуі керек екенін көрсетеді. Дірілді жетек ұнтақтау камерасынан астына қарай орын ауыстырған кезде ұнтақтау шарлары көлемінің айналу центрі мен диірменнің қозғалмалы бөлігінің массалық центрі сәйкес келеді. Бұл ұнтақтау шарларын эллипстік траекториямен қозғалуына мүмкіндік береді. «Microgrinding Systems Inc.» фирмасының зерттеушілерінің тұжырымы

бойынша, бұл ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ұнтақтау шарлары әсерінің қарқындылығын арттыруға жағдай жасайды [28].

«General Kinematics» (Англия) компаниясы жасап шығарған «Vibra-Drum» (1.6-сурет) диірмені дәстүрлі шарлы немесе айналмалы диірмендерге (ұнтақтағыштарға) қарағанда материалдың тиімді айналмалы қозғалысы арқылы энергияны 35-50%-ға үнемдеуге қол жеткізді [29].



Сурет 1.6 - «Vibra-Drum» диірмені [29]

1.6-суретте көрсетілген «Vibra-Drum» диірмені (ұнтақтағышы) екі жағынан шетжақ ойылған торлармен шектелген, серпімді элементтерге (серіппелер) орнатылған цилиндрлік ұнтақтау камерасынан 5 тұрады. Діріл көзі ретінде қозғалмалы рамада 3 орнатылған екі массалы дірілдеткіш 2 болып табылады. Ұнтақтау камерасы қозғалмалы рамаға 3 орнатылған серпімді элементтерге 4 бекітілген. Қозғалмалы рама мен ұнтақтау камерасын байланыстыратын 4 және 1 серіппелер жүйесі арқасында ұнтақтау (ұсақтау) энергиясы алма-кезек жинақталып ұнтақтау камерасына беріледі. Мұндай қозғалысты ұйымдастыру тәсілі ұнтақтау денелерін қозғалысқа келтіреді, оған қоса оларды камерада тым қарқынды жағдайда ұстап тұру үшін аз энергия мөлшері жұмсалады. Материалды енгізу және шығару операциялары ұнтақтау камерасының енгізу 6 және шығару 7 фланецтері арқылы жүзеге асырылады.

Жоғарыда айтылып кеткендей, майдалап ұнтақтайтын диірмендердің (ұнтақтағыштардың) әр түріне анықталған ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдер жиынтығына сәйкес салыстырмалы талдау жүргізілді. Аталған талдаудың нәтижелер жиынтығы 1.1-кестеде келтірілген.

Кесте 1.1 - Ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне салыстырмалы талдау нәтижелері

Диірмен түрі	Ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдер жиынтығы					
	1-тәсіл	2-тәсіл	3-тәсіл	4-тәсіл	5-тәсіл	6-тәсіл
	Жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы	Энергияны механикалық түрде жеткізу	Ұнтақтау денелерін (шар) қолдану	Ұнтақтау (ұсақтау) материалына соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін беру	Ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы	Ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы
Шарлы (барабанды)	-	+	+	+	-	-
Бисерлі	-	+	+	+	-	-
Дірілді	-	+	+	+	-	-

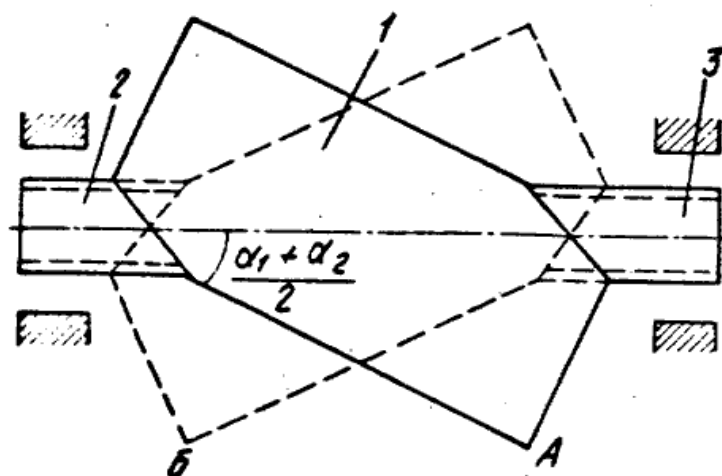
Кестеде келтірілгендей барлық қаралған диірмендер (ұнтақтағыштар) екінші, үшінші және төртінші ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне сәйкес келеді. Бірақ, бірде бір классикалық диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкцияларында бірінші, бесінші және алтыншы тәсілдер, атап айтқанда, жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы, ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы және ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы жүзеге асырылмайды.

Осылайша, диірмен (ұнтақтағыш) конструкцияларына ары қарай талдау жүргізу үшін патенттік талдау жүргізу қажет. Бұл талдаудың зерттеу объектілері болып шарлы және дірілді диірмендері (ұнтақтағыштары) таңдалды. Жоғары энергия шығыны мен өндірістік ауқымда қолдану қиындылығына байланысты бисерлі диірмендерді бұл талдауға енгізілмеді.

1.3 Шарлы және дірілді диірмендердің патенттік анализі

Ұнтақтау денелері (шар) бар диірмен (ұнтақтағыш) конструкцияларын жетілдірудің тәжірибелік тәсілдері мен бағыттарын зерттеу мақсатында шарлы және дірілді диірмендердің (ұнтақтағыштардың) әр түрлі техникалық шешімдері патенттік талдау мен шолу негізінде талданды.

1.7-суретте шарлы диірмендерді жетілдірудің бір нұсқасы көрсетілген. Бұл конструкциядағы ерекшелік ұнтақтау камерасының бойлық осі мен көлденең жазықтық арасына қосымша бұрыштық параметрді α енгізуде болып табылады [30].



Сурет 1.7 - Көлбеу бұрышты камерасы бар шарлы диірмен [30,б.1]

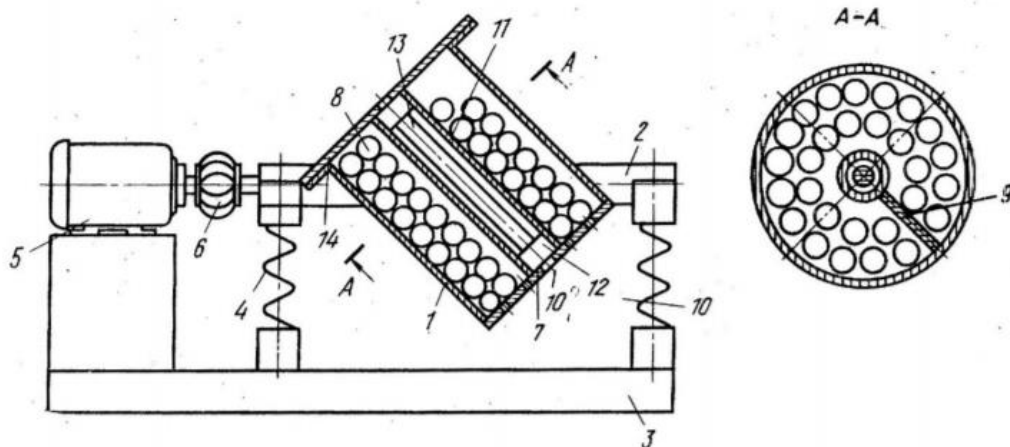
Аталған конструкцияда ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектері бойлық бағытта қозғалу мүмкіндігі әсерінен жүктеменің (яғни, ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектері) күрделі қозғалысы қамтамасыз етіледі. Классикалық шарлы диірменмен салыстырғанда бұл көлбеу бұрышты камерасы бар шарлы диірменде жүктеменің бойлық бағытта қосымша қозғалу мүмкіндігі бар. Осының нәтижесінде, материал бөлшектеріне ұнтақтау шарларымен әсер ету бағыттарының саны артады.

Бұл диірмен конструкциясында жұмыс органының күрделі айналмалы қозғалысы қамтамасыз етіледі. Бұның әсерінен ұнтақтау шарлары бойлық-көлденең қозғалыс (дірілді жетекті қолданбай) жасайды. Материалдың кесек бөлшегін ыдырату (бұзу) әсері - соққылы-ысқылау(қажалу) [31].

1.8-суретте бүйірінен қарағандағы көлбеу бұрышты ұнтақтау камерасы бар диірменнің (ұнтақтағыштың) конструктивтік сұлба көрінісі мен А-А тілігі көрсетілген. Ұнтақтау камерасы 1 және дірілдеткіш 2 серіппелер 4 арқылы рамаға бекітілген. Дебалансты дірілдеткіш 2 муфта 6 арқылы мотормен 5 айналым қозғалысына келтіріледі. Саңылаулы астыңғы арақабырғасы 7 бар көлбеу бұрышпен орнатылған ұнтақтау камерасы 1 ұнтақтау шарларымен 8 жалпы көлемнің 70-80 % толтырылған. Ұнтақтау камерасының 1 ішінде тікбұрышты қалақша түрінде қатпарлы қырғыш 9 орнатылған. Қырғыш 9 камераны жоғарғы қақпағына 14 және арақабырғаға 7 бекітілген ступицасы 11 және тірек осінің 13 цапфалары 12 арқылы түзілген мойынтіректер арқылы орталық осьті 10 айнала қозғалуы мүмкін. Жұмыс барысы кезінде айналмалы діріл кезінде камераға жүктелетін материал мен ұнтақтау шарлары дірілді-циркуляциялы қозғалыста болады. Бұл ұнтақтау шарларының араласуына және материалды ұнтақтауды (ұсақтауды) қамтамасыз етеді. Ұнтақталған (ұсақталған) материал бөлшектері арақабырғадағы 7 саңылаулар арқылы түседі. Ылғал немесе жабысқақ материалды өңдеу жағдайында жабысып қалған материал кесектері жүктеме қысымы әсерінен ось 10 көмегімен баяу айналатын қырғыш арқылы камера қабырғасынан сырылады. Осыдан, жабысқақ

материалдарды өңдеу тиімділігі артады және ылғалды материалдарды алдын ала кептіруге кететін шығындар азаяды [32].

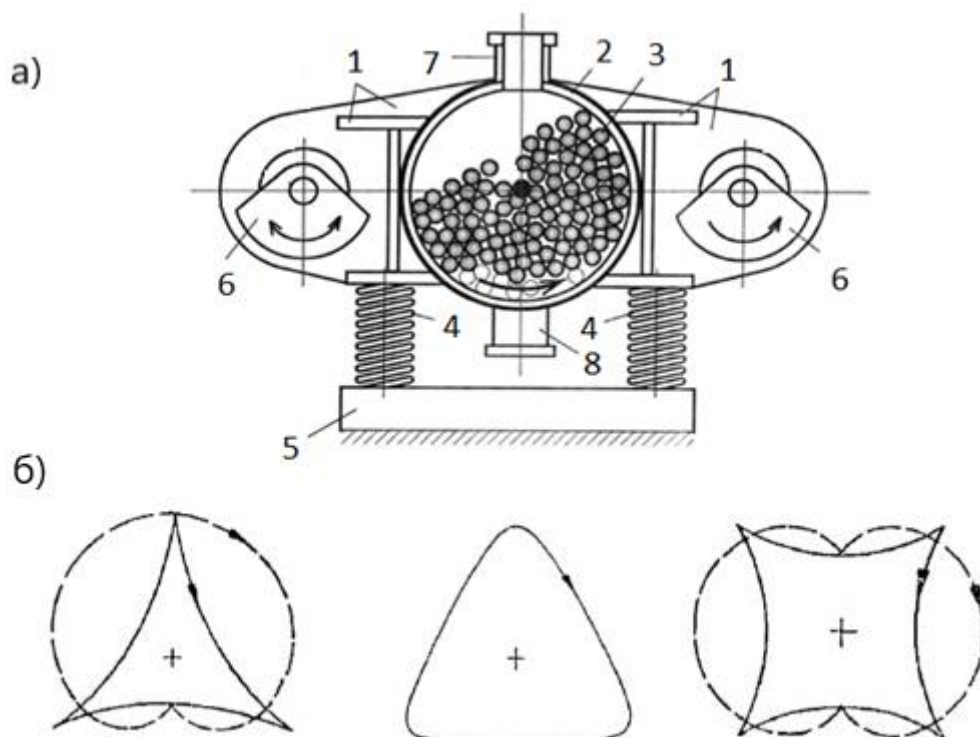
Басқа конструкциялардан ерекше ететін бұл диірменнің (ұнтақтағыштын) ұнтақтау камерасының көлбеу пішіні диірмен (ұнтақтағыш) арқылы материалдың өту жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді [32,б.1].



Сурет 1.8 - Көлбеулі ұнтақтау камерасы бар дірілді диірмен [32,б.1]

Бұл конструкцияда ұнтақтау шарларының дірілді-айналмалы қозғалысы қамтамасыз етіледі. Дірілді қозғалыс - дірілді жетек, ал айналмалы қозғалыс - қырғыш арқылы жүзеге асырылады. Ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың бөлшегін ыдырату (бұзу) әсері - соққылы-ысқылау(қажалу). Ұнтақтау шарларының біржақты қозғалысы қамтамасыз етілген.

Келесі техникалық шешім - бұл екі тәуелсіз дебалансты дірілді жетектерден және қозғалмайтын негізбен 5 серпімді элементтер 4 арқылы байланысқан ұнтақтау шарлары 3 бар ұнтақтау камерасынан 2 тұратын корпусы 1 дірілді диірмен (1.9а-сурет). Әр дебалансты дірілді жетек бұрыштық жылдамдығы және жетекті білік пен дебаланстардың 6 айналу бағытының тәуелсіз өзгеру мүмкіндігімен орындалған жеке айналу жетегі бар жетекті білік түрінде жасалған. Ұнтақтау камерасы ұнтақталатын (ұсақталатын) материалды енгізу үшін толтыру саңылауынан 7 және ұнтақталған (ұсақталған) өнімді шығару үшін шығару саңылауынан 8 тұрады [33, 34].



Сурет 1.9 - а) Екі тәуелсіз дебалансты жетектері бар дірілді диірмен; б) Ұнтақтау камерасының бигармоникалық тербелістерінің траекториялары [33,6.2; 34,6.152]

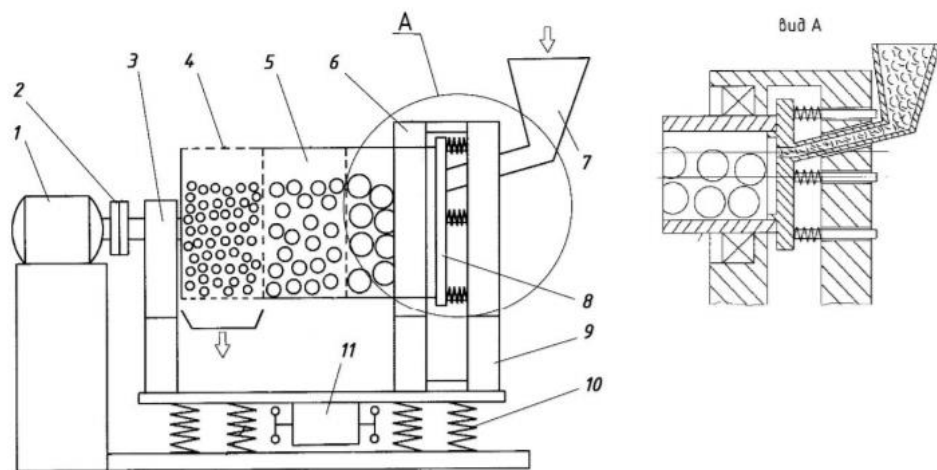
Дірілді диірмен өнімділікті арттыру міндетін ұнтақтау камерасына екі әр түрлі айналмалы дірілді әсер беру арқылы шешеді. Мұндай шешім механикалық үдеудің орынды шекті мәндерінен асырмай үлкен шамалы амплитуда және жиіліктермен жұмыс жасау мүмкіндігін қамтамасыз етеді [31,6.221].

Бұрыштық жылдамдық, центрден тепкіш қоздырушы күштер мен жетекті біліктердің айналу бағыттарының қатынасын таңдау бойынша басқа да діріл траекторияларын алуға мүмкіндік бар. Ұнтақтау камерасының бигармоникалық тербелістерінің біркелкі емес өрістерін түрлендіру (1.9б-сурет) арқылы дірілді диірменнің өнімділігін арттыруды қамтамасыз етеді [33,6.6].

Ұнтақтау камерасының әр түрлі тербеліс траекторияларына қол жеткізу арқылы жүктеме (ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектері) күрделі қозғалыс жасайды. Осыдан, ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ысқылау (қажалу) әсері артады. Бірақ, ұнтақтау шарлары жылдамдығының айтарлықтай артпауынан, соққылы әсер шамасы аздау болады. Оған қоса, ұнтақтау камерасының айналмау себебінен материалдың орын ауыстыруы шектеулі, сонымен қатар, ұнтақтау шарлары мен материалдың қарсы қозғалысы бұл конструкцияда қамтамасыз етілмеген.

Шарлы жүктеменің қозғалыс қарқындылығы артатын келесі конструкция - Тамбов мемлекеттік технологиялық университеті жасап шығарған майдалап ұнтақтауға арналған дірілді-айналмалы шарлы диірмен (1.10-сурет). Дірілді ұнтақтаудың (ұсақтаудың) үздіксіз процесін жүзеге асыру мақсатында диірмен,

ұнтақтау материалымен ұнтақтау (ұсақтау) камерасын үздіксіз толтыруды қамтамасыз ететін жүктемені енгізудің арнайы торабымен жасалған. Дірілді-айналмалы диірмен мотор 1 арқылы арнайы муфта 2 көмегімен айналатын цилиндрлік барабаннан 5 тұрады. Барабанның айналуы кезінде шарлар домаланып, үйкеліс күші әсерінен белгілі бір биіктікке көтеріліп құлайды. Осы арқылы материал бөлшектері шарлар мен корпустың арасында ұнтақталады (ұсақталады). Ұнтақтау барабаны қозғалмалы негізде 9 орналасқан мойынтіректі тіректерге 3 және 6 орнатылған. Қозғалмалы негіз 9 серіппелер 10 арқылы екі дебалансты біліктері бар моторды құрайтын жазықтықты дірілдеткіштен 11 күштік әсер алады. Барабан 5 тік перфорацияланған арақабырғалармен ұнтақтау камераларына бөлінген. Әр камерада әр түрлі өлшемді ұнтақтау шарлары орналастырылған. Барабанда ұнтақтау шарларын оңтайлы дәрежеге (бұл жағдайда 0,8) дейін толтыру үшін сыртқы люк қарастырылған. Бастапқы ұнтақталатын (ұсақталатын) материалды камераға жүктеу енгізу құйғысы 7 арқылы жүзеге асырылады. Шикізатты беру барабан осінен жоғары орналасқан шетжақ қақпақтағы 8 енгізу саңылауы арқылы жасалады. Оған қоса, барабан дайын өнімді шығаруды қамтамасыз ететін перфорацияланған бөліктен 4 тұрады [35].

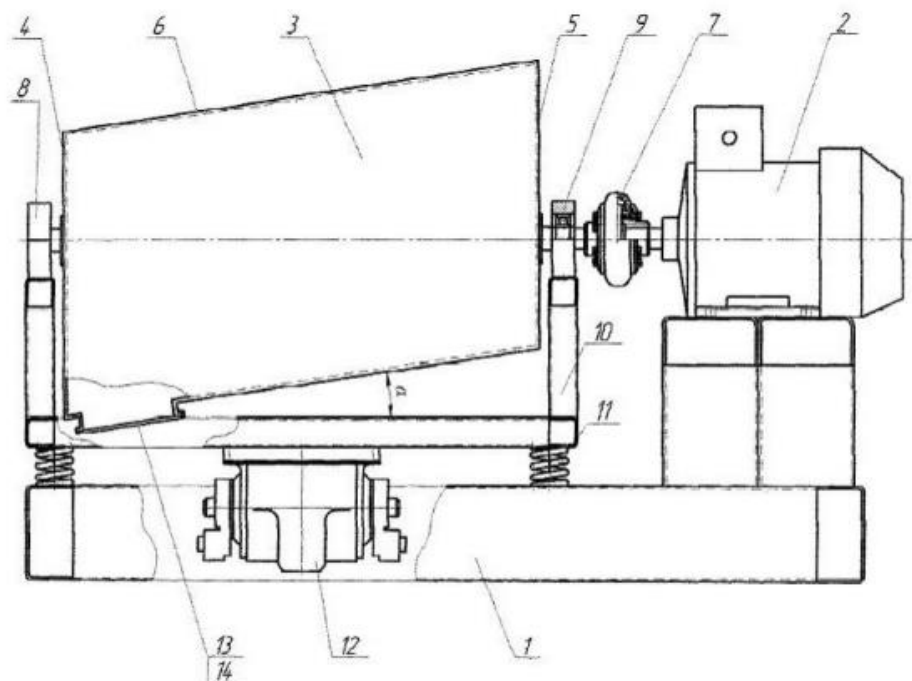


Сурет 1.10 - Тамбов мемлекеттік технологиялық университетінің дірілді-айналмалы диірмені [35,б.7]

Тамбов мемлекеттік технологиялық университетінің дірілді-айналмалы диірменінде ұнтақтау камерасындағы бос аймақтар едәуір дәрежеде азаяды. Бұл барабанның барлық көлемі бойынша ұнтақталатын (ұсақталатын) материалды біркелкірек үлестіру нәтижесінде жүзеге асырылады, оған қоса ұнтақтау камерасының жұмыстық көлемі тиімді қолданылады. Бірақ, жүктеу торабының күрделендірілген конструкциясы ұнтақтау (ұсақтау) кезінде жоғары герметизацияны қамтамасыз етпейді. Осының кесірінен бұл диірменде (ұнтақтағышта) ылғалды ұнтақтау (ұсақтау), газды ортада ұнтақтау (ұсақтау) және жарылу қаупі бар материалдарды ұнтақтауды (ұсақтауды) жүзеге асыру мүмкін емес.

Жоғарыда келтірілген конструкциялармен салыстырғанда бұл диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясында жұмыс органның бір уақытта дірілді және айналмалы қозғалысы қамтамасыз етіледі. Бұл ұнтақтау шарлары мен материалдың күрделі қозғалысын жасауға мүмкіндік береді. Оған қоса, материал бөлшектеріне соққылы-ысқылау(қажалу) әсері бар, бірақ, ұнтақтау шарлары мен материалдың қарсы қозғалысы қамтамасыз етілмейді.

Аталып кеткен конструкциялардың жетілдірілген нұсқасы 1.11-суретте көрсетілген диірмен (ұнтақтағыш) болып табылады [36].



Сурет 1.11 - Көлбеу камерасы бар дірілді-айналмалы шарлы диірмен [36,б.2]

Диірмен (ұнтақтағыш) шетжақ беттері 4, 5 және бүйір цилиндрлік беті 6 болатын көлбеу цилиндрлі пішінде жасалған ұнтақтау камерасының 3 жетегі 2 орнатылған қозғалмайтын рамадан тұрады. Жетек 2 иілімді муфта 7 арқылы ұнтақтау камерасын көлденең ось бойымен айналдыруды жүзеге асырады. Көлбеу цилиндр пішінінде жасалған ұнтақтау камерасы 3 қозғалмалы раманың 10 бөлігі болатын мойынтіректі тіректерде 8 және 9 орнатылған. Қозғалмалы рама дірілді оқшаулағыштар (серіппелер) 11 арқылы қозғалмайтын рамамен 1 байланысқан. Камераның көлбеу цилиндрінің шетжақ беттері 4 және 5 камераның айналу осіне перпендикуляр орнатылған. Ал бүйір цилиндрлік беті 6 қозғалмалы раманың 10 көлденең бетіне $\alpha = 30^\circ$ бұрышпен орналасқан. Қозғалмалы раманың 10 төменгі бетінде айналатын камераға тербелмелі орын ауыстыруды беретін дірілді жетек 12 орнатылған. Камераның цилиндрлік бетінің төменгі жағында ұнтақталған (ұсақталатын) материалды камерадан шығару үшін алынып-салынатын торкөзі 14 бар енгізу-шығару люгі 13 орналасқан [36,б.4].

Берілген конструкцияда қозғалыстағы ұнтақтау шарлары барлық үш жазықтықта біруақытта іргерімелі, айналмалы және тербелмелі қозғалыстарды жасау нәтижесінде күрделі траектория жасайды. Нәтижесінде ұнтақтау (ұсақтау) дәрежесінің өсуі немесе үлестік беттің өсімімен сипатталатын ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі артады [37]. Диірменнің (ұнтақтағыштың) кемшілігі - ұнтақтау камерасының жоғары жылдамдықта айналуы кезінде бойлық орын ауыстыру жылдамдығының төмендігінде. Бұның әсерінен бойлық бағытта соққы мен ысқылау (қажалу) күштерімен сипатталатын динамикалық құраушысы азаюынан ұнтақтау (ұсақтау) процесіне материалдың бойлық орын ауыстыруының пайдалы әсері кемиді. Қаралып өткен диірменді (ұнтақтағышты) жоғарыда аталып кеткен ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерімен салыстыра келе, бұл конструкцияда ұнтақтау шарларының қарсы қозғалысынан басқа тәсілдердің барлығы жүзеге асырылатындығы анықталды [31,6.2].

Алдындағы бөлімде секілді, патентті талдауды жүргізу кезінде қарастырылған майдалап ұнтақтайтын диірмендердің (ұнтақтағыштардың) әр конструкциясына 1.1 тарауда кезде анықталған ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне сәйкес салыстырмалы талдау жүргізілді. Талдау нәтижелері 1.2-кестеде келтірілген.

Кесте 1.2 - Ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне патенттік зерттеу негізінде жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижелері

№	Диірмен түрі	Ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдер жиынтығы					
		1-тәсіл	2-тәсіл	3-тәсіл	4-тәсіл	5-тәсіл	6-тәсіл
		Жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы	Энергияны механикалық түрде жеткізу	Ұнтақтау денелерін (шар) қолдану	Ұнтақтау (ұсақтау) материалына соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін беру	Ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы	Ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Көлбеу камерасы бар шарлы диірмен (№1827288 КСРО авт.куә.)	-	+	+	+	-	+
2	Көлбеу камерасы бар дірілді диірмен (№1243818 КСРО патенті)	-	+	+	+	-	+

1.2-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Екі тәуелсіз дебалансты жетектері бар дірілді диірмен (№2501608 РФ патенті)	-	+	+	+	-	-
4	ТМТУ дірілді-айналмалы диірмені (№2147931 РФ патенті)	+	+	+	+	-	+
5	Көлбеу камерасы бар дірілді-айналмалы шарлы диірмен (№105199 РФ патенті)	+	+	+	+	-	+

Кестеден, бірінші және екінші диірмен (ұнтақтағыш) конструкциялары бірінші, үшінші, төртінші және алтыншы ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне сәйкес келеді. Үшінші диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясы екінші, үшінші, төртінші тәсілдерге сәйкес келеді. Ал төртінші және бесінші диірмен (ұнтақтағыш) конструкциялары бірінші, екінші, үшінші, төртінші және алтыншы ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдеріне сәйкес келетінін көруге болады. Бірақ, жоғарыда аталған диірмен (ұнтақтағыш) конструкцияларының бірінде де бесінші тәсіл - ұнтақтау шарлары мен материалдың қарсы қозғалысы жүзеге асырылмайды.

Осыған байланысты, жүргізілген талдау нәтижелеріне негізделі материалдарды майдалап ұнтақтау (ұсақтау) процесін жетілдіру негізіне жоғарыда аталып өткен ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың шарттарын (№1,2,3,4,6 тәсілдері) ұстанып, ұнтақтау шарларының қарсы соқтығысуын (№5-ші тәсіл) қамтамасыз етуге негізделген принципті қабылданады. Бұл принципті жүзеге асыру мақсатында майдалап ұнтақтайтын диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясын жасау қажет. Жаңа конструкцияның прототипі ретінде көлбеу камерасы бар дірілді-айналмалы шарлы диірмені [36,б.1] қабылданады.

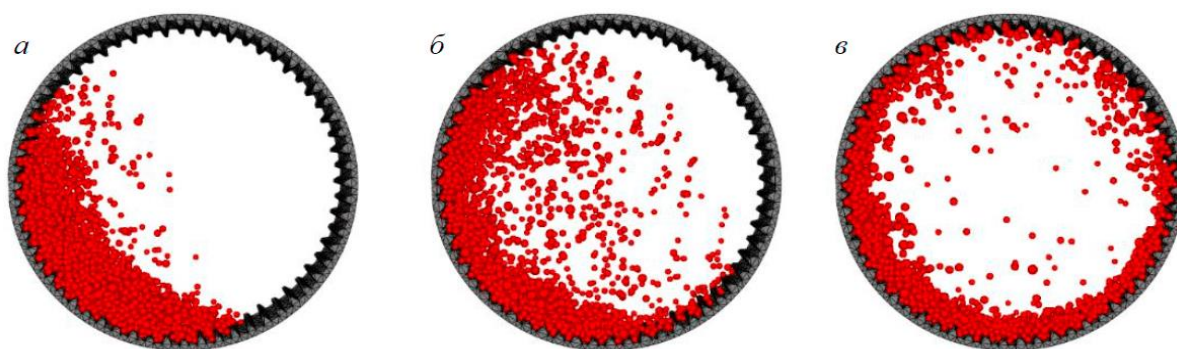
1.4 Ұнтақтау денелері бар диірмендердің (ұнтақтағыштардың) ұнтақтың майдалығына әсер ететін факторларына талдау жүргізу

Перспективалық диірмендерге (ұнтақтағыштарға) жүргізілген патенттік талдаудың негізінде дірілді-айналмалы диірмендер оңтайлы болып табылады. Шартты түрде бұл диірмендер (ұнтақтағыштар) шарлы және дірілді

диірмендерден құралған деп санауға болады. Сондықтан бұл бөлімде шарлы және дірілді диірмендердегі ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін параметрлерді зерттеген басқа авторлардың жұмыстарына талдау жүргізілген.

Шарлы диірмендерде ұнтақтау тиімділігіне әсер ететін басты параметр - барабанның айналу жиілігі, ал дірілді диірмендерде - тербеліс жиілігі мен амплитудасы. Аталған диірмен түрлерінің ортақ параметрлері - барабанның ұнтақтау шарлары және ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен толтыру дәрежесі, ұнтақтау шарларының өлшемі мен пішіні болып табылады [38, 39].

Шарлы барабанды диірмендерде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін параметрлердің бірі - ұнтақтау камерасының айналу жылдамдығы. Материалдың кесек бөлшегін ыдырату (бұзу) негізінен кинетикалық энергияның шамасымен анықталатынын есепке алсақ, онда оған едәуір дәрежеде тәуелді болатын параметр – диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыстық органының қозғалыс жылдамдығы болып табылады. Шарлы диірмендерде ұнтақтау шарларының ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын арттыру, барабанның айналу жылдамдығын жоғарылату арқылы жүзеге асырылады. Бірақ, зерттеу нәтижелері [39,б.90; 40, 41, 42] көрсеткендей, шарлы диірмендерде ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын арттыру мүмкіндігі шектеулі. Бұл барабанның айналымы “критикалық жылдамдыққа” жеткен кезде камерада пайда болатын ұнтақтау шарларының ортадан тепкіш күші олардың ауырлық күшінен артық бола бастауы себебінен камераның қабырғасына ұнтақтау шарларының “жабысып қалу” құбылысының орын алуына байланысты. Осының әсерінен ұнтақтау (ұсақтау) процесі тоқтап қалады (1.12-сурет). Оңтайлы өнімділікті әдетте диірменнің (ұнтақтағыштың) айналым жылдамдығы шамасы критикалық жылдамдықтың 70-85 % шамасымен айналу кезінде қол жеткізіледі [39,б.89].



а) каскадты; б) сарқырама; в) центрифугалы

Сурет 1.12 - Шарлы барабанды диірменнің ұнтақтау камерасындағы ұнтақтау шарларының қозғалыс режимдері [43]

Сондықтан, жоғарыда аталып өткен ұнтақтау (ұсақтау) процесі кезінде өтетін құбылыстарға байланысты, барабанның айналу жиілігін арттыру ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын жоғарылату үшін тиімсіз болып табылады.

Дірілді диірмендерде ұнтақтау (ұсақтау) энергиясы ұнтақтау камерасының тербелісі жиілігі ($100-300\text{ с}^{-1}$) және амплитудадан ($2-14\text{ мм}$) тәуелді [44, 45]. Тербеліс амплитудасы материал бөлшегіне ұнтақтау шарымен әсер ету энергиясын, ал тербеліс жиілігі материал бөлшегіне уақыт бірлігінде әсер ету санын анықтайды.

Бірақ, тербеліс амплитудасы мен жиілігі шамасын арттыру диірменнің (ұнтақтағыштың) конструктивтік элементтеріне пайда болатын жүктемеге байланысты шектеулі [46]. Оған қоса, тербеліс жиілігін арттыру, ұнтақтау шарларының материалдың кесек бөлшегіне әсер ету санын үнемі арттыруға алып келмейді.

Осыған байланысты, ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын арттыру тәсілі ретінде тербеліс амплитудасы мен жиілігі шамасын өзгертуді пайдалануда шектеулер бар деген тұжырымға келуге болады.

Ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін тағы бір параметр - ұнтақтау шарларымен камераны толтыру дәрежесі. Бұл параметр ұнтақтау шарларымен толтырылған көлемнің жалпы камера көлеміне қатынасы арқылы анықталады.

Ұнтақтау камерасы орташа деңгейде толтырылған кезде, камерада еркін кеңістіктің пайда болуы әсерінен ұнтақтау шарлары барабан айналған кезде камераны толық толтырылуына қарағанда еркін жүру жолының үлкен шамасына ие болады. Жүктеме дәрежесінің артуы кезінде, ұнтақтау шарларының еркін жолының шамасы кемиді деген болжам жасауға болады. Бұл жағдайда, шарлардың концентрация дәрежесінің ұлғаюы әсерінен олардың бір-бірімен байланыс уақыты артады. Бұл ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ысқылау (қажалу) әсерінің дәрежесін жоғарылату үшін жағдай жасайды [47].

Келесі зерттеу жұмыстарының [39,б.89] нәтижелеріне сәйкес, ұнтақтау камерасын ұнтақтау шарларымен толтыру дәрежесін 40% жоғарылату кезінде ұнтақтаудың (ұсақтаудың) жоғары тиімділігі байқалады, бірақ 40% -дан жоғары ұнтақтау шарларымен толтыру кезінде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі төмендейді. Ал келесі авторлардың [48] зерттеу жұмыстарында ұнтақтау шарларының соқтығысу жиілігі және олардың ыдырату (бұзу) энергиясы бір-біріне кері пропорционалдық сипатта екені орнатылған.

Ұнтақтау камерасын ұнтақтау шарларымен толтыру дәрежесі төмен болған кезде бір шардың екінші шармен соқтығысу ықтималдығы төмендейді (осыған байланысты, материалға әсер ету ықтималдығы төмендейді), бірақ шарлар көбірек қашықтықты өткеру арқылы жылдамдықтарын (үдеуі мен соққы энергиясын, яғни кинетикалық энергиясын арттыруға) ұлғайту үшін жағдай жасалады [49]. Бірақ, ұнтақтау шарларының өту жолының ұзағырақ болуы қосымша энергия шығынына алып келеді. Толтыру дәрежесі жоғары болған кезде шарлардың соқтығысу ықтималдығы жоғары, алайда, олар салыстырмалы аз қашықтықты өткереді. Нәтижесінде, олардың соққылы энергиясы (жылдамдық шамасының аз болу себебінен) кемиді, бірақ ысқылау (қажалу) әсерінің үлесі өседі. Осыдан, дірілді-айналмалы диірмендерді жетілдірудің тағы бір маңызды принципі туады. Бұл камераның жоғары толтыру дәрежесі жағдайында соққылы энергияны сақтап қалу мақсатында

ұнтақтау шарларының жоғары жылдамдық шамаларын алу болып табылады [47,6.24].

Келесі параметр - ұнтақтау шарларының өлшемі болып табылады. [50, 51] зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсеткендей, ұнтақтау шарларының өлшемі материал бөлшегімен тура тәуелділікте. Келесі авторлармен [51,6.80] ұнтақтау шарлары мен материал бөлшегі өлшемдерінің оңтайлы қатынасын анықтау бойынша зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде ұнтақтау шарлары мен материал бөлшегі өлшемдерінің оңтайлы қатынасы - 20:1 деп орнатылды.

[52, 53] жұмыс авторлары шарлы диірмендердегі ұнтақтау денелері пішіндерінің материал бөлшектерін ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ету сипаты зерттелді. Зерттеу жұмыстары үшін сфералық, эклипсоидты, кубты пішіндер және әр түрлі ұнтақтау денелерінің комбинациясы таңдалынып алынды (1.13-сурет).



Сурет 1.13 - Ұнтақтау денелерінің әр түрлі пішіндері [52,6.42]

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ұнтақтау денелерінің оңтайлы пішіні сфералық болып табылатынын көрсетті [52,6.46]. Шарлы емес ұнтақтау денелерінің ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін маңызды кемшіліктеріне ұнтақтау денелерінің циркуляциясының төмендеуін (нәтижесінде, ұнтақтау (ұсақтау) энергиясы төмендейді) жатқызуға болады.

Жүргізілген зерттеу жұмыстарына талдауды қорытындылай келе келесі тұжырымдарға тоқтала кетуге болады:

- шарлы диірмендерде ұнтақтау денелерінің радиалды орын ауыстыру қарқындылығы барабан айналымының критикалық жылдамдығымен (бұл кезде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі лезде төмендейді) шектелуіне байланысты, оларды жетілдірудің перспективалық бағыты ұнтақтау шарларының қозғалысын бойлық бағытта ұйымдастыру болып табылады;

- дірілді диірмен камераларының тербеліс амплитудасын ұнтақтау ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын өзгерту тәсілі ретінде реттеу диірменнің конструктивтік ерекшеліктеріне байланысты тиімді емес, бірақ камераның

көлбеу орналасуы кезінде ұнтақтау шарлары қозғалысының бойлық жылдамдығын арттыру үшін қолданылуы мүмкін.

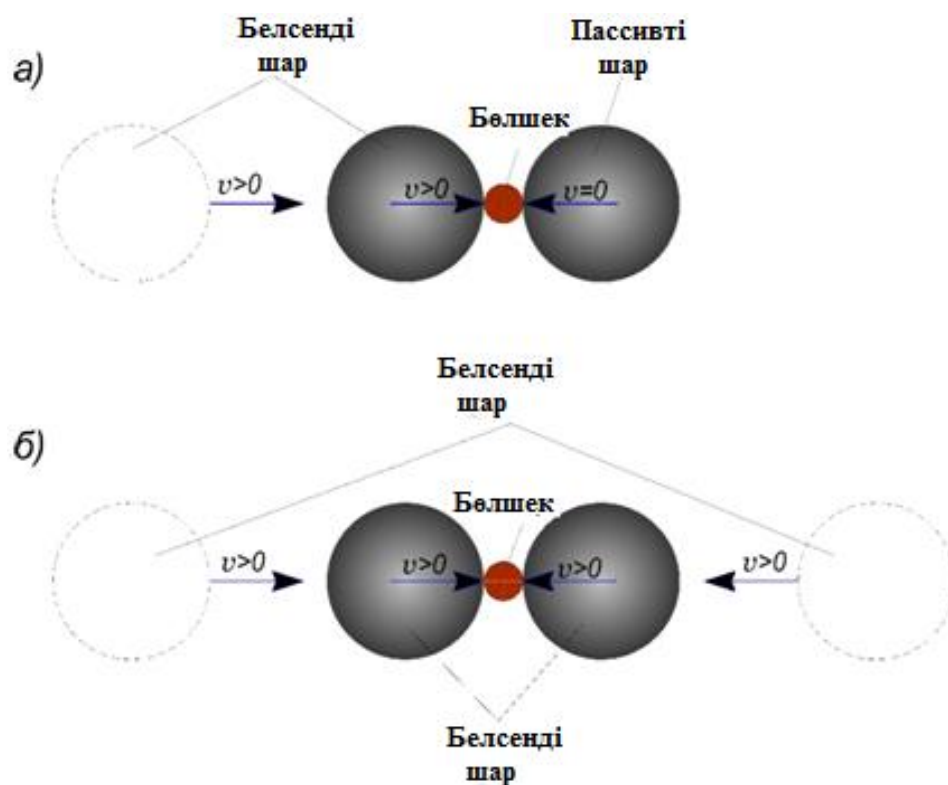
- ұнтақтау шарларының соқтығысу ықтималдығын жоғарылату мақсатында шарлардың берілген траектория бойынша ұйымдастырылған қозғалысын қамтамасыз ету қажет;

- ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектері өлшемдерінің ұсынылатын оңтайлы ара қатынасы - 20:1;

- ұнтақтау денелерінің ең оңтайлы пішіні - сфералық (шарлар) болып табылады.

1.5 Майдалап ұнтақтау диірменінің (ұнтақтағышының) жаңа конструкциясы

Қолданыстағы диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкцияларына талдаудың нәтижелері көрсеткендей, диірмендерді (ұнтақтағыштарды) жетілдіруде перспективалық принцип - ұнтақтау шарларының қарсы қозғалысын қамтамасыз ету болып табылады. Бұл принциптің сұлбасы 1.14-суретте көрсетілген.



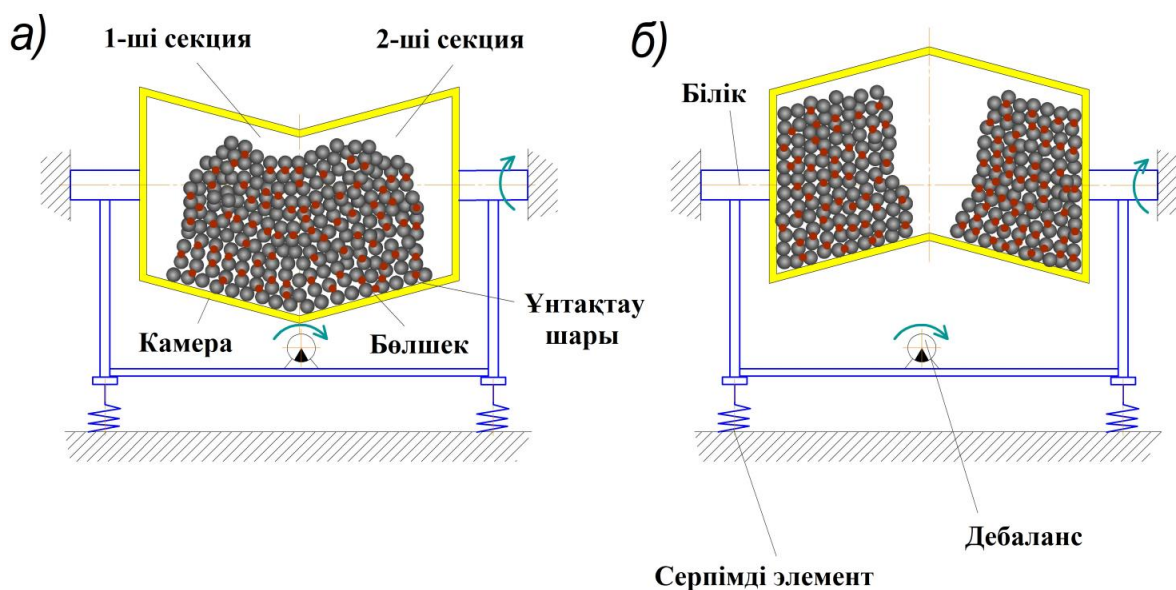
а) белгілі принцип; б) ұсынылатын принцип

Сурет 1.14 - Ұнтақтау шарларымен материалдың кесек бөлшегін ұсақтау принциптері [54]

1.14а-суретте белгілі диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкцияларындағы (мысалы, шарлы, дірілді, бисерлі диірмендер)

материалдың кесек бөлшегін ыдырату (бұзу) принципі көрсетілген. 1.14а-суреттегі сұлбаға сәйкес, ұнтақтау шарлары бөлшекпен өзара әрекеттесу мезетінде шардың біреуі бөлшекке белсенді әсер береді, өйткені соқтығысуға дейінгі оның жылдамдығы нөлден жоғары (белсенді шар). Ал екінші шар - пассивті әсер береді, өйткені соқтығысуға дейінгі оның бөлшекке бағытталған жылдамдығы нөлге тең және бұл шар тірек рөлін орындайды (пассивті шар). Осыған сәйкес, қолданыстағы диірмен (ұнтақтағыш) конструкцияларында материалдың кесек бөлшегіне «біржақты әсер» ұйымдастырылады («белсенді шар - пассивті шар» сұлбасы) [55]. Бұл жағдайда бөлшек ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын бір шар (белсенді шар) жақтан ғана қабылдайды. Ұсынылатын принциптің мәні 1.14б-суретте көрсетілген. Оған сәйкес, ұнтақтау шарларымен материалдың кесек бөлшегін ұнтақтаудың (ұсақтаудың) тиімділігін арттыру идеясы - бөлшекке ұнтақтау шарларымен екі жақты (қарсы) әсер етуді ұйымдастыру («белсенді шар – белсенді шар» сұлбасы) арқылы шарлардың бөлшекке әсер берудің жалпы жылдамдығын (яғни, жалпы ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын) арттыруды қамтамасыз етуге негізделген [54,6.72].

Ұсынылып отырған принципті жүзеге асыру үшін және оның тиімділігін тексеру мақсатында V-тәріздес пішіні бар ұнтақтау камерасынан, ұнтақтау шарларынан, камераны айналдыру үшін электр моторынан және дірілді жетектен тұратын диірменнің конструкциясы жасалды (1.15-сурет).



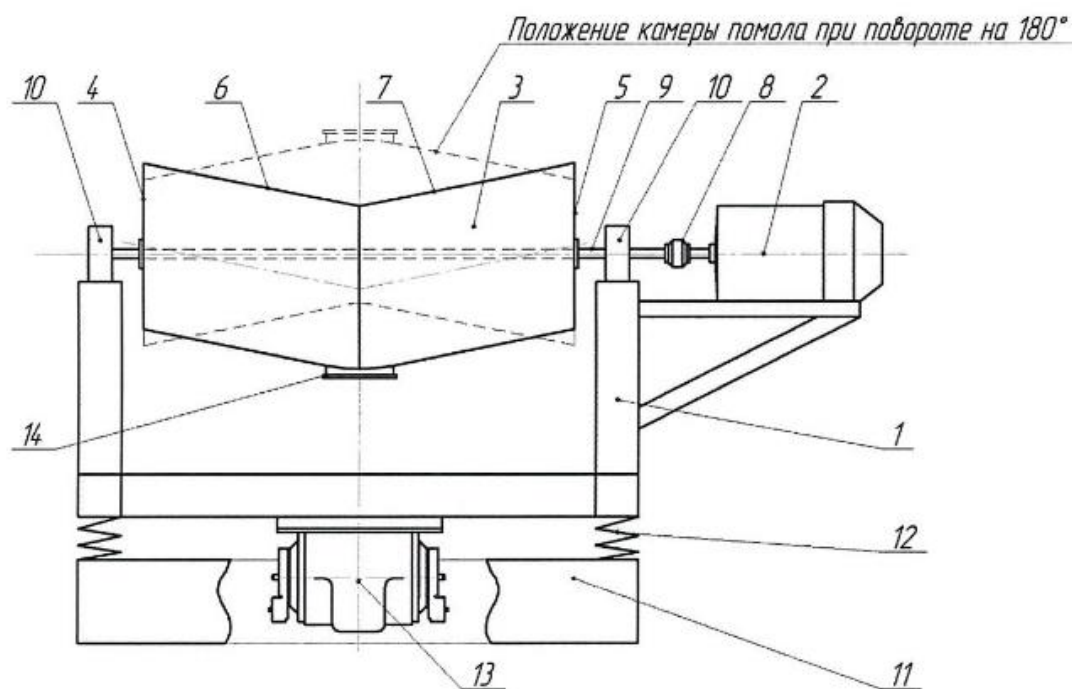
- а) ұнтақтау шарларының қарсы соқтығысу мезетіндегі камераның орналасуы; б) ұнтақтау шарларының қарсы соқтығысуына дейінгі камераның орналасуы

Сурет 1.15 - Жаңа ұнтақтау (ұсақтау) принципін жүзеге асыру үшін диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясының сұлбалары [54,6.73]

Камераның V-тәріздес пішіні ұнтақтау камерасына жүктелген ұнтақтау шарларын екі секцияға (1-ші секция және 2-ші секция) үлестіруге мүмкіндік береді (1.15-сурет). 1.15а-суретіне сәйкес камераның орналасуы кезінде

секцияның көлденең оське қатысты көлбеу бұрышы әсерінен бойлық орын ауыстыру (корпус бойымен) қамтамасыз етіледі. Бұл ұнтақтау шарларының қарсы соқтығысуына алып келеді, және бөлшекке екі жақты әсерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. 1.15б-суретінде көрсетілген камераның орналасуы кезінде ұнтақтау шарлары бойлық орын ауыстыру кезінде камераның шетжақ қабырғасына домаланады. Бұл жағдайда шетжақ қабырғамен соқтығысқан кезде материалдың кесек бөлшегіне бір жақты әсер жүзеге асырылады. Ұнтақтау шарларының қарсы қозғалыс жылдамдығын арттыру үшін, диірмен (ұнтақтағыш) сұлбасында (1.15-сурет) тігінен бағытында камераның ілгерімелі-қайтармалы қозғалысын қамтамасыз ететін дірілді жетек қарастырылған. Ұнтақтау шарларының қарсы қозғалыс жылдамдығын арттыру ұнтақтау шарларының тербелісінің тігінен бағыттағы жылдамдығын шар қозғалысының көлбеу сызығына проекциялау нәтижесінде жүзеге асырылады [54,6.73].

Ұсынылған диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясына (1.16-сурет) пайдалы модельге ҚР патенті алынды [56].



Сурет 1.16 - Материалдарды майдалап ұнтақтауға арналған құрылғы [56,б.4]

Төменде, ұсынылып отырған диірменнің (ұнтақтағыштың) негізгі параметрлері көрсетілген, олардың мәндері алдағы зерттеу нәтижелері арқылы орнатылады:

- ұнтақтау камерасының диаметрі - D_k , мм;
- камера секциясының биіктігі - H , мм;
- бөлшек диаметрі - d_6 , мкм;
- ұнтақтау шарларының диаметрі - $d_{ш}$, мм;

- ұнтақтау камерасын ұнтақтау шарларымен толтыру дәрежесі - $\varphi_{ш}$;
- ұнтақтау камерасын ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен толтыру дәрежесі - φ_m ;
- ұнтақтау камерасының айналу жиілігі - n_k , айн/мин;
- ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы - A , мм;
- көлденең оське камера секциясының көлбеу бұрышы - α ;
- дебалансты біліктің айналу жиілігі - n_o , айн/мин;
- диірменнің (ұнтақтағыштың) қуаты - P , Вт.

1.6 Бірінші тарау бойынша қорытынды

1) Әр түрлі диірмендердің (ұнтақтағыштардың) түрлерін талдаудың негізінде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін едәуір арттыруды қамтамасыз ететін ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың негізгі тәсілдері анықталды: жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы; энергияны механикалық түрде жеткізу; ұнтақтау денелерін(шар) қолдану; ұнтақтау материалына соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін беру; ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы; ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы.

2) Материалдың кесек бөлшегін ыдырату(бұзу) әсері соққылы-ысқылауға (қажалу) негізделетін майдалап ұнтақтайтын қолданыстағы диірмендердің (ұнтақтағыштардың) конструкциялары талданды.

3) Классикалық шарлы, бисерлі және дірілді диірмендерде келесі ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдер жүзеге асырылмайтыны анықталды: жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы; ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы және ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы.

4) Шарлы және дірілді диірмендер конструкцияларына патенттік талдауы негізінде ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы тәсілінен басқа ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдері жүзеге асырылатыны анықталды.

5) Шарлы диірмендерді жетілдірудің перспективті бағыты - ұнтақтау шарлары қозғалысын бойлық бағытта ұйымдастыру болып табылады. Өйткені, ұнтақтау шарларының радиалды орын ауыстыру қарқындылығы барабан айналысының шектік жылдамдығымен шектеулі (нәтижесінде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі лезде кемиді).

6) Дірілді диірмен камерасының тербеліс амплитудасын ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын өзгерту тәсілі ретінде реттеу диірменнің конструкциялық ерекшеліктеріне байланысты тиімсіз болып табылады. Бірақ, тербеліс амплитудасы камераның көлбеу бұрышпен орналасу жағдайында ұнтақтау шарларының бойлық қозғалыс жылдамдығын арттыру үшін қолданылуы мүмкін.

7) Ұнтақтау шарларының соқтығысу ықтималдығын арттыру мақсатында ұнтақтау шарларының берілген траектория бойынша ұйымдастырылған қозғалысын қамтамасыз ету қажет.

8) Майдалап және аса майдалап ұнтақтау үшін ұнтақтау шарлары мен ұнтақтау материалының кесек бөлшегінің оңтайлы ара қатынасы - 20:1.

9) Ұнтақтау (ұсақтау) процесі кезінде шар тәріздес пішінді ұнтақтау шарларын қолданған тиімдірек

10) Материалдың кесек бөлшегіне ұнтақтау шарларымен екі жақты (қарсы) әсер етуді ұйымдастыру («белсенді шар – белсенді шар» сұлбасы) арқылы шарлардың бөлшекке әсер берудің жалпы жылдамдығын (яғни, жалпы ұнтақтау (ұсақтау) энергиясын) арттыруды қамтамасыз етуге негізделген ұнтақтау шарларымен материалдың кесек бөлшегін ұнтақтаудың (ұсақтаудың) тиімділігін арттыру идеясы ұсынылды.

11) Біріншіден, ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерінің барлығын жүзеге асыратын, екіншіден, қолданыстағы диірмендерден (ұнтақтағыштардан) ұнтақтау шарларымен материалдың кесек бөлшегіне екі жақты (қарсы) әсер беруді (ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін қосымша арттыруы тиіс) қамтамасыз ететін ұнтақтау (ұсақтау) принципімен айрықшаланатын диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясы ұсынылып отыр.

2 ЖАҢА ДИПРМЕННІҢ (ҰНТАҚТАҒЫШТЫҢ) ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

2.1 Ұнтақтау (ұсақтау) теорияларына шолу

Ұнтақтау (ұсақтау) процесін теориялық сипаттау кезінде материал бөлшектерінің өлшемдері өзгерген жағдайда, оның беріктік сипаттамалары да өзгеретіндігі ескеріледі және оның басты міндеті - ұнтақтауға (ұсақтауға) кететін жұмыс (яғни, ұнтақтауға (ұсақтауға) жұмсалатын энергия) пен материал бөлшектерінің өлшемі арасындағы аналитикалық тәуелділікті анықтау болып табылады. Ұнтақтау (ұсақтау) теорияларына жүргізілген шолу келесі классикалық негізгі ұнтақтау (ұсақтау) теориялары бар екені анықталды.

П. Риттингер 1867 жылы алғаш рет материалды ұнтақтауға (ұсақтауға) жұмсалатын жұмыс жаңа түзілген бетке пропорционалды екендігі туралы болжам жасады [57].

$$A_w = K \Delta S \quad (2.1)$$

мұндағы K - пропорционалдылық коэффициенті;
 ΔS - беттің өсімі.

Бұл теориясына бойынша материалдың ұнтақтау (ұсақтау) дәрежесінің өсуімен қатар ұнтақтауға (ұсақтауға) кететін жұмыстың (энергияның) шамасы артады. Риттингердің ұсынған өрнегі біріншіден, материалдың бұзылу беті бойынша молекулалардың ажырау күшін анықтауға мүмкіндік берсе, екіншіден, жарықшалардың пайда болуына тікелей әсер ететін материалдың серпімді деформациясын елемейді [58].

Бұл болжамның (беттік теорияның) практикалық мәні аса үлкен емес, өйткені пропорционалдық коэффициенттің мәнін анықтау қиынға соғады. Риттингердің беттік теориясы ұнтақтау (ұсақтау) кезінде пішіннің өзгеруін елемейді, сондықтан ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың өлшемі ірі болатын ұсату процесін сипаттауға мүмкіндік бермейді [57,6.7; 59].

Ф.Кик және П.Кирпичев 1874 жылы геометриялық ұқсас және біртекті денелердің пішіндері бірдей өзгеруі үшін жұмсалатын жұмыс (немесе энергия) бұл денелердің көлеміне немесе массаларына пропорционалды деген болжамды ұсынды [57,6.7]

$$A_w = K_1 \Delta V, \quad (2.2)$$

мұндағы K_1 – пропорционалдылық коэффициенті;
 ΔV – көлемнің өсімі.

Серпімділік теориясы бойынша деформацияның жұмысы [57,6.7]

$$A_{def} = \sigma^2 V_{def} / (2E), \quad (2.3)$$

мұндағы σ – кернеу;

$V_{\text{деф}}$ – деформацияланатын дене көлемі;

E – серпімділік модулі.

Материалдың бұзылуына дейін $K_1 = \sigma^2 / (2E)$ болады деп болжаса, онда деформацияға жұмсалатын жұмыс бұзу жұмысына сәйкес болады. Бұл болжам екі ғалымның атымен Кик-Кирпичев заңы деп аталады. Бұл заң бойынша жұмыстың (энергияның) негізгі бөлігі материалдың деформациясына жұмсалып, ірі және орташа ұсату үшін қолданылады [57,6.7].

Кик-Кирпичев ұсынған формуланың кемшілігі - ұнтақтау (ұсақтау) дәрежесінің ескерілмеуінде.

Аталған екі теориялардың болжамдары бойынша, олар материалды ұнтақтау (ұсақтау) кезіндегі барлық процестерді ескермейді. Киктің теориясы жаңа түзілетін беттерге жұмсалатын жұмысты (энергияны) ескермесе, Риттенгер теориясы ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың серпімді деформациясына кететін жұмысты (энергияны) есепке алмайды. Ал нақты материалды ұнтақтау (ұсақтау) кезінде бұл аталып өткен процестер қатарымен жүреді.

П. Ребиндер 1940 жылы ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың жаңа түзілетін беттеріне (энергияны) және серпімді деформацияға жұмсалатын жұмыстарды біріктіретін формуласын ұсынды [57,6.7; 60].

$$A_w = K_2 \Delta V + K_3 \Delta S, \quad (2.4)$$

мұндағы K_2, K_3 - пропорционалдылық коэффициенттері;

ΔV - көлемнің өсімі.

ΔS - беттің өсімі.

Бұл формула пропорционалдық коэффициенттердің мәндерін таңдау бойынша ұсыныстарының жоқтығы әсерінен тәжірибе жүзінде қолданыс таппады.

Ф.Бонд 1950 жылы ұнтақтау (ұсақтау) үшін жұмсалатын жұмыс (энергия) көлем мен беттің арасындағы орташа геометриялық параметрдің өсіміне пропорционалды деген болжамды ұсынады [57,6.8]

$$A_w = K_4 \left(\frac{1}{\sqrt{d_{\text{opt}}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{\text{opt}}}} \right) Q, \quad (2.5)$$

мұндағы K_4 - пропорционалдылық коэффициенті;

$D_{\text{opt}}, d_{\text{opt}}$ - ұнтақтауға (ұсақтауға) дейін және ұнтақтаудан (ұсақтаудан) кейінгі материал бөлшегінің орташа өлшемі;

Q - материал саны.

А. К. Рундквист жоғарыдағы Ф.Бондтың формуласын түрлендіріп, жалпылама өрнегін ұсынды [57,б.8]

$$A = K_5 \frac{i^{n-1} - 1}{D_{opt}^{n-1}} Q \quad (2.6)$$

мұндағы K_5 - пропорционалдылық коэффициенті;

i - ұнтақтау (ұсақтау) дәрежесі;

n - дәреженің көрсеткіші.

Өрнекте дәреже көрсеткіштерін $n=2$, $n=1.5$ және $n=1$ деп қабылдап, сәйкесінше П. Риттингер, Ф.Бонд және Кирпичев-Кик заңдары үшін өрнек алуға болады. Ұнтақтау (ұсақтау) процесін математикалық сипаттау қиын болғандықтан, қолданыстағы теорияларды жетілдіру және жаңа формулаларды есептеп шығару бойынша жұмыстар жүргізілуде [57,б.8].

Аталып кеткен теориялық болжамдар (ұсақтау) процесін, әсіресе сандық сипаттау жағынан тәжірибе жүзінде кеңінен қолданыс тапқан жоқ. Сондықтан, ұсақтау үрдісін сандық жағынан сипаттауға жақындататын жаңа ұсақтау теориясын әзірлеу қажет.

2.2 Жаңа диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау (ұсақтау) процесінің қолданбалы механикалық-математикалық моделін жасау

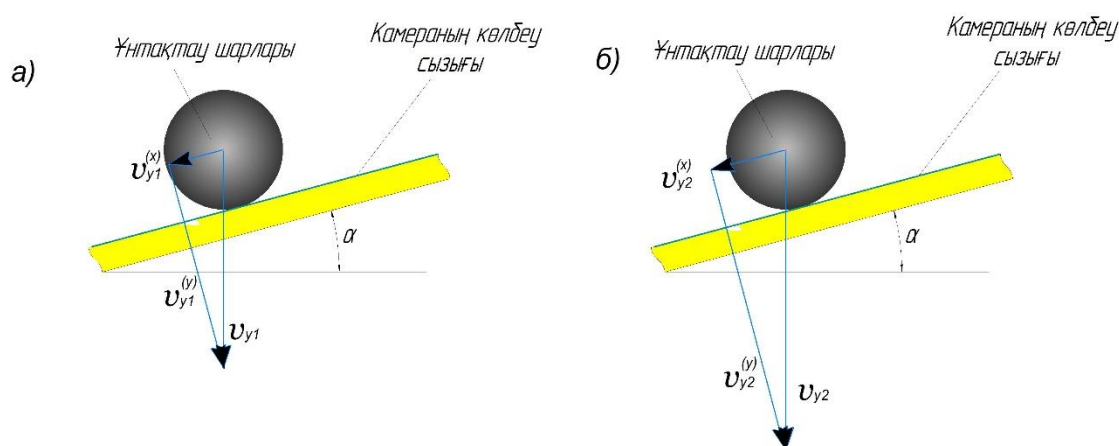
Диссертацияның бұл бөлімі ұнтақтың теориялық майдалығын анықтауға арналған. Ол үшін ұсынылып отырған жаңа диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясының қолданбалы механикалық-математикалық моделін жасау қажет. Бұл модельдің негізінде - материалдың кесек бөлігін ыдырату (бұзу) энергиясын есептеу үшін тәуелділіктерді анықтау. Аталған энергияны басым түрде ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы анықтайтындықтан, келесі бөлімшеде аталған жылдамдықты есептеп шығару үшін тәуелділіктер анықталатын болады.

2.2.1 Ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығын анықтау

V-тәріздес камераның бір біріне қатысты секцияларының орналасу симметриялығын есепке ала отырып, 2.1-суретте көрсетілген камераның орналасу жағдайында ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығын v_x бірдей деп қабылдауға болады.

Бойлық орын ауыстыру кезінде ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы v_x ауырлық күшінің $v_{y1}^{(x)}$ (2.1а-сурет) және камераның дірілді қозғалысы (тік бағытта әрекет ететін) $v_{y2}^{(x)}$ (2.1б-сурет) әсерлерінен шарлардың қозғалыс жылдамдықтарының көлбеу сызыққа проекцияларының қосындысы арқылы табылады, яғни

$$v_x = v_{y1}^{(x)} + v_{y2}^{(x)} \quad (2.7)$$



- а) ауырлық күші әсерінен ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы; б) дірілді күштің әсерінен ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы

Сурет 2.1 - Камераның көлбеу сызығына ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығының проекцияларын анықтау [54,6.73; 61]

Камераның көлбеу сызығына ауырлық күші әсерінен туындайтын ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығының проекциясын келесі формуламен анықталады [54,6.74; 61,6.44]

$$v_{y1}^{(x)} = v_{y1} \cdot \sin \alpha \quad (2.8)$$

(2.8) формуласындағы ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы v_{y1} келесідей анықталады [54,6.74; 61,6.44]

$$v_{y1} = gt_u, \quad (2.9)$$

мұндағы g - ұнтақтау шарларының еркін құлау үдеуі, м/с²;

t_u - ұнтақтау шарларының қозғалыс уақыты, с.

(2.9) формуласын есепке алсақ, ауырлық күшінің әсерінен туындайтын ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығының $v_{y1}^{(x)}$ мәні келесі түрде болады [54,6.74]

$$v_{y1}^{(x)} = gt_y \cdot \sin \alpha \quad (2.10)$$

(2.10) өрнегі тек ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығының құраушысын сипаттайды. Бірақ, бұл қозғалыстың мақсатын қарастыра отырып, шарлардың соқтығысу қарқындылығын сипаттайтын жылдамдық құраушысын

есепке алу қажеттілігі туындайды. Онда, (2.10) формуласындағы жылдамдықты көлденең оське проекциялау арқылы ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығын анықтауға арналған формуланы аламыз [54,6.74]

$$v_{y1}^{(x)} = g t_y \cdot \sin \alpha \cos \alpha \quad (2.11)$$

t_{ω} уақыты $\Delta\varphi = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$ бұрышына δ бұрыштық айналым жиілігі бар камераның бұрылу уақытымен t_φ (бұл жағдайда радиалды бағытта ұнтақтау шарларының қозғалысының тоқталуы орын алады) анықталады

$$t_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\delta} = \frac{15}{n} \quad (2.12)$$

Онда, (2.12) формуласын ескеріп, камераның көлбеуі әсерінен ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығы келесі формуламен анықталады [54,6.74]

$$v_{y1}^{(x)} = \frac{15g}{n} \cdot \sin \alpha \cos \alpha \quad (2.13)$$

Камераның дірілді тербелісі әсерінен туындайтын ұнтақтау шарларының максималды қозғалыс жылдамдығының камераның көлбеу сызығына проекциясы камераның тербеліс теңдеуінің математикалық өрнегінің $y = A \cos \omega t_y$ (A - тербеліс амплитудасы, ω - тербеліс жиілігі, t_y - тербеліс уақыты) бірінші туындысынан анықталады [62]

$$v_{y2}^x = \frac{dy}{dt_y} \sin \alpha = A \omega \sin \alpha \cos \alpha \quad (2.14)$$

Онда (2.7) формулаға сәйкес

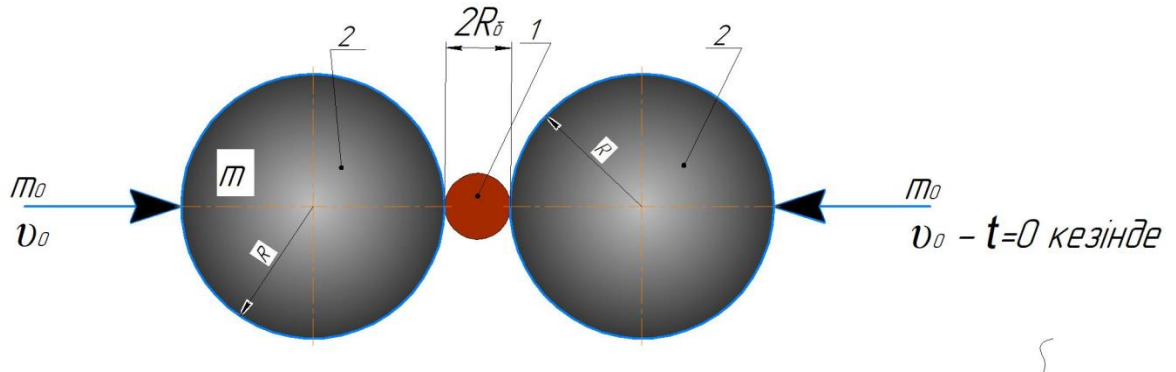
$$v_x = \left(\frac{15g}{n} + A \omega \right) \sin \alpha \cos \alpha \quad (2.15)$$

Осылайша, ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығын анықтау үшін жалпы формула табылды [54,6.74; 61,6.44].

2.2.2 Ұнтақтау жіңішкелігін (майдалығын) теориялық анықтау

Ұнтақтау жіңішкелігін (майдалығын) теориялық анықтаудың механикалық-математикалық моделін жасау мақсатында [55,6.279] авторларының моделі қолданылды. Материал бөлшектеріне екіжақты бұзу әрекетінің тиімділігін бағалау үшін радиусы R_6 [63] болатын ұсақталатын мортты (сынғыш) материалдың бөлшектерінің үлкен радиусты $R \gg R_6$ және массасы m болатын шар тәріздес абсолютті қатты денелермен соқтығысуына негізделген салмақсыз сфералық моделінің ұнтақтау (ұсақтау) процесін

қарастырамыз (2.2-сурет). 2.2-суретте көрсетілген механикалық жүйеге m_0 -дің m -ге қосылуына дейін $t=0$ уақыттың бастапқы сәтінде v_0 берілген жылдамдығы бар қандай да бір сыртқы теңгеруші m_0 массалары қарама қарсы бағытта әрекет етеді [55,6.280; 64]



Сурет 2.2 - Ыдыратылатын (бұзылатын) бөлшек «1» пен ұнтақтау шарларының «2» бір-бірімен өзара әрекеттесуінің жалпы есептік-конструктивті моделі [54,6.74; 55,6.280; 64,6.773]

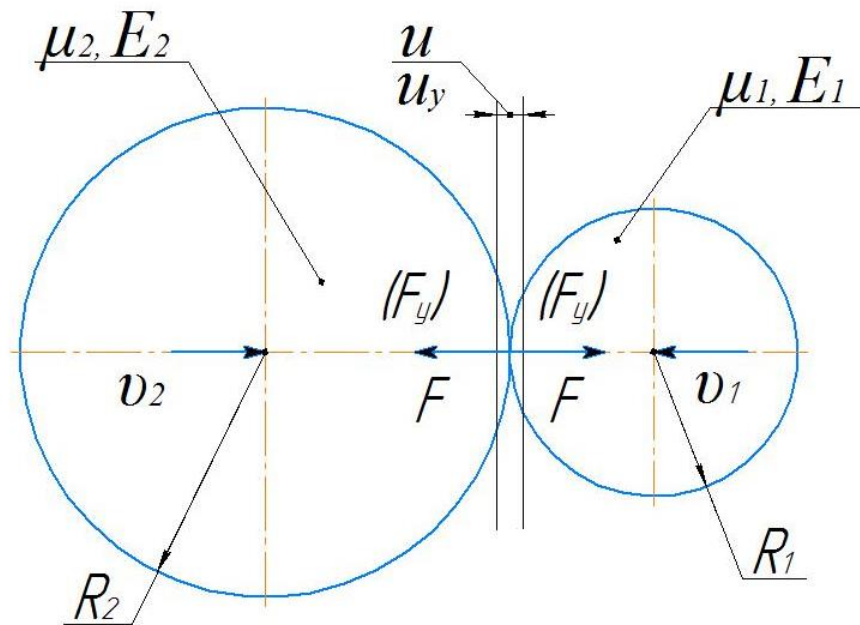
Математикалық модель негізінде екі шардың нүктелік түйісуінен кейін жылдамдықтары v_1 және v_2 болатын, оған қоса олардың центрлерін қосатын ось бойымен қозғалып, соққылы-күштік байланысқа түсуі бойынша тұтас қатты орта механикасының конструктивті-сызықты [65] емес есебінің шекті дербес оқиғасы [66] жатыр [67, 68, 69]. Бұның негізінде $v_1 = v_2 = 0$ болғанда, сфералық денелердің арасында пайда болатын F реактивті статикалық жүктеме жайлы классикалық аналитикалық Герц-Штаерман тәуелділігі (2.3-сурет) [68,6.10; 70]

$$F = \frac{4}{3} \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \cdot \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot u^{\frac{3}{2}}, \quad (2.16)$$

мұндағы R_1, R_2 - шарлардың радиустары;

u - өзара байланысқа түсетін денелердің жергілікті (контакттілі) деформацияларының нәтижесіндегі жақындасуы

μ_1, μ_2, E_1, E_2 - сәйкесінше, Пуассон коэффициенттері және өзара байланысқа түсетін материалдардың серпімділік модулі.



Сурет 2.3 - Герц бойынша шар тәріздес элементтердің соқтығысуының классикалық сұлбасы [55,б.280; 68 б.11]

Ұнтақтау шарларының деформацияланбайтындығын, оған қоса 2.3-суреттегі сұлбаның симметриялығы мен әріптік белгілеулерді ескере отырып, формуланы (2.16) ықшамдалған жинақты түрге келтіреміз [55,б.281]

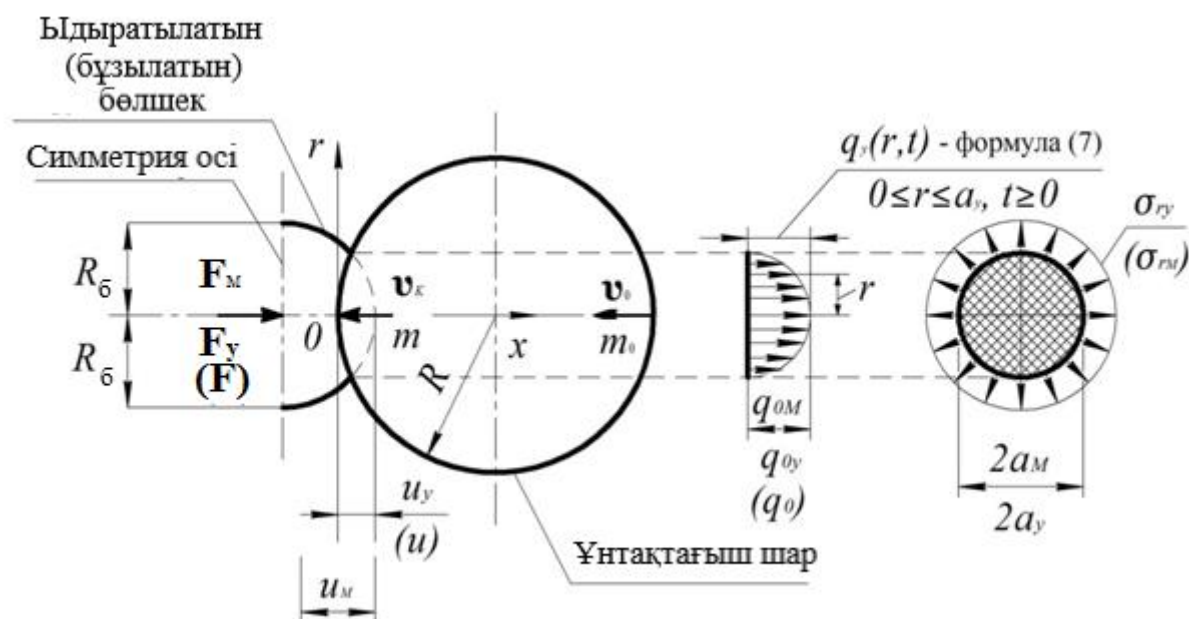
$$F = \frac{4E}{3 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{R_0 \cdot R}{R_0 + R} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot u^{\frac{3}{2}}, \quad (2.17)$$

келесі алмастыруларды орындағаннан кейін

$$R_1 = R_0, R_2 = R, \mu_1 = \mu, E_1 = E, E_2 = \infty, \quad (2.18)$$

мұндағы μ , E - ұнтақталатын (ұсақталатын) бөлшектің серпімді тұрақтылары.

2.4-суретте (2.17) формуласы мен 2.2-суретте көрсетілген модельге негізделген, алға қойылған серпімділік теориясының динамикалық контактілі есебін шешуге бейімделген ұнтақтау (ұсақтау) процесінің нақтыланған сұлбасы берілген[55,б.281]



Сурет 2.4 - Шарлардың соқтығысуының нақтыланған моделі [55,б.281]

Қарастырылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) теориясының негізінде қозғалыстағы жылдамдығы v_0 массаларының m_0 кинетикалық энергиясының өзгеруі туралы теореманы, (2.17) формуланы және келесі классикалық алғышарттарды қолданамыз [71, 72]:

а) ұнтақталатын (ұсақталатын) бөлшектің материалы изотропты, біртекті, тұтас және физикалық тұрғыдан сызықты, яғни Гук заңына бағынады [73], ал оның беріктік қасиеттері сығымдау σ_{ec} және созылу $\sigma_{ep} \ll \sigma_{ec}$ кезінде әр түрлі уақытша кедергілері бар мортты (сынғыш) кернеулі күйге сәйкес келеді, сонымен қатар бұл қасиет құм тас, гранитке және т.б. тән [55,б.281; 74, 75];

б) соқтығысатын беттер тегіс болады деп болжамдалған [55,б.281];

в) қалпына келтіру коэффициенті нөлге тең кезінде соққы серпімді емес болып саналады [55,б.281; 76];

г) F , $F_y = F_y(t)$ күштері және u , $u_y = u_y(t)$ орын ауыстырулары арасындағы аналитикалық қатынастардың сипаты статикалық F және динамикалық $F_y(t)$ күштер кезінде өзгеріссіз қалады, яғни (2.4-сурет)

$$F_y = F_y(t) = \frac{4E}{3 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{R_6 \cdot R}{R_6 + R} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot u_y^{\frac{3}{2}}, \quad (2.19)$$

Ал $F = F(u)$ стационарлы функциясы (2.17) формуламен өрнектеледі;

д) ұнтақталатын (ұсақталатын) заттың физико-механикалық сипаты μ , E динамикалық жүктеу жағдайында тұрақты болады, және де бұл соқтығысу жылдамдықтары $v_0 \leq 100 \frac{M}{c}$ үшін мүмкін [55,б.281];

е) қозғалып келе жатқан шарда соқтығысу кезінде пайда болатын діріл мен тербелістер соқтығысу ұзақтығына t_y және материалдағы кернеу шамасына елеулі әсер етпейтіні орнатылды [55,6.281];

ж) соққы импульсінің белсенді фазасының аяқталу уақыты $t_M = 0,5t_y$ (2.5-сурет) ең үлкен абсолютті динамикалық деформацияның моментіне сай $u_M = u_y(t_M)$ (2.4-сурет) [71,6.69], және келесі жылдамдыққа сәйкес келеді [55,6.281]

$$v = v(t_M) = \left[\frac{du_y}{dt} \right]_{t=t_M} = 0 \quad (2.20)$$

$m_0 + m$ суммалық массасының орын ауыстыруы, басқаша айтқанда, $t = t_M$ жағдайындағы соққының реактивті бойлық күші [55,6.281]

$$F_y(t_M) = F_M = \max, \quad (2.21)$$

$t \geq t_y$ кезінде контактілі қысымның $q_y = q_y(r, t)$ эллипстік функциясының тең әсерлі күші $F_y = F_y(t)$ [55,6.281; 77]

$$q_y = q_y(r, t) = q_0 \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a_y} \right)^2}, \quad 0 \leq r \leq a_y, \quad 0 \leq t \leq t_y, \quad (2.22)$$

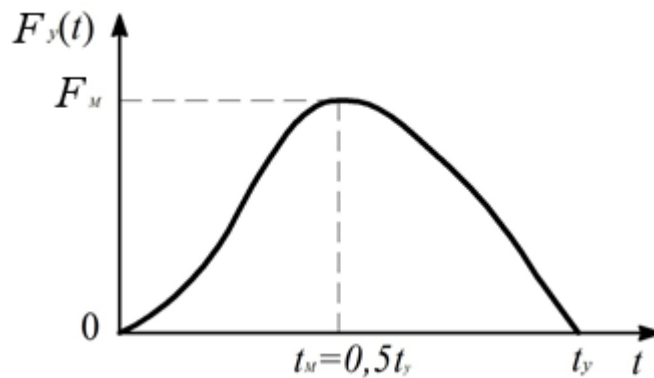
экстремуммен [55,6.281]

$$q_{Oy} = q_{Oy}(0, t) = \frac{3F_y}{2\pi a_y^2} \quad (2.23)$$

2.4 суретте штрихталған шеңберлі алаңшаның ортасында $r = 0$ радиус [55,6.282]

$$a_y \ll R_\sigma, \Rightarrow u_y \ll R_\sigma, \quad (2.24)$$

нөлге тең болады ($F_y(t) = 0$, $t \geq t_y$, 2.5-сурет);



Сурет 2.5 - Соққылы-күштік импульс графигінің жалпыланған түрі [55,б.281]

з) бөлшектің өз салмағын G_6 ұнтақтау (ұсақтау) шарының салмақтық құраушысымен $G \gg G_6$ салыстырғанда еленбейтін шама ретінде қабылдаймыз ($R \gg R_6$ кезінде) [55,б.282];

и) бұзылатын материалдың кернеулі жағдайын математикалық аппроксимация үрдісі кезінде тек жергілікті (контактілі) деформациялары есепке алынады, және де бұған жол берілу жалпы қабылданған қазіргі кездегі көзқарас бойынша сфералық модельдерге қолданылуы себебінен негізделген (2.2-2.4-суреттер) [55,б.282];

к) [78] сәйкес мортты (сынғыш) заттан тұратын ұнтақталатын (ұсақталатын) бөлшектің шарлы есептік сұлбасының ортақ көтеруші қабілетін бағалау кезінде айқындаушы факторы ең үлкен басты σ_1 созғыш кернеу болып табылады [55,б.282]

$$\sigma_{ry} \equiv \sigma_1 = \frac{1-2\mu}{3} q_{0y}, \quad 0 \leq t \leq t_M, \quad (2.25)$$

және де ол радиусы $r = a_y$ болатын байланыс бетінің шеңберлі шекарасында радиалды бағытта әрекет етеді (2.4-сурет) [55,б.282].

Есептеуді жалғастыра отырып, шар тәріздес ұнтақтау денелері мен бөлшектің сфералық бетінің нүктелік түйісу кезіндегі $t = 0$ уақыт моментінде v_K жылдамдықты табамыз. Ол үшін в) алғышартына сәйкес серпімді емес соққы үшін өзара әрекеттесетін денелердің соққыға дейін және одан кейінгі қозғалыс санының тең болу теоремасын қолданамыз [55,б.282]:

$$m_0 v_0 = (m_0 + m) \cdot v_K, \quad (2.26)$$

осыдан

$$v_K = \frac{m_0}{m_0 + m} \cdot v_0 = \frac{\frac{F}{g} v_0}{\frac{F}{g} + \frac{G}{g}} = \frac{v_0}{1 + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3}{3F}}, \quad (2.27)$$

мұндағы $F \equiv F_H$ - $v_0 = 0$ болғанда, F_H ұнтақтау (ұсақтау) күшіне тепе-тең, ізделіп отырған сыртқы статикалық жүктемелі параметр;

γ_c , V , G - сәйкесінше, тығыздық, көлем [79] және болатты ұнтақтағыш (ұсақтағыш) шардың салмағы (2.4-сурет) [55,б.282]:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_c &= 0,00000785 \left(\frac{\text{кг}}{\text{мм}^3} \right) \cdot 9,81 = 7,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}, \\ V &= \frac{4}{3} \pi R^3, G = \gamma_c \cdot V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \gamma_c \cdot R^3; \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

мұндағы $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9810 \frac{\text{мм}}{\text{с}^2}$ - ауырлық күшінің үдеуі.

Максималды жақындасуды $u_M = u_y(t_M)$ анықтау (2.5-сурет) механикалық энергияның сақталу заңына негізделген белгілі Рейль-Юнг тәсілін [80, 81] қолданамыз [55,б.282]

$$K + U = \text{const}, \quad (2.29)$$

мұндағы $K = K(t)$ - $2 \cdot (m_0 + m)$ массасынан (2.29) өрнектің кинетикалық құраушысы;

$U = U(t)$ - ыдыратылатын (бұзылатын) бөлшектің $u_y = u_y(t)$ жергілікті деформацияларының потенциалды энергиясы (2.4-сурет).

$t = 0$ тепе-теңдік мезетінде $U(0) = 0$ компоненті нөлге тең, ал жылдамдығы $v(0) = v_K = \max$, демек кинетикалық энергиясы да $K(0) = K_{\max}$. $t = t_M$ кезінде (сурет 2.6) өзара әрекеттесетін шарлар жүйесі сол және оң жақтан экстремалды орын ауыстырулар $u_M = u_y(t_M) = \max$ алады, және оған сәйкес $v(t_M) = 0$, $K(t_M) = 0$ болғанда, екі еселенген потенциалдық энергияға $U(t_M) = U_{\max}$ ие болады. Сондықтан $t = 0$ және $t = t_M$ уақыттарының шектік мәндері үшін (2.29) шартын келесідей жазуға болады [55,б.282]

$$K_{\max} + 0 = \text{const} \quad (2.30)$$

немесе

$$0 + U_{\max} = \text{const}, \quad (2.31)$$

осыдан

$$U_{\max} = K_{\max}. \quad (2.32)$$

u_y және 2.4-суреттегі есептік сұлбаның симметриясына тәуелді (2.19) функцияның сызықтық емес сипатын есепке ала отырып, $F \equiv F_{II}$, (2.27), (2.28) кезінде (2.19) өрнегін қолдана отырып (2.32) теңдігін ашамыз

$$\left. \begin{aligned} U_{\max} &= 2 \cdot \int_0^{u_M} F_y \cdot du_y = \frac{8E}{3(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{R_{\sigma} \cdot R}{R_{\sigma} + R} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \int_0^{u_M} u_y^{\frac{3}{2}} \cdot du_y = \\ &= \frac{8E}{3(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{R_{\sigma} \cdot R}{R_{\sigma} + R} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{2}{5} \cdot u_M^{\frac{5}{2}} = K_{\max} = \\ &= \frac{2 \cdot (m_0 + m)(\mathbf{v}_K + \mathbf{v}_K)^2}{2} = 2 \cdot \frac{F_{II} \left(1 + \frac{\mathbf{G}}{F_{II}} \right)}{2\mathbf{g}} \cdot \frac{4\mathbf{v}_0^2}{\left(1 + \frac{\mathbf{G}}{F_{II}} \right)^2} = \frac{4F_{II}}{\mathbf{g}} \cdot \frac{\mathbf{v}_0^2}{\left(1 + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3}{3F_{II}} \right)}. \end{aligned} \right\} \quad (2.33)$$

(2.33) энергетикалық балансынан алатынымыз

$$u_M = \left[\frac{15}{4} \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right) \cdot \frac{F_{II}}{\mathbf{g} \left(1 + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3}{3F_{II}} \right)} \right]^{\frac{2}{5}} \cdot \left(\frac{R_{\sigma} + R}{R_{\sigma} \cdot R} \right)^{\frac{1}{5}} \cdot \mathbf{v}_0^{\frac{4}{5}}. \quad (2.34)$$

(2.34) сәйкес u_M жақындасуды тауып, (2.17) және (2.23) және [55,б.283] арқылы табамыз

$$a_M = \left(u_M \cdot \frac{R_{\sigma} \cdot R}{R_{\sigma} + R} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.35)$$

Ізделіп отырған максималды динамикалық параметрлер F_M , q_{OM} , $t_y = 2t_M$ (сурет-2.4, 2.5) келесідей анықталады [55,б.283]

$$F_M = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_1^{\frac{3}{5}}}{\beta^{\frac{3}{5}}} \cdot \frac{\mathbf{v}_0^{\frac{6}{5}}}{K_2^{\frac{5}{2}}}, \quad (2.36)$$

$$q_{0M} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{K_1^{\frac{1}{5}}}{\beta^{\frac{1}{5}}} \cdot K_2^{\frac{3}{5}} \cdot \mathbf{v}_0^{\frac{2}{5}}, \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} t_y = 2t_M &= 2 \cdot \frac{u_M}{\mathbf{v}_0} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{\frac{5}{2}}}} = \frac{4}{5} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{9}{10}\right)} \cdot \frac{u_M}{\mathbf{v}_0} = 2,9432 \frac{u_M}{\mathbf{v}_0} = \\ &= 2,9432 (\beta \cdot K_1)^{\frac{2}{5}} \cdot \left(\frac{K_2}{\mathbf{v}_0}\right)^{\frac{1}{5}}, \end{aligned} \quad (2.38)$$

мұндағы $\beta = \beta(\mu, E)$ - бөлшек материалының серпімді тұрақтысы, $\text{мм}^2 / H$ [55,6.283]

$$\beta = \frac{1 - \mu^2}{E}; \quad (2.39)$$

мұндағы $K_1 = K_1(F_H, R)$ - физико-механикалық функционалды коэффициент, $(H \cdot c^2) / \text{мм}$

$$K_1 = \frac{15}{16} \cdot \frac{F_H}{\mathbf{g} \left(1 + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3}{3F_H} \right)}; \quad (2.40)$$

мұндағы $K_2 = K_2(R_o, R)$ - 2.4 суреттегі модельдің геометриялық сипаттамасы, мм^{-1} [55,6.283]

$$K_2 = \frac{R_o + R}{R_o \cdot R} = \frac{R_o \cdot \left(1 + \frac{R}{R_o} \right)}{R_o \cdot R} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_o}; \quad (2.41)$$

$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)$, $\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)$, $\Gamma\left(\frac{9}{10}\right)$ - екінші типті эллипстік интегралдардың немесе гамма-функциялардың шамалары [55,6.283; 82]

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} = 1,77245; \quad \Gamma\left(\frac{2}{5}\right) = 2,21815; \quad \Gamma\left(\frac{9}{10}\right) = 1,06863. \quad (2.42)$$

Ұнтақтаудың (ұсақтаудың) статикалық күшін F_{II} анықтау үшін, алдымен $t=0$ және $v_0=0$ болғандағы (2.25) формуланы қолданамыз [55,б.283]

$$\sigma_r \equiv \sigma_1 = \frac{1-2\mu}{3} q_0, \quad (2.43)$$

мұндағы q_0 - (2.39) және (2.41) коэффициент белгіленулерін есепке ала отырып, F_{II} [74,78] тең әсерлі күшінен сәйкес максималды реактивті қысым (сурет 2.4) [55,б.283]

$$q_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt[3]{6F_{II} \cdot \left(\frac{E}{1-\mu^2}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_o}\right)^2} = 0,5784 \cdot F_{II}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{K_2}{\beta}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.44)$$

Ұнтақталатын (ұсақталатын) шардың шектік күйін математикалық сипаттау мақсатында Галилей-Лейбниц беріктік критерийін келесі теңдеу бойынша [55,б.283]

$$\sigma_{\varnothing} = |\sigma_1| = \sigma_{ep}, \quad (2.45)$$

яғни, сығылуға және созылуға ($\sigma_{ec} \gg \sigma_{ep}$, а)) алғышарты) әр түрлі қарсылық ететін мортты (сынғыш) материалдар үшін жобалық-техникалық есептерде кеңінен қолданылатын $\sigma_{\varnothing}$ статикалық кернеулерге эквивалентті ең үлкен модульмен. (2.45) формуласы анықтамалық-нормативті әдебиетте [74] максималды созылмалы [78] нормальды кернеулердің (беріктіктің 1-ші теориясы) болжамы ретінде белгілі [55,б.283]

(2.43), (2.44) өрнектерін (2.45) тасымалдағыш қабілет шартына қою, F_{II} қатысты алгебралық теңдеуге алып келеді [55,б.284]

$$\sigma_{\varnothing} = \frac{1-2\mu}{3} \cdot 0,5784 \cdot F_{II}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{K_2}{\beta}\right)^{\frac{2}{3}} = \sigma_{ep}, \quad (2.46)$$

Бұдан [55, 64]

$$F_{II} = \left(\frac{3}{1-2\mu}\right)^3 \cdot \frac{\beta^2 \cdot \sigma_{ep}^3}{0,1935 \cdot K_2^2}. \quad (2.47)$$

(2.43) - (2.46) алгоритмін (2.47) статикалық жүктемесіне сәйкес келетін $F_M = F_y(t_M)$ (2.5-сурет) ең үлкен инерционды күшінің соққылық әрекеті үшін қайталай отырып, (2.37), (2.39) - (2.41) есепке алатын шығарылып жатқан есептің басты функционалдық қатынасын табамыз. Бұл Галилея-Лейбниц

болжамы бойынша қатты мортты (сынғыш) материалдың ұнтақталуы (ұсақталуы) кезіндегі оның бұзылу критерийі [55,б.284]

$$\sigma_{\text{ЭМ}} = \frac{1-2\mu}{3} q_{0M} = \frac{1-2\mu}{3} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{K_1^{\frac{1}{5}}}{\beta^{\frac{1}{5}}} \cdot K_2^{\frac{3}{5}} \cdot v_0^{\frac{2}{5}} \geq \sigma_{\text{ер}} . \quad (2.48)$$

(2.45) ұқсас шектік жағдай үшін [55,б.284]

$$\sigma_{\text{ЭМ}} = \sigma_{\text{ер}} , \quad (2.49)$$

$v_{0П}$ жылдамдықтың шекті мәнін жалпы түрде табамыз, яғни бұл мәнден аз болғанда берілген бөлшектің радиусы R_0 ұсақталмайды (ұнтақталмайды) (д)) алғышарты есепке алынады) [55,б.284]

$$v_{0П} = \left[\frac{3\pi \cdot \sigma_{\text{ер}}}{2 \cdot (1-2\mu)} \right]^{\frac{5}{2}} \cdot \frac{\beta^2}{K_1^{\frac{1}{2}} \cdot K_2^{\frac{3}{2}}} \leq 10^5 \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}} \right) , \quad (2.50)$$

осыдан, K_1 алып тастағаннан кейін (2.40) және (2.47) негізінде

$$v_{0П} = 0,2272 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \left(\frac{g}{K_2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{\frac{9\beta^2 \sigma_{\text{ер}}^2}{(1-2\mu)^2} + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3 \cdot (1-2\mu) \cdot 0,1935 \cdot K_2^2}{9\sigma_{\text{ер}}}} . \quad (2.51)$$

Ары қарай, тасты материалдар үшін $\beta \ll 1$ (2.39) коэффициенті мен созылуға беріктік шегінің $\sigma_{\text{ер}}$ өте кішкентай шамалары бар (2.51) қатынасын тікелей тексеру арқылы, (2.51) түбір асты өрнегінде бірінші қосылғыш әрқашан екінші қосылғыштан көп есе кіші екенін аңғаруға болады, яғни

$$\sqrt{\frac{9\beta^2 \cdot \sigma_{\text{ер}}^2}{(1-2\mu)^2} + \frac{4\pi \cdot \gamma_c \cdot R^3 \cdot (1-2\mu) \cdot 0,1935 \cdot K_2^2}{9\sigma_{\text{ер}}}} \approx \frac{2}{3} R \cdot K_2 \cdot \sqrt{\frac{0,1935 \cdot \pi \cdot \gamma_c \cdot R(1-2\mu)}{\sigma_{\text{ер}}}} \quad (2.52)$$

(2.52) өрнегі негізінде (2.51) формула келесі қарапайым түрге енеді

$$v_{0П} = v_{0П}(R_0) = 36,1716 \cdot R \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_0} \right) \cdot \gamma_c \cdot (1-2\mu) \cdot R}{\sigma_{\text{ер}}}} \leq v_x \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}} \right) , \quad (2.53)$$

Сонымен, ұнтақтау шарларының шекті қозғалыс жылдамдығын анықтау бойынша математикалық тәуелділік анықталды. Бұл мәнден артық болған жағдайда бөлшектің ыдырау (бұзылу) процесі орын алады.

Сәйкес түрлендірулер орындап, (2.51) формуладан ұнтақтаудың теориялық майдалығын $d_6^{\min}$ анықтау үшін келесі тәуелділікті аламыз

$$d_6^{\min} = \frac{383,4}{\left(\frac{15g}{n} + \frac{A\pi n}{30}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha} \cdot 10^5 \quad (2.52)$$

Берілген формула ұнтақтау майдалығын диірменнің (ұнтақтағыштың) сәйкес параметрлерінен сандық тәуелділігін орнату үшін негіз болады.

2.3 Теориялық қуаттың жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс жасау параметрлерінен тәуелділігін орнату

P_x қуат шығыны ұнтақтау камерасының айналуына байланысты ұнтақтау шарларының циркуляциясына P_{III} және материал бөлшектерінің ұнтақталу (ұсақталу) процесіне P_{II} жұмсалады. Осыдан, P_x қуатын анықтау үшін қуаттық баланстың теңдеуін келесідей жазуға болады.

$$P_x = P_{III} + P_{II} \quad (2.53)$$

Ұнтақтау шарларының циркуляциясына P_{III} қажет қуатты келесі тәуелділікпен табуға болады

$$P_{III} = m_{III} \cdot g \cdot N_{III} \cdot \left(\frac{15g}{n} + A\omega\right) \cdot \sin \alpha \quad (2.54)$$

мұндағы m_{III} - бір ұнтақтау шарының массасы, кг;

N_{III} - ұнтақтау шарларының саны.

Сферааралық қуыстары есепке ала отырып шар санынан камера толтырылуының жалпы көлемінің теориялық тәуелділігін қолданып, оның 60 %-ға толтырылу шартына сәйкес шарлар санын анықтаймыз [83]

$$N_{III} = \frac{4\pi \cdot R_k^2 \cdot H}{5.2737 \cdot R_{III}^3} \quad (2.55)$$

мұндағы R_k - ұнтақтау камерасының радиусы, мм;

R_{III} - шарлардың радиусы, мм;

H - ұнтақтау камерасы секциясының биіктігі, мм.

Сонда, (2.55) тәуелділікті ескере отырып, ұнтақтау шарларының циркуляциясына қажет қуат келесідей анықталады

$$P_{III} = \frac{m_{III} \cdot g \cdot 4\pi \cdot R_k^2 \cdot H}{5.2737 \cdot R_{III}^3} \cdot \left(\frac{15g}{n} + A\omega \right) \cdot \sin \alpha \quad (2.56)$$

Материал бөлшектерінің ұнтақталу (ұсақталу) процесіне P_{II} қажет қуатты келесі тәуелділік арқылы табуға болады

$$P_{II} = \left(\frac{3}{1-2\mu} \right)^3 \cdot \frac{\beta^2 \cdot \sigma_{ep}^3}{0,1935 \cdot \left(\frac{1}{R_{III}} + \frac{1}{R_6} \right)^2} \quad (2.57)$$

Демек, диірменнің (ұнтақтағыштың) жалпы қуат шығыны P_x (2.56) және (2.57) тәуелділіктердің қосындысы арқылы табылады

$$P_x = \left(\frac{m_{III} \cdot g \cdot 4\pi \cdot R_k^2 \cdot H}{5.2737 \cdot R_{III}^3} \cdot \left(\frac{15g}{n} + A\omega \right) \cdot \sin \alpha \right) + \left(\frac{3}{1-2\mu} \right)^3 \cdot \frac{\beta^2 \cdot \sigma_{ep}^3}{0,1935 \cdot \left(\frac{1}{R_{III}} + \frac{1}{R_6} \right)^2} \quad (2.58)$$

Сонымен, жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатын анықтау үшін есептеу формуласы алынды.

2.4 Диірменнің (ұнтақтағыштың) геометриялық параметрлерін негіздеу

Диссертациялық зерттеудің бұл кезеңінде материалдардың майдалап ұнтақтаудың (ұсақтаудың) максималды тиімділігін қамтамасыз ететін жаңа V-тәріздес диірменнің (ұнтақтағыштың) геометриялық параметрлерінің сандық мәндерін анықтау қажет.

Диірменнің (ұнтақтағыштың) негізгі геометриялық параметрлері болып табылады:

- камераның диаметрі - D_k , мм;
- камера секциясының биіктігі - H , мм;
- камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы - α ;
- ұнтақтау шарларының диаметрі - d_{III} , мм;
- ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесі - φ_{III} ;
- ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен камераның толтыру дәрежесі -

φ_m ;

[10,6.89] жұмысы негізінде камераның келесі геометриялық сипаттамаларын қабылдаймыз: камераның диаметрі D_k - 100 мм, камера секциясының биіктігі H - 165 мм.

Диссертациялық зерттеу материалдың майдалап ұнтақтауға (ұсақтауға) арналған болғандықтан, есептік экспериментте бөлшектің бастапқы диаметрі

мәнін $d_6 = 100 \text{ мкм}$ тең деп қабылдаймыз. Бұл мән майдалап ұнтақтаудың бастапқы шекті мәніне сәйкес келеді.

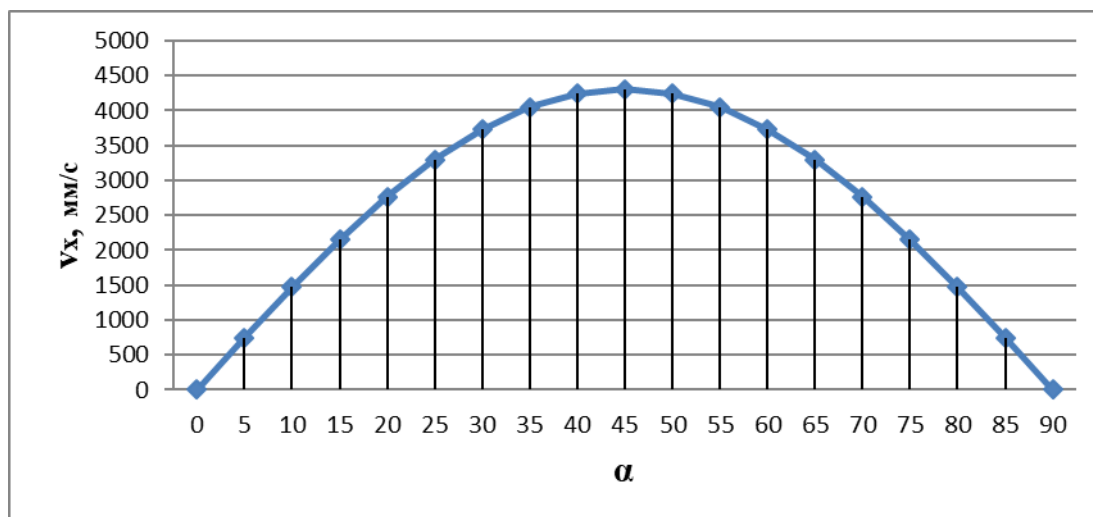
Жүргізілген зерттеулердің негізінде [48,6.28; 51,6.80; 54,6.75] майдалап ұнтақтайтын диірмендерде (ұнтақтағыштарда) диаметрі $d_{III} = 1,5 \dots 10 \text{ мм}$ диапазонындағы ұнтақтау шарлары қолданылады. Майдалап ұнтақтаудың тиімділік көрсеткіші болып табылатын максималды өнімділікті қамтамасыз ету қажеттілігін ескере отырып, шардың диаметрін $d_{III} = 10 \text{ мм}$ деп қабылдаймыз.

Ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесін [10,6.99] жұмысында жүргізілген зерттеулердің негізіне сәйкес ең оңтайлы деп $\varphi_{III} = 0.6$ мәні қабылданды. Дәл осылай, ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен камераның толтыру дәрежесінің оңтайлы мәні ретінде $\varphi_m = 0.14$ қабылданды [10,6.99].

Келесі диірменнің (ұнтақтағыштың) геометриялық параметрі - камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы α болып табылады. (2.15) тәуелділікке сәйкес көлбеу бұрыштың α әр түрлі мәндерінде ұнтақтау шарларының қозғалыс жылдамдығының өзгеру сипатын талдаймыз. Талдаудың нәтижелері 2.1-кестеде және 2.6-суретте көрсетілген.

Кесте 2.1 - v_x мәнінің өзгерісі бойынша талдаудың нәтижелері

α	$v_x, \text{ мм/с}$
0	0
5	748
10	1473
15	2154
20	2769
25	3300
30	3730
35	4048
40	4242
45	4308
50	4242
55	4048
60	3730
65	3300
70	2769
75	2154
80	1473
85	748
90	0



Сурет 2.6 - v_x мәнінің өзгерісі бойынша талдаудың графигі

2.1-кестеге және 2.6-суретке сәйкес v_x максималды мәні $\alpha = 45^\circ$ бұрышына сәйкес келеді. Сонымен қатар, α бұрышының оңтайлы (жол берілетін) мәні ретінде $\alpha = 35 \dots 45^\circ$ өзгеру диапазонына сәйкес болады. Өйткені, берілген α бұрышының мәндері кезінде v_x шамасы жоғары дәрежеде α бұрышының максималды мәніне жақын. Табылған α бұрышының өзгеріс мәндер диапазонына негізделіп келесі есептеулер үшін $\alpha = 35^\circ$ мәнін қабылдаймыз.

Сонымен, зерттеу жұмыстарын жалғастыру үшін жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) оңтайлы геометриялық параметрлері анықталды (кесте-2.2).

Кесте 2.2 - Жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) оңтайлы геометриялық параметрлері

Параметр атауы	Белгіленуі	Параметр мәні
Камераның диаметрі	D_k	100 мм
Камера секциясының биіктігі	H	165 мм
Ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесі	ϕ_{III}	0,6
Ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен камераның толтыру дәрежесі	ϕ_m	0,14
Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы	α	35 град.
Ұнтақтау шарларының диаметрі	d_{III}	10 мм

2.2-кестеде көрсетілген параметрлер ұсынылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін анықтау үшін алдағы есептеулерде қолданылады.

2.5 Жасалған механикалық-математикалық модельді апробациялау

2.5.1 Теориялық ұнтақ майдалығының мәнін анықтау

Бұл бөлімде әзірленген механикалық-математикалық модельді қолдана отырып теориялық майдалап ұнтақтаудың сандық мәнін анықтаймыз. Жасалатын есептеулер шеңберінде майдалап ұнтақтау диірменнің (ұнтақтағыштың) кинематикалық және геометриялық параметрлерінен сандық тәуелділігін анықтаймыз. Бұл параметрлерге камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы, тербеліс амплитудасы, дебалансты біліктің айналу жиілігі жатады.

Ұсынылып отырған диірменнің (ұнтақтағыштың) параметрлерін негіздеу бойынша жоғарыдағы бөлімдерде жүргізілген зерттеулер негізінде (2.52) формуласы арқылы теориялық майдалап ұнтақтау мәнін есептеуді жүргіземіз.

Модельденетін ұнтақталатын (ұсақталатын) материал ретінде өзен құмы келесі физико-механикалық сипаттамаларымен таңдалды (кесте-2.3).

Кесте 2.3 - Материал бөлшектерінің физикалық-механикалық параметрлері

Параметр атауы	Белгіленуі	Параметр мәні
Пуассона коэффициенті	μ	0,32
Созылудағы шекті кернеу	$\sigma_{вр}$	0,9 МПа $\left(\frac{Н}{мм^2} \right)$
Серпімділік модулі	E	18000 МПа $\left(\frac{Н}{мм^2} \right)$

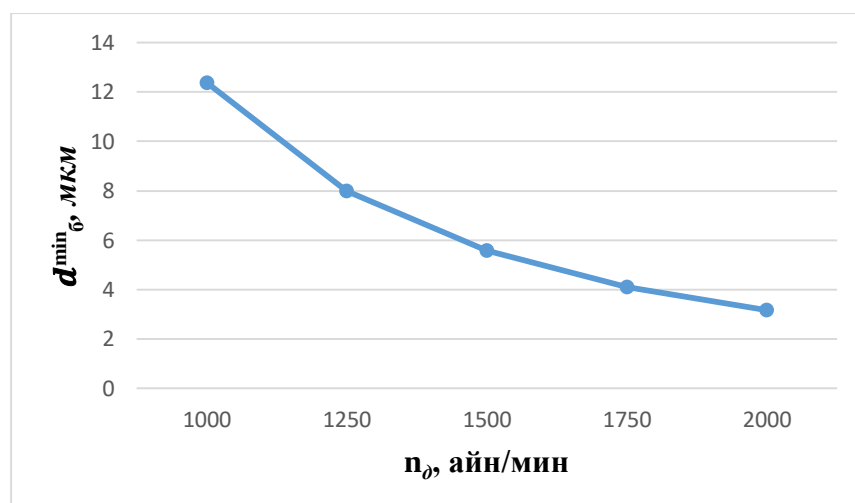
Факторлардың өзгеру деңгейлері таңдап алынған диапазондар шегінде ең кіші (min), орта (med), ең үлкен (max) параметр мәндеріне сәйкес, яғни, $1000 \leq n_o \leq 2000$ айн/мин ($n_o = 1000$ айн/мин - min, $n_o = 1500$ айн/мин - med, $n_o = 2000$ айн/мин - max), $2,5 \leq A \leq 3,5$ мм ($A = 2,5$ мм - min, $A = 3$ мм - med, $A = 3,5$ мм - max) және $35^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$ ($\alpha = 35^\circ$ - min, $\alpha = 45^\circ$ - med, $\alpha = 55^\circ$ - max). Бұл мәндер шарлы және дірілді диірмендерде қолданылатын параметр мәндеріне негізделіп қабылданды [10,6.99]. Есептеулерде камераның айналым жиілік мәнін $n_k = 18$ айн/мин деп қабылдаймыз [10,6.99].

Жоғарыда көрсетілген дебалансты біліктің айналым жиілігі мәнінің диапазоны шегінде ұнтақтың теориялық майдалығының $d_o^{\min}$ дебалансты біліктің айналым жиілігінен n_o бір факторлы тәуелділігін анықтаймыз. Дебалансты біліктің айналым жиілігінің n_o өзгеріс интервалын 250 айн/мин деп аламыз. Сонымен қатар, ұнтақтың максималды майдалығын алу үшін тербеліс амплитудасының максималды мәнін қолдану қажет екені болжамына сүйене келе, амплитуданың $A = 3,5$ мм максималды мәнін орнатамыз [10,6.99;84]. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышын жоғарыда жүргізілген негіздеу жүзінде $\alpha = 35^\circ$ деп қабылданды. Есептеулер нәтижесі 2.4-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.4 - Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_6^{\min}$ дебалансты біліктің айналым жиілігінен n_0 тәуелділікті есептеу нәтижелері ($\alpha = 35^\circ$, $A = 3.5$ мм кезінде)

n_0 , айн/мин	$d_6^{\min}$, мкм
1000	12,38
1250	7,99
1500	5,58
1750	4,11
2000	3,16

Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_6^{\min}$ дебалансты біліктің айналым жиілігінен n_0 тәуелділіктің графикалық интерпретациясы 2.7-суретте көрсетілген.



Сурет 2.7 - Бөлшек диаметрінің $d_6^{\min}$ дебалансты біліктің айналым жиілігінен n_0 тәуелділік графигі

2.4-кестеде келтірілген нәтижелер мен 2.7-суретте көрсетілген графиктен дебалансты біліктің айналым жиілігі n_0 жоғарылаған сайын бөлшекті ұнтақтау (ұсақтау) майдалығы артады. 2.4 кестеге және 2.7-суретке сәйкес, дебалансты біліктің максималды айналым жиілігі n_0 кезінде, теориялық тұрғыдан бастапқы өлшемі $d_6 = 100$ мкм болатын бөлшекті $d_6^{\min} = 3.16$ мкм минималды өлшемге дейін ұнтақтауға (ұсақтауға) болады.

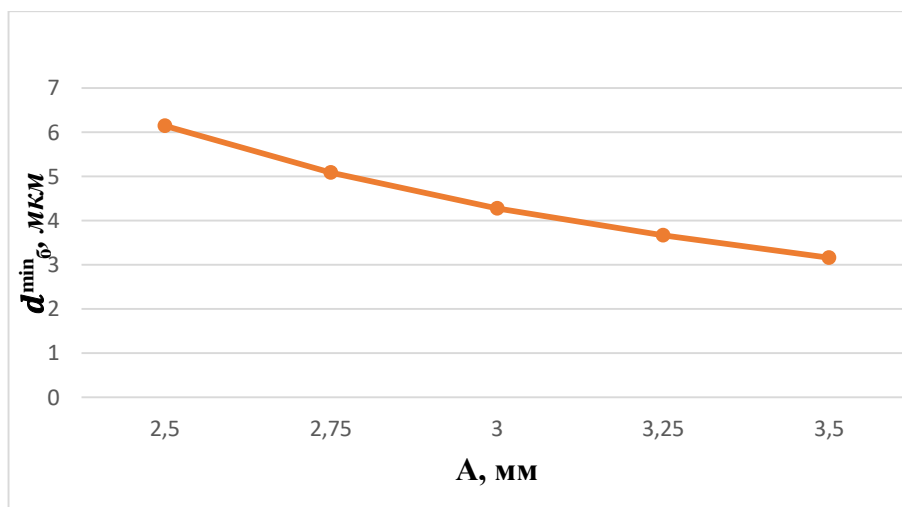
$2,5 \leq A \leq 3,5$ мм ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A мәнінің диапазоны шегінде, ұнтақтың теориялық майдалығының $d_6^{\min}$ тербеліс амплитудасынан A бір факторлы тәуелділігін анықтаймыз. Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының A төменгі мәннен жоғарғы мәнге дейін өзгеріс интервалын 0,25 мм деп аламыз. Сонымен қатар, жоғарыда жүргізілген есептік эксперимент нәтижесінің негізінде (2.4-кесте) ұнтақтың максималды

майдалығына қол жеткізілген дебалансты біліктің айналым жиілігінің максималды мәні $n_0 = 2000$ айн/мин орнатамыз. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышын жоғарыда жүргізілген негіздеу жүзінде $\alpha = 35^\circ$ деп қабылдаймыз. Есептеулер нәтижесі 2.5-кестеде көрсетілген.

2.5 кесте - Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_6^{\min}$ ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасынан A тәуелділікті есептеу нәтижелері ($\alpha = 35^\circ$, $n_0 = 2000$ айн/мин кезінде)

A , мм	$d_6^{\min}$, мкм
2,5	6,14
2,75	5,09
3	4,28
3,25	3,66
3,5	3,16

Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_6^{\min}$ ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасынан A тәуелділіктің графикалық бейнеленуі 2.8-суретте көрсетілген.



Сурет 2.8 - Бөлшек диаметрінің $d_6^{\min}$ ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасынан A тәуелділік графигі

2.5-кестедегі нәтижелер мен 2.8-суреттегі графиктен A шамасының өсуі кезінде бөлшекті ұсақтау майдалығы артады. 2.5 кестеге және 2.8-суретке сәйкес, ұнтақтау камерасының максималды тербеліс амплитудасы A орын алғанда, теориялық тұрғыдан бастапқы өлшемі $d_6 = 100$ мкм болатын бөлшекті $d_6^{\min} = 3.16$ мкм минималды өлшемге дейін ұнтақтауға (ұсақтауға) болады.

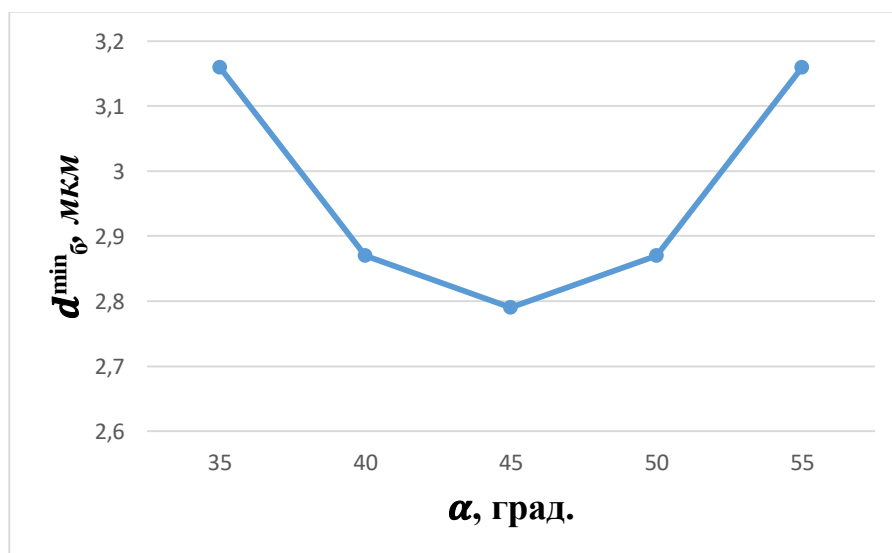
Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы α мәнінің $35^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$ диапазоны шегінде, ұнтақтың теориялық майдалығының

$d_{\phi}^{\min}$ көлбеу бұрыш шамасынан α бір факторлы тәуелділігін табамыз. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының α төменгі мәнінен жоғарғы мәніне дейін өзгеріс интервалын 5^0 деп аламыз. Сонымен қатар, жоғарыда жүргізілген есептік эксперимент нәтижесінің негізінде (2.4-кесте) ұнтақтың максималды майдалығына қол жеткізілген дебалансты біліктің айналым жиілігі $n_0 = 2000$ айн/мин мен тербеліс амплитудасының $A = 3.5$ мм максималды мәндерін орнатамыз. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышын жоғарыда жүргізілген негіздеу жүзінде $\alpha = 35^0$ деп қабылдаймыз. Есептеулер нәтижесі 2.6-кестеде келтірілген.

Кесте 2.6 - Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_{\phi}^{\min}$ камера секциясының көлбеу бұрышынан α тәуелділікті есептеу нәтижелері ($A = 3.5$ мм, $n_0 = 2000$ айн/мин)

α , град.	$d_{\phi}^{\min}$, мкм
35	3,16
40	2,87
45	2,79
50	2,87
55	3,16

Ұнтақтың теориялық майдалығының $d_{\phi}^{\min}$ камера секциясының көлбеу бұрышынан α тәуелділіктің графикалық түрі 2.9-суретте көрсетілген.



Сурет 2.9 - Бөлшек диаметрінің $d_{\phi}^{\min}$ камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышынан α тәуелділік графигі

2.6-кестедегі нәтижелер мен 2.9-суреттегі графиктен бұрыш $\alpha = 45^0$ болғанда, бөлшектің максималды ұнтақтау майдалығын $d_{\phi}^{\min} = 2.79$ мкм аламыз.

$\alpha = 45^\circ$ бұрышы мәнінен асып кеткен немесе одан төмен болған жағдайда ұнтақтың теориялық майдалығы төмендейді. Сонымен қатар, есептеу нәтижелерін қарастыра, жалпы алғанда α көлбеу бұрышы таңдалған диапазон аралығында (яғни, 35° градустан 55° градусқа дейін) ұнтақ майдалығының мәні айтарлықтай өзгермейді (3 мкм шамасы шегінде тұрақты болады).

Осылайша, есептік эксперименттің нәтижелерін түйіндей келе, ұнтақ майдалығының максималды мәні $d_6^{\min} = 3.16$ мкм диірменнің (ұнтақтағыштың) келесі параметрлері кезінде қамтамасыз етіледі: $\alpha = 35^\circ$, $n_0 = 2000$ айн/мин, $A = 3.5$ мм. Табылған бұл параметрлерді жасалған эксперименттік қондырғыда эксперименттік зерттеулерді жүргізу үшін қолдануға болады.

Ұсынылған ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне екі жақты әсер етуді ұйымдастыруға көзделген ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін салыстыру мақсатында бұл тәсілді 1.15-суретте көрсетілген сұлбадағы ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне бір жақты әсер етуді ұйымдастыратын тәсілмен салыстыру жүргізілді. Ол үшін [55,6.279;64,6.774] авторларымен жасалған бір жақты әсер ету кезінде материал бөлшегінің ыдырау (бұзылу) процесінің математикалық моделін қолданамыз. Берілген математикалық модельде келтірілген аналитикалық тәуелділіктерді пайдалану арқылы және параметрлердің келесі $\alpha = 35^\circ$, $n_0 = 2000$ айн/мин, $A = 3.5$ мм мәндері кезінде есептеулер жүргізіліп, нәтижесінде $d_6^{\min} = 12.64$ мкм тең ұнтақ майдалығы алынды. Демек, екіжақты әсер ету тәсілі арқылы ұсынылған ұнтақтау тәсілі біржақты әсер ету тәсілімен салыстырғанда 4 есе тиімдірек болуы мүмкін деген тұжырымға келуге болады.

2.5.2 Диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатын анықтау

Диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатын (2.58) формулаға сәйкес есептеледі. Келесі параметрлерді өзгертіп реттеу кезінде теориялық қуаттың тәуелділіктеріне талдау жүргіземіз:

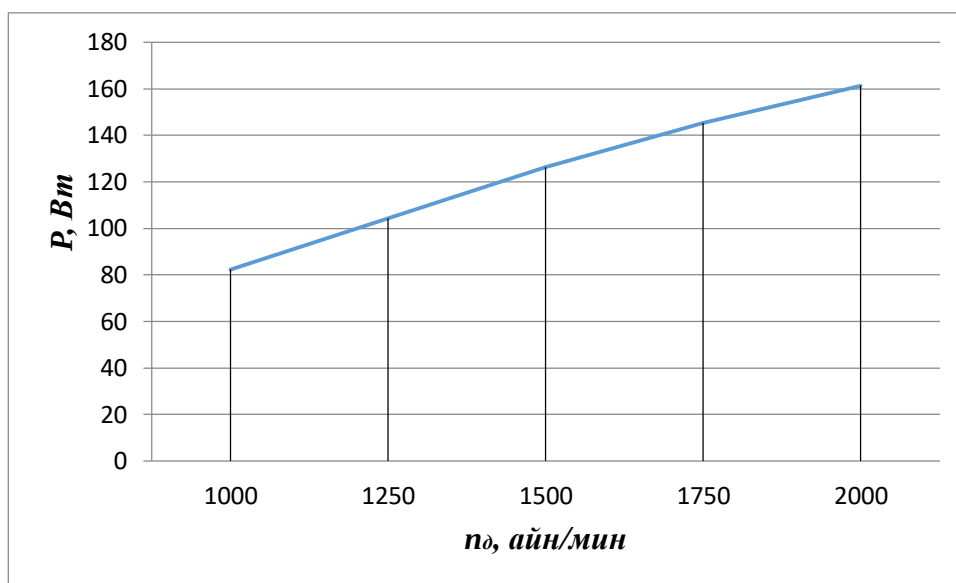
- камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы α ;
- тербеліс амплитудасы A ;
- дебалансты біліктің айналу жиілігі n_0 .

Дебалансты біліктің айналу жиілігі n_0 мәнінің $1000 \leq n_0 \leq 2000$ айн/мин диапазоны шегінде, теориялық қуаттың P айналу жиілігінен n_0 . бір факторлы тәуелділігін анықтаймыз. Дебалансты біліктің айналым жиілігінің n_0 өзгеріс интервалын 250 айн/мин деп таңдаймыз. Сонымен қатар, ұнтақтың максималды майдалығын қамтамасыз ету үшін қажетті теориялық қуатты анықтау мақсатында жоғарыда жүргізілген есептік эксперимент нәтижесінің негізінде (2.5-кесте) тербеліс амплитудасының максималды мәнін $A = 3.5$ мм орнатамыз. Секцияның көлбеу бұрышы жоғарыда жүргізілген негіздеу жүзінде $\alpha = 35^\circ$ деп қабылдаймыз. 2.7-кестеде есептеулер нәтижесі келтірілген.

Кесте-2.7 - Теориялық қуаттың P дебалансты біліктің айналу жиілігінен n_0 . тәуелділікті есептеу нәтижелері ($A = 3.5$ мм, $\alpha = 35^\circ$)

n_0 , айн/мин	P , Вт
1000	82.17
1250	104.29
1500	126.41
1750	145.37
2000	161.17

Теориялық қуаттың P дебалансты біліктің айналу жиілігінен n_0 тәуелділіктің графикалық интерпретациясы 2.10-суретте көрсетілген.



Сурет 2.10 - Теориялық қуаттың P дебалансты біліктің айналу жиілігінен n_0 тәуелділік графигі

2.7-кестедегі нәтижелер мен 2.10-суреттегі графиктен дебалансты біліктің минималды айналу жиілігі $n_0 = 1000$ айн/мин кезінде $P = 82.17$ Вт. Ал максималды $n_0 = 2000$ айн/мин мәні кезінде теориялық қуат шамасы $P = 161.17$ Вт тең. Дебалансты біліктің айналу жиілігінің n_0 өзгерісі кезінде диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатының минимумнан максимумға дейінгі өсімі 96,14 % құрайды.

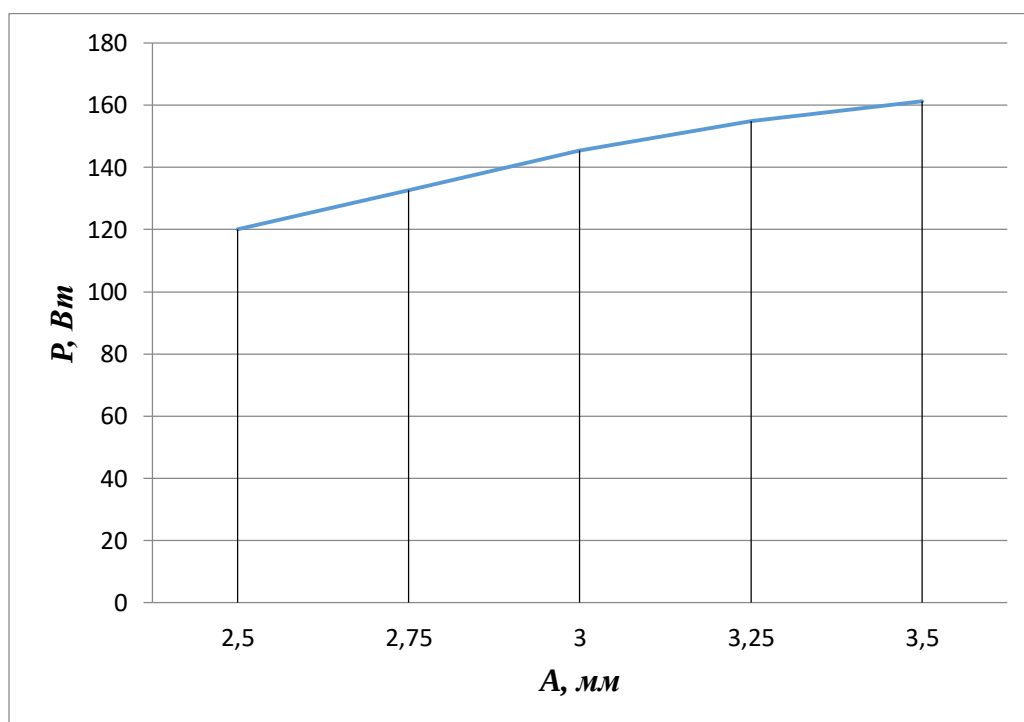
Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының $2,5 \leq A \leq 3,5$ мм диапазоны шегінде, теориялық қуаттың P тербеліс амплитудасынан A бір факторлы тәуелділігін табамыз. Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының A өзгеріс интервалын 0,25 мм деп таңдаймыз. Сонымен қатар, ұнтақтың максималды майдалығын қамтамасыз ету үшін қажетті теориялық қуатты анықтау мақсатында жоғарыда жүргізілген есептік эксперимент нәтижесінің негізінде (2.4-кесте) дебалансты біліктің айналу жиілігінің максималды мәнін $n_0 = 2000$ айн/мин орнатамыз. Секцияның көлбеу бұрышы

жоғарыда жүргізілген негіздеу жүзінде $\alpha = 35^\circ$ тең деп орнатамыз. 2.8-кестеде есептеулер нәтижесі келтірілген.

Кесте 2.8 - Теориялық қуаттың P ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасынан A тәуелділікті есептеу нәтижелері ($\alpha = 35^\circ, n_0 = 2000$ айн/мин кезінде)

$A, \text{мм}$	$P, \text{Вт}$
2,5	120.09
2,75	132.73
3	145.37
3,25	154.85
3,5	161.17

Теориялық қуаттың P тербеліс амплитудасынан A тәуелділіктің графикалық бейнеленуі 2.11-суретте көрсетілген.



Сурет 2.11 - Теориялық қуаттың P ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасынан A тәуелділік графигі

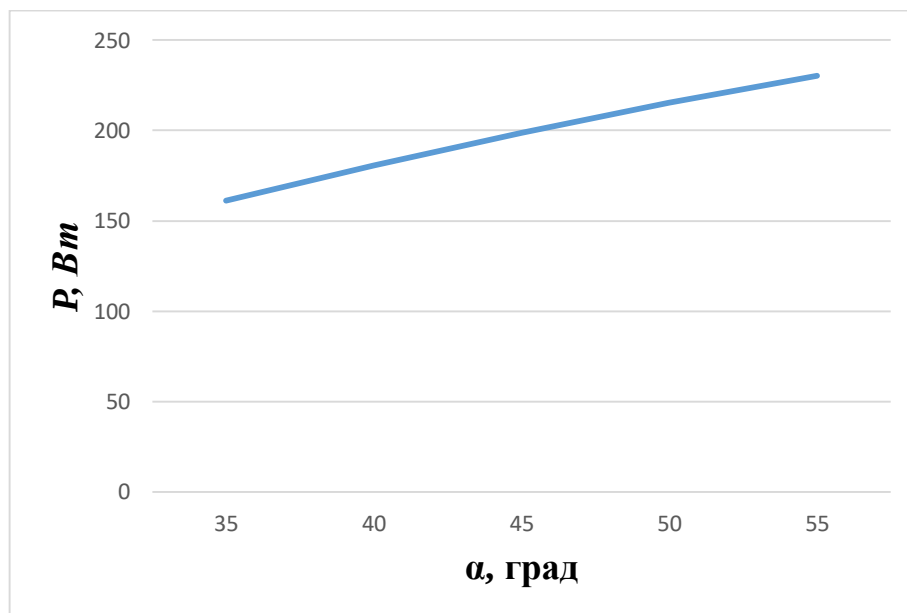
2.8-кестедегі нәтижелер мен 2.11-суреттегі графиктен минималды $A = 2.5$ кезінде $P = 120.09$ Вт аламыз. Ал максималды $A = 3.5$ мәні кезінде теориялық қуат шамасы $P = 161.17$ Вт тең. Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының A өзгерісі кезінде диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатының минимумнан максимумға дейінгі өсімі 34.21 % құрайды.

Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының $35^{\circ} \leq \alpha \leq 55^{\circ}$ диапазоны шегінде, теориялық қуаттың P көлбеу бұрышынан α бір факторлы тәуелділігін табамыз. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының α төменгі мәнінен жоғарғы мәніне дейін өзгеріс интервалын 5° деп аламыз. Сонымен қатар, ұнтақтың максималды майдалығын қамтамасыз ету үшін қажетті теориялық қуатты анықтау мақсатында жоғарыда жүргізілген есептік эксперимент нәтижелерінің негізінде (2.4, 2.5-кестелер) дебалансты біліктің айналу жиілігінің $n_0 = 2000$ айн/мин және тербеліс амплитудасының $A = 3.5$ мм максималды мәндерін орнатамыз. 2.9-кестеде есептеулер нәтижесі көрсетілген.

Кесте 2.9 - Теориялық қуаттың P камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышына α тәуелділікті есептеу нәтижелері ($A = 3.5$, $n_0 = 2000$ айн/мин кезінде)

α , град.	P , Вт
35	161.17
40	170.65
45	176.97
50	170.65
55	161.17

2.12-суретте теориялық қуаттың P көлбеу бұрыштан α тәуелділіктің графикалық бейнеленуі көрсетілген.



Сурет 2.12 - Теориялық қуаттың P камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышына α тәуелділіктің графигі

2.9-кестедегі нәтижелер мен 2.12-суреттегі графиктен α мәнінің 35° -тан 45° -қа артуы кезінде теориялық қуаттың 161,17 Вт-тан 230,16 Вт-қа дейін артуы байқалады. Камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының α минималды мәнінен максималды мәніне дейін өзгерісі кезінде диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуатының өсімі 42,8 % құрайды.

Сонымен, факторлардың қуатқа әсер ету дәрежесін бағалау кезінде, қуатқа едәуір әсер ететін фактор - дебалансты біліктің айналым жиілігі екені туралы қорытынды жасауға болады. Оның минималды мәннен максималды мәнге өзгерісі кезінде теориялық қуаттың мәні шамамен 2 есеге артады.

Ұнтақтау (ұсақтау) процесінің энергия шығынын талдай отыра, бөлшекке бір жақты әсер ететін ұнтақтау (ұсақтау) процесімен салыстырғанда бөлшекке екі жақты әсер етуді ұйымдастыру кезінде процестің энергия шығыны 4 есеге азаяды, өйткені, ұнтақтың шекті майдалығына жету уақыты және ұнтақтау (ұсақтау) энергиясы азаяды (яғни, дебалансты біліктің айналым жиілігін, камераның тербеліс амплитудасын және басқа да параметрлерін арттыру қажеттілігі болмайды).

2.6 Екінші тарау бойынша қорытынды

1) Қолданыстағы ұнтақтау (ұсақтау) теорияларын талдау нәтижелері олардың майдалап ұнтақтау процесін сандық жағынан сипаттау және ұнтақтың майдалығын теориялық анықтау үшін тәжірибелік тұрғыдан қолданылуы күрделі екенін көрсетті.

2) Ауырлық күші мен дірілдің әсерінен көлбеу жазықтық бойымен ұнтақтау шарларының қозғалысы нәтижесінде олардың соқтығысу жылдамдықтарын анықтау үшін математикалық тәуелділіктер анықталды.

3) Жаңа ұнтақтағышта (диірменде) материалдың кесек бөлшегін ыдырату (бұзу) процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды, және материал ұнтағының теориялық майдалығын анықтау үшін (2.52) есептік тәуелділігі анықталды.

4) Жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) келесі геометриялық сипаттамаларының шамалары анықталды және негізделді: камераның диаметрі D_k , камера секциясының биіктігі H , ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесі $\varphi_{ш}$, ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен камераның толтыру дәрежесі φ_m , камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы α , ұнтақтау шарларының диаметрі $d_{ш}$.

5) Жаңа ұнтақтағыштың (диірменнің) теориялық зерттеу нәтижелері тербеліс амплитудасы $A=3.5$ мм, дебалансты біліктің айналу жиілігі $n_d=2000$ айн/мин және камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы $\alpha=35^\circ$ тең болғанда және ұнтақталатын материал бөлшегіне екіжақты әсер беру арқылы ұнтақтың максималды теориялық майдалығы $d_q^{\min}=3.16$ мкм құрайтынын көрсетті.

6) Теориялық салыстырмалы талдау нәтижесінде ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне екіжақты әсер беру кезінде ұнтақ майдалығы

біржақты әсер беру кезінде алынатын ұнтақ майдалығынан 4 есе артық болуы мүмкін екені анықталды.

7) Диірменнің (ұнтақтағыштың) тербеліс амплитудасы $A=3.5$ мм, дебалансты біліктің айналу жиілігі $n_d = 2000$ айн/мин және камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы $\alpha = 35^\circ$ тең болғанда ұнтақтың максималды майдалығын ($d_q^{\min} = 3.16$) қамтамасыз ету үшін жұмсалатын диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуаты (161.17 Вт) анықталды. Оған қоса, диірменнің (ұнтақтағыштың) келесі параметрлерінен қуаттың сандық тәуелділіктері анықталды: тербеліс амплитудасы, дебалансты біліктің айналу жиілігі және камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы.

3 ЖАҢА ДИІРМЕННІҢ (ҰНТАҚТАҒЫШТЫҢ) КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

3.1 Эксперименттің жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыстың бұл тарауы ұсынылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің эксперименттік зерттеуіне арналған.

Эксперименттің мақсаты - эмпирикалық әдіспен ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға екі жақты әсер етуді қолдану тиімділігін тексеру болып табылады.

Эксперимент жүргізу үшін алдымен оның принципіалды құрылымын анықтау қажет, яғни, процесті реттейтін енгізу параметрлері және бұл процестің нәтижесін сипаттайтын шығу параметрін анықтау керек.

Ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың бөлшектерінің түпкі (соңғы) өлшемі майдалап ұнтақтайтын диірмендердің (ұнтақтағыштардың) тиімділігінің негізгі параметрі екені есепке алынып, бұл көрсеткіш – шығу параметрі ретінде таңдалды.

Реттелетін енгізу параметрлері мен факторларын таңдауын жүргіземіз. Ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың кесек бөлшегінің өлшемі $d_{\phi}^{\min}$ мен негізгі факторларын байланыстыратын жалпы теңдеу келесі түрде сипатталады

$$d_{\phi}^{\min} = (\varphi_{III}, \varphi_m, \alpha, D_k, H, d_{III}, n_k, n_{\phi}, A) \quad (3.1)$$

мұндағы φ_{III} - ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесі;

φ_m - ұнтақталатын (ұсақталатын) материалмен камераның толтыру дәрежесі;

α - камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы;

D_k - камераның диаметрі, мм;

H - камера секциясының биіктігі, мм;

d_{III} - ұнтақтау шарларының диаметрі, мм;

n_k - ұнтақтау камерасының айналым жиілігі, айн/мин;

n_{ϕ} - дебалансты біліктің айналым жиілігі, айн/мин;

A - ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы, мм.

Ұнтақтау шарларымен φ_{III} және ұнтақталатын (ұсақталатын) материалымен φ_m камераның толтыру дәрежелері диірмендердің (ұнтақтағыштардың) өнімділігіне және майдалап ұнтақталуына үлкен әсер ететін параметрлер болып саналады. Ұнтақтау шарларымен φ_{III} және ұнтақталатын (ұсақталатын) материалымен φ_m камераның толтыру дәрежелерінің мәні осы саладағы ғалымдардың жүргізген эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері негізінде таңдалды [10,б.99]. Оларға сәйкес ұнтақтау (ұсақтау) процесінің ең жоғары тиімділігі $\varphi_{III} = 0.6$, $\varphi_m = 0.14$ мәндерінде орын

алады. Сондықтан, жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) эксперименттік зерттеулерінде аталған коэффициенттер бекітілген енгізу факторлары ретінде қабылданады.

Ұнтақтау камерасы секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы α камераның бойлық бағыты бойынша ұнтақтау шарларының үдеуін анықтайды. Әдебиеттік талдау бойынша басқа авторлармен (Гаврунов А.Ю., Богданов В.С.) жүргізілген зерттеулерде ұнтақтау камерасы секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының α рационалды мәнін таңдауда ұсыныстар табылмады. Сондықтан, алдын ала теориялық бағалау жүргізілді. Онда бұрыш мәнінің артуы кезінде көлбеу жазықтықтағы әр түрлі бөліктерде мезетті жылдамдықтың өсуі (камераның бойлық бағытында ұнтақтау денелерінің соққы энергиясының өсуі) байқалды. Бұл болжамды негіздеу және көлбеу бұрыштың рационалды мәнін (бойлық бағытта ұнтақтау тиімділігін арттырудың қандай да бір шегіне сәйкес келетін) анықтау үшін эксперимент жүргізу қажет.

Ұнтақтау камерасының диаметрі D_k және секция биіктігі H өнімділікке және ұнтақтау шарларының ұнтақтау (ұсақтау) материалына беретін соққы энергиясына әсер етуі мүмкін. Берілген факторларды тұрақты факторлар ретінде ($D_k = const, H = const$) таңдау олардың мәндерін техникалық тұрғыдан өзгерту күрделі болуымен негізделеді. Бұл параметрлердің мәндері теориялық зерттеулерде секілді қабылданды ($D_k = 100$ мм, $H = 165$ мм).

Ұнтақтау шарларының өлшемі d_{III} [51,6.80] авторлардың зерттеу жұмыстарындағы ұсыныстарына сәйкес 20:1 қатынасында таңдалған болатын, бірақ материалдарды майдалап ұнтақтауда тәжірибе жүзінде ұнтақтау шарларын қолдануын есепке ала отырып, шарлар мен материал бөлшектерінің қатынасы 100:1 болып қабылданды [85].

Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі n_k ұнтақтау шарларының циркуляциясына тікелей әсер етеді. Оған қоса, n_k факторы бойлық және көлденең бағытта ұнтақтау шарларының циркуляция қарқындылығына әсер ететін камера күйінің өзгеру жиілігін анықтайды. Осыдан, аталған фактор ұнтақтау (ұсақтау) қарқындылығына едәуір әсер ететіні туралы тұжырым жасауға болады.

Дебалансты біліктің айналым жиілігі n_0 ұнтақтау (ұсақтау) процесінің энергия кернеулігін арттырады. Осыған байланысты, ұнтақтау процесінің тиімділігі артуы мүмкін. Оған қоса, дірілді диірмендерді зерттеу кезінде ұнтақтау (ұсақтау) процесіне әсер ететін тербеліс жиілігі негізгі зерттелетін параметрлердің бірі болып табылады.

Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A камера корпусынан жүктемеге (ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектері) берілетін жылдамдық пен энергияға тікелей әсер етеді, яғни, оның шамасының артуы кезінде үдеу шамасы өседі. Осының әсерінен, ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектерінің камера бетімен немесе өзара соқтығысу күші артып, ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін жоғарылатуға алып келуі тиіс. Аталған параметрдің

жоғары маңыздылығы мен реттелу жеңілдігін ескере отырып, бұл параметрді енгізу параметрі ретінде, яғни, өзгертілетін параметр ретінде таңдалды.

Осылайша, жаңа диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін параметрлерге талдау бойынша нәтижелерге сүйеніп, экспериментте енгізу (өзгертілетін) факторлары ретінде ұнтақтау камерасының айналым жиілігі n_k , дебалансты біліктің айналым жиілігі n_o және ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A таңдалып алынды. Сонымен қатар, ұнтақтау камерасының көлбеу бұрышының нақты мәні ары қарай эксперименттік зерттеулер үшін эксперимент жүзінде зерттеліп орнатылуы тиіс. Өйткені, бұл параметр конструкциялық тұрғыдан және бұрышты өзгерту процесі жағынан реттелуге күрделі болып келеді.

Жоғарыдағы талдауды ескере отырып (3.1) формуласы келесі түрде болады

$$d_q^{\min} = (n_k, n_o, A) \quad (3.2)$$

Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі өзгеру диапазоны $18 \leq n_k \leq 44$ айн/мин болып қабылданды, сондай-ақ, диапазонның минималды мәні [10,6.99] жұмысындағы эксперименттік зерттеулер негізінде қабылданды. Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі артқан сайын жүктеменің қозғалыс қарқындылығы жоғарылайды (ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі артады) деген болжамға негізделіп, экспериментті жоспарлау кезінде аталған параметрді өзгерту өсу жағына қарай болатыны қабылданды. Сонымен қатар, бұл параметрдің жоғарғы мәнінен (яғни 44 айн/мин) асыратын болсақ, камераның перифериялық бөлігінде ұнтақтау шарларының жиналып қалу әсері байқалады (осының әсерінен ұнтақтау (ұсақтау) процесі нашарлап, толық тоқтап қалуына дейін әкеліп соғуы мүмкін) деген болжамға сүйеніп таңдалды.

Дебалансты біліктің айналым жиілігінің n_o өзгеру диапазоны $1000 \leq n_o \leq 2000$ айн/мин болып қабылданды. Берілген диапазон аналогты диірмендерден (ұнтақтағыштардан) төмен алынғанын атап өткен жөн [10,6.99]. Бұл ұнтақтау шарларының күрделі қозғалысын ұйымдастыруға мүмкіндік беретін камераның ерекше пішіні арқылы ұнтақтау (ұсақтау) әсерінің күшеюіне байланысты тік бағытта жоғары тербеліс жиілігін тудыру қажеттілігінің жоқтығымен түсіндіріледі.

Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасының өзгеру диапазоны $2,5 \leq A \leq 3,5$ мм болып қабылданды. Шектік мәннің таңдап алынуы, тербеліс амплитудасының 3,5 мм артық болғанда диірменнің (ұнтақтағыштың) динамикалық параметрлеріне, оған қоса конструкцияның ұзаққа жарамдылығына кері әсерін тигізуімен негізделеді. Таңдалған диапазонның төменгі мәні $A = 2,5$ мм авторлардың жүргізген зерттеу нәтижелерімен негізделген [45,6.325]. Бұл зерттеулер нәтижелері бойынша $A < 2,5$ мм кезінде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігі төмен екендігі орнатылды.

Эксперименттік зерттеулер 2 этап арқылы жүргізілді:

1) Ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулер;

2) Ұнтақ майдалығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер.

Алдын ала эксперименттік зерттеулер аясында ұсынылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігі ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығы критерийін қолдана отырып бағаланды. Бұл критерий тиімділікті тура емес, жанама сипаттайды.

Негізгі эксперименттік зерттеулер аясында ұсынылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігі эксперименттік қондырғыда материалды ұнтақтау (ұсақтау) арқылы және ұнтақтың майдалығын өлшеу арқылы бағаланды.

3.2 Ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулер

Жаңа конструкциялы диірменде (ұнтақтағышта) соққымен қатар ыдыратушылық (бұзғыштық) әсер етудің бір тәсілі – ысқылау (қажалу) болып табылады. Оның мәні ұнтақтау шарларының бір-бірін қысу күші арқылы анықталады. Бөлшектердің ысқылануының (қажалуының) қажетті шарты (ығысу кернеуінің түзілуі) - ұнтақтау шарларының контактілі өзара қозғалысы болып табылады. Ығысу кернеуінің түзілуінің тиімділігін бағалаудың жанама критерийі ұнтақтау шарларының араласу жылдамдығы арқылы сипатталатын олардың өзара қозғалысы процесінің жылдамдығы болуы мүмкін.

Оған қоса, ұнтақтау шарларының өзара қозғалысын сипаттайтын араласу процесі ысқылау (қажалу) әсерінің динамикасын да сипаттайды, яғни, араласудың уақыты немесе жылдамдығы ұнтақтау камерасындағы шарлардың өзара қозғалысының қарқындылығын жанама түрде сипаттайды. Сонымен қатар, ол ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ысқылау (қажалу) жүктемелерінің түсу қарқындылығын айғақтайды.

Көлбеу цилиндрлік камерасында ұнтақтау шарларының үдеуі ұнтақтау камерасының көлбеу бұрышына пропорционалды болғандықтан, бұл параметрдің мәні жүктеменің (ұнтақтау шарлары мен ұнтақталатын (ұсақталатын) материал) бірқалыпты араласуы кезінде ұнтақтау шарларының байланыс санының өсуіне байланысты ұнтақтау шарларының соқтығысу күшіне және ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың ысқылау (қажалу) қарқындылығына тікелей әсер етеді. Сондықтан, алдымен ұнтақтау камерасы секциясының көлбеу бұрышының жүктеменің (ұнтақтау шарлары мен ұсақталатын материал) қозғалыс қарқындылығын бағалаймыз [86].

Осыған орай, авторлармен үш ұнтақтау камерасында ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығының зерттеулері жүргізілді. Бұл камералар бір біріне 20^0 , 35^0 , 45^0 бұрыш жасап шетжақтармен қосылған екі цилиндрлік секциядан тұрады (3.1-сурет).



а) 20°; б) 35°; в) 45°

Сурет 3.1 - Бір біріне бұрыш жасап шетжақтармен қосылған екі цилиндрлік секциядан тұратын ұнтақтау камералары [86,б.83]

Зерттеу жұмыстары камераның бір уақытта айналу және дірілді қозғалыс жасауын қамтамасыз ететін эксперименттік стендте (3.3-сурет) жүргізілді. Экспериментті зерттеулерді жүргізу тәртібі үш этаптан тұрды. Бірінші этапта бұрышы 20° болатын V-тәріздес камерасы бар стендте ұнтақтау шарларының араласу сапасын бағалауға негізделді. Эксперименттің алгоритміне сәйкес ұнтақтау камерасының бірінші секциясы ақ түсті шарлармен, ал екінші секциясы қара түсті шарлармен толтырылды (3.1-сурет). Стенд іске қосылғаннан кейін дірілді жетектің жұмысы және электр моторының камераны айналдыруы арқылы жүктелген шарлар күрделі айналмалы-дірілді қозғалыс жасады. Сонымен, айналу жиілігі - 60 айн/мин, ал тербеліс амплитудасы - 2,5 мм құрады. Эксперименттің келесі этаптары бірінші секілді ұнтақтау камерасы секцияларының көлбеу бұрыштары сәйкесінше 35° және 45° болған кезінде жүргізілді. Эксперимент кезінде ұнтақтау камерасының әр 3-ші айналымы сайын ұнтақтау шарларының камерада орналасу стоп-кадрлары түсіріліп алынды [86,б.83].

Эксперимент нәтижесі бойынша бір біріне 45° бұрыш жасап шетжақтармен қосылған екі цилиндрлік секция түрінде жасалған ұнтақтау камерасы (ары қарай 45° бұрышты V-тәріздес камера) қалған екі камерамен салыстырғанда ұнтақтау шарлары ұнтақтау камерасының 9-шы айналымы кезінде бірқалыпты араласатыны, ал 20° және 35° бұрышты камералар сәйкесінше 12-ші және 15-ші айналым кезінде толық араласатындары анықталды. Сондықтан, алдағы зерттеулер үшін 45° бұрышты V-тәріздес камера таңдалды [86,б.83].

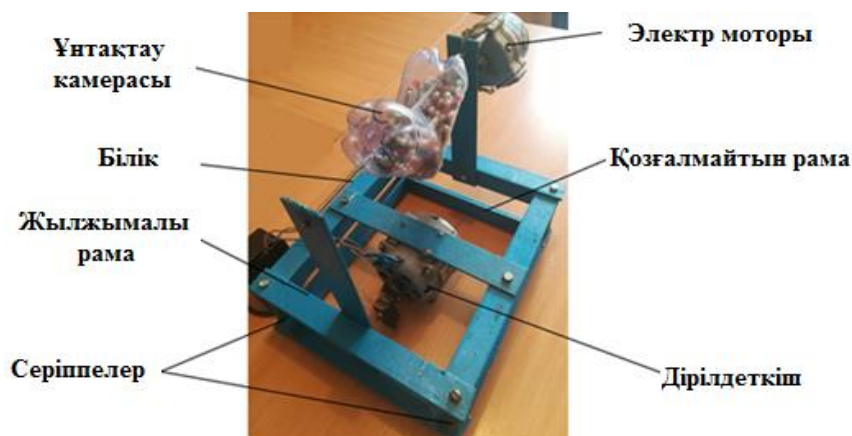
Эксперименттің келесі кезеңі 45° бұрышты V-тәріздес камера мен цилиндрлік көлбеу бұрышты камераның ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығына салыстырмалы талдау жүргізуге бағытталды (сурет-3.2). [10,б.99] жұмысында цилиндрлік көлбеу бұрышты камераның оңтайлы бұрышы 18° болып орнатылды.



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.2 - Экспериментте қолданылатын ұнтақтау камералары [86,б.83]

45⁰ бұрышты V-тәріздес камера мен цилиндрлік көлбеу бұрышты камераның (оңтайлы бұрышы - 18⁰) ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығына салыстырмалы талдау жасалды. Эксперимент авторлармен жасалған стендте жүргізілді (3.3-сурет). Стенд келесі элементтерден тұрады: ұнтақтау камерасынан, қозғалмайтын рамаға серіппелер арқылы бекітілген жылжымалы рамадан, дірілдеткіш (вибратор), электр моторы, білік.



Сурет 3.3 - Эксперименттік стенд [86,б.84]

Экспериментті бастамай тұрып 45⁰ бұрышты V-тәріздес камера мен цилиндрлік 18⁰ көлбеу бұрышты камералары екі камера алдын ала дайындалды. Эксперименттік зерттеулердің жүргізу тәртібі 2 кезеңнен тұрды. Бірінші кезеңде 45⁰ бұрышты V-тәріздес камералы стендте ұнтақтау шарларының араласу сапасы бағаланды. Эксперименттің алгоритміне сәйкес ұнтақтау камерасы қара және ақ түсті шарлармен толтырылды (3.4а-сурет). Стендті іске қосқаннан кейін дірілдеткіш пен электр моторы арқылы шарлардың күрделі айналымы-дірілді қозғалысы қамтамасыз етілді. Айналым жылдамдығы - 60 айн/мин, ал тербеліс амплитудасы - 2,5 мм болды. Эксперимент кезінде камераның әр 3-ші айналымы кезінде стоп-кадрлар жасалынды (3.5а-3.9а суреттер) [86,б.84].

Эксперименттің екінші кезеңінің объектісі ретінде цилиндрлік 18° көлбеу бұрышты камера алынды (3.4б-сурет). Эксперименттің бірінші кезеңіндегідей камера, алдымен қара және ақ түсті шарлармен толтырылды (3.4б-сурет). Эксперимент үрдісі V-тәріздес камераның эксперименті секілді жүргізілді.

Эксперименттің нәтижелерінен (3.5-3.9 суреттер) 45° бұрышты V-тәріздес камерада ұнтақтау шарларының бірқалыпты араласуы ұнтақтау камерасының 9-шы айналымында орын алатынын көруге болады, ал цилиндрлік 18° көлбеу бұрышты камерада 15-ші айналымда ғана байқалады. ұнтақтау шарларының бірқалыпты араласуы орын алған кейін камераның айналым санының мәндерінен кейін ары қарай араласу нәтижелерінің жақсаруы байқалмайды [86,6.84].



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.4 - Камералардың бастапқы орналасуы



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.5 - 3-ші толық айналымның стоп-кадры



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.6 - 6-ші толық айналымның стоп-кадры



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.7 - 9-ші толық айналымның стоп-кадры



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.8 - 12-ші толық айналымның стоп-кадры



а) V-тәріздес; б) көлбеу бұрышты

Сурет 3.9 - 15-ші толық айналымның стоп-кадры

V-тәріздес камерада шарлардың бірқалыпты араласуының жылдамырақ өтуі, ұнтақтау шарларының ұсынылған формалы камерада жоғары жылдамдық пен үдеумен қарқынды қозғалатынын айғақтайды. Бұдан, ұнтақтау шарлары бір-біріне қатысты қарқынды қозғалады, яғни, осы қозғалыс процесі кезінде олардың арасында жоғары қарқынды ысқылау (қажалу) күштері пайда болады. Бұл тұжырым V-тәріздес камералы дірілді-айналмалы жаңа конструкцияның цилиндрлік көлбеу бұрышты камерада [10,б.37] ұнтақтау (ұсақтау) процесінің қарқындырақ және тиімдірек болуы туралы болжам жасауға жол береді. Бұл ұнтақтау шарларының қарсы қозғалысын ұйымдастыру арқылы жүзеге

асырылады. Осы арқылы ұнтақтау шарларының өзара орын ауыстыру қозғалысының жылдамдығын арттыруға, ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне үлкен ысқылау (қажалу) және соққылы күштерін тудырып ұнтақтау шарларының бір-біріне қатысты өзара кірігу қарқындылығын жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер V-тәріздес камералы жаңа конструкцияның әлеуеті (потенциалы) бар екендігіне және ары қарай зерттеу жүргізуге негіздің болуына, сонымен бірге материалды майдалап ұнтақтау тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, нәтижесінде ұнтақтау камерасы секциясының горизонтальды оське қатысты тиімді (шектік) көлбеу бұрышы $\alpha = 45^{\circ}$ тең деп орнатылды. Бірақ, тәжірибе жүзінде бұл параметрдің ыңғайлы мәні $\alpha = 35^{\circ}$ болып таңдалды. Бұл мәнді таңдау конструкциялық талаптармен негізделеді, атап айтқанда, камераның айналу кезінде ортадан тепкіш күштердің туындауы нәтижесінде камераның тірек білікшесінің мойынтірегіне периодтық жүктемені азайту мақсатында, сонымен қатар, стендке диірмен (ұнтақтағыш) корпусын бекіту кезінде цапфалардың орналасу ыңғайлығы жатады. Сондықтан, ары қарай эксперименттерді жүргізу үшін ұнтақтау камерасы секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышын $\alpha = 35^{\circ}$ деп қабылдаймыз.

3.3 Ұнтақ майдалығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер

3.3.1 Эксперименттік қондырғының сипаттамасы

3.10-суретте екі басты бөліктен - жылжымалы және қозғалмайтын рамадан тұратын эксперименттік қондырғы көрсетілген. Эксперименттік қондырғының параметрлері теориялық есептеуде қабылданған параметрлеріне сәйкес ($D_k = 100$, $H = 165$, $\alpha = 35^{\circ}$). Эксперименттік қондырғының ұнтақтау камерасы мен оның цапфалары бойынша құрастыру сызбалары мен оларды жасау үшін маршруттық карта әзірленді (Қосымшалар Ж, И).



Ұнтақтау камерасында шарлар мен материалды енгізуге жүктеу люгі 4 бар. Жүктеу люгі 4 қақпақпен жабылған. Ұнтақтау камерасы 2 мойынтіректі тіректерде 3 орналастырылған. Ұнтақтау камерасы 2 жылжымалы рамада 4 орналасқан червякты редуктор 5, электр моторы 6 және сыналы-белдікті беріліс 7 арқылы горизонталды осьте айналу қозғалысын жасайды. Сонымен қатар, жылжымалы рама 1 қозғалмайтын рамаға 8 серпімді элементтер 9 (болатты серіппелер) арқылы бекітіледі. Оған қоса, жылжымалы рамада 1 электр моторы 12 және эластикалық (иілгішті) муфта 11 арқылы айналмалы дірілді тербелістерді тудыратын екі дебаланс 10 орнатылған. Қондырғы ұнтақтау камерасының айналу жылдамдығының диапазонын өзгертетін сына белдікті шкивтердің жинағымен жабдықталған [54,6.76; 87,6.109].

3.3.2 Экспериментті жоспарлау

Эксперимент бірінші ретті толық факторлы эксперимент (ТФЭ 2^k) типі бойынша жүргізілді. Ондағы факторлар саны $k=3$, өзгеру деңгейлер саны $p=3$, тәжірибелер саны $N_{on}=8$, қайталама тәжірибелер саны $n_{on}=5$.

Жоғарыда жасалған ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігіне әсер ететін факторлар талдауына және (3.2) формулаға негізделі отырып, енгізу (өзгерту) факторлары ретінде келесі параметрлерді қабылдаймыз: ұнтақтау камерасының айналым жиілігі n_k , дебалансты біліктің айналым жиілігі n_o және ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A .

Эксперименттің стандартты матрицасын құру мақсатында таңдалып алынған енгізу факторларының натуралды мәндерін кодталған өлшемсіз шамаға аудару қажет. Ол үшін келесі формуланы (3.1) қолданамыз [88,б.17].

$$X_u = \frac{x_u - x_{u0}}{\Delta x_u}, \quad (3.1)$$

мұндағы X_u - u факторының кодталған шамасы;

x_u - u факторының натуралды ағымдағы мәні;

x_{u0} - фактордың бастапқы нөлдік деңгейі;

Δx_u - u факторының өзгеріс интервалы.

$$\Delta X_u = \frac{x_{u\max} - x_{u\min}}{2}, \quad (3.2)$$

Кодталғаннан кейін факторлардың деңгейлері келесі мәндерді қабылдаймыз: +1 - жоғарғы деңгей; -1 - төменгі деңгей; 0 - нөлдік деңгей. 3.1-кестеде өзгерту деңгейлері келтірілген. Факторлардың өзара әрекеттесуі мен оларды белгіленуін ($x_1 = n_k$, $x_2 = n_o$, $x_3 = A$.) есепке ала отырып, жүргізілетін эксперимент үшін жоспарлау матрицасын құрамыз (3.2-кесте).

Кесте 3.1 - ТФЭ-тің зерттелетін факторлары мен өзгеру деңгейлері

Факторлар	Белгіленуі	Өлшем бірлігі	Өзгеру деңгейлері			Интервал
			-1	0	+1	
Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі	n_k	айн/мин	18	31	44	13
Дебалансты біліктің айналым жиілігі	n_o	айн/мин	1000	1500	2000	500
Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы	A	мм	2,5	3,0	3,5	0,5

Кесте 3.2 - Экспериментті жоспарлау матрицасы

Тәжірибе №	Жоспарлау матрицасы							Жұмыс матрицасы		
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	n_k , айн/мин	n_d , айн/мин	A , мм
1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	44	2000	2.5
2	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	18	2000	2.5
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	44	1000	2.5
4	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	18	1000	2.5
5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	44	2000	3.5
6	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	18	2000	3.5
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	44	1000	3.5
8	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	18	1000	3.5

3.3.3 Экспериментті жүргізу тәртібі

Теориялық есептеулерде секілді эксперименттік зерттеулерде материал ретінде бөлшектің өлшемі 100 мкм болатын өзен құмы таңдалды. Алдын ала ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдардың бөлшектері таңдалған бастапқы өлшемді алу мақсатында дірілелек (3.11-сурет) арқылы өткізілді.



Сурет 3.11 - Дірілелек

Эксперименттің алгоритміне сәйкес ұнтақтау шарлары салынған ұнтақтау камерасына ұнтақталатын (ұсақталатын) материал жүктелді (3.12-сурет).



Сурет 3.12 - Ұнтақтау шарлармен камераны толтыру

Ары қарай, экспериментті жоспарлаудың 3.2-кестеде келтірілген (№1 тәжірибе - параметрлер мәндері) параметрлеріне сәйкес ұнтақтау камерасын айналдыруға электр моторы, ал камераны тербеліске келтіру үшін діріл жетегі іске қосылады. Әр минут өткен соң, эксперимент қондырғысы тоқтатылып, камерадан материал сынамасы алынып, ұнтақтың майдалығын өлшеу жүргізілді. Шынайы эксперимент нәтижелерін алу мақсатында ұнтақтың майдалығын өлшеу 5 рет жасалды. Экспериментті жүргізу кезінде ұнтақтау (ұсақтау) процесі ұнтақ майдалығының тұрақты мәнін алғанға дейін өткізілді. Бұл максималды ұнтақтау (ұсақтау) уақытына сәйкес ұнтақтың максималды майдалығын алынғаныны көз жеткізеді.

Бөлшектерді өлшеу үшін ПСХ-10А аспабы қолданылды (3.13-сурет) [54,6.76].



Сурет 3.13 - ПСХ-10А аспабы арқылы ұнтақтың экспериментті майдалығын өлшеу [54,6.76]

Ұнтақтың майдалығын өлшеуді жүргізу үшін алдын ала құмның массасы таразы (3.14-сурет) арқылы өлшенді және одан соң өлшенген құм межеленген колбаға салынды.



Сурет 3.14 - Ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың массасын өлшеу [54,6.76]

Межеленген колба арқылы ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың қабатының қалыңдығы өлшенді. Қабаттың қалыңдығының шамасы аспапқа пернетақта арқылы енгізілді. Арнайы батырманы басқаннан кейін, өлшем нәтижелері аспаптың экранында көрсетілді.

3.2-кестедегі №2 тәжірибені орындау үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) енгізу параметрлерінің шамалары өзгертіліп орнатылды ($n_k=18$ айн/мин; n_d

=2000 айн/мин; $A=2,5$ мм). Ұнтақтау камерасының айналым жиілігін өзгерту сына белдікті шкивтер арқылы жүргізілді. Тербеліс амплитудасы екі дебалансты бір-біріне қатысты орналасу жағдайымен өзгертілді. Ұнтақтау камерасының діріл жиілігі диапазоны жиілікті түрлендіргіш көмегімен өзгертіліп отырды (3.15-сурет).

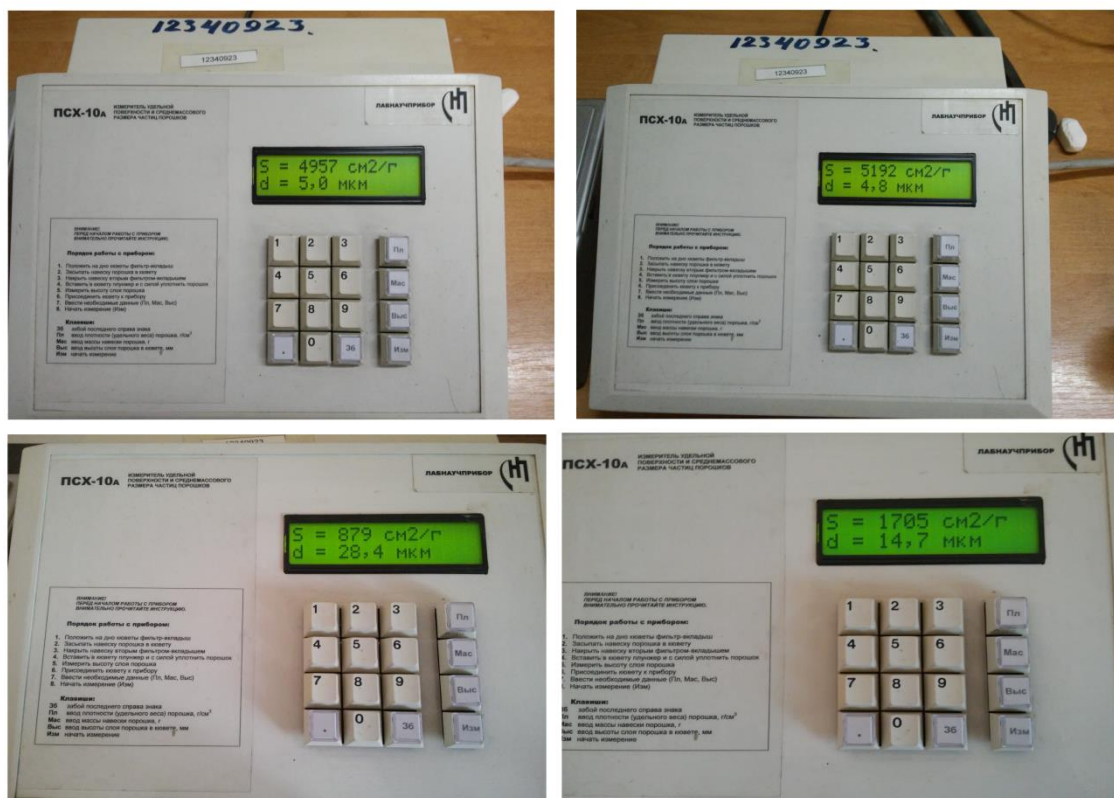


Сурет 3.15 - FR-E700 Mitsubishi Electric жиілікті түрлендіргіш арқылы дебалансты біліктің айналым жиілігін өзгерту

№3-8 тәжірибелері жоғарыда жасалған тәжірибелер секілді жүргізілді. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері 3.3-кестеде келтірілген (3.16-сурет).

Кесте 3.3 - ТФЭ 2³ жоспарлау матрицасы

Тәжірибе №	Жоспарлау матрицасы								Жұмыс матрицасы			Ұнтақтың жіңішкелігі (майдалығы) у, мкм	Ұнтақтың жіңішкелігінің (майдалығының) орташа мәні $\bar{y}_u$, мкм
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі, айн/мин	Дебалансты біліктің айналым жиілігі, айн/мин	Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
1	+	+	+	-	+	-	-	-	44	2000	2.5	8,1 7,3 7,4 7,5 8,0	7,66
2	+	-	+	-	-	+	-	+	18	2000	2.5	7,8 7,6 7,6 7,9 7,2	7,62
3	+	+	-	-	-	-	+	+	44	1000	2.5	29,5 29,9 30,2 30,0 30,2	29,96
4	+	-	-	-	+	+	+	-	18	1000	2.5	28,4 28,7 29,0 28,9 29,3	28,86
5	+	+	+	+	+	+	+	+	44	2000	3.5	4,9 4,4 4,8 4,6 4,3	4,60
6	+	-	+	+	-	-	+	-	18	2000	3.5	4,8 4,7 4,2 4,4 4,7	4,56
7	+	+	-	+	-	+	-	-	44	1000	3.5	16,2 16,1 16,0 15,6 15,4	15,86
8	+	-	-	+	+	-	-	+	18	1000	3.5	15,1 15,2 15,4 14,7 15,2	15,12

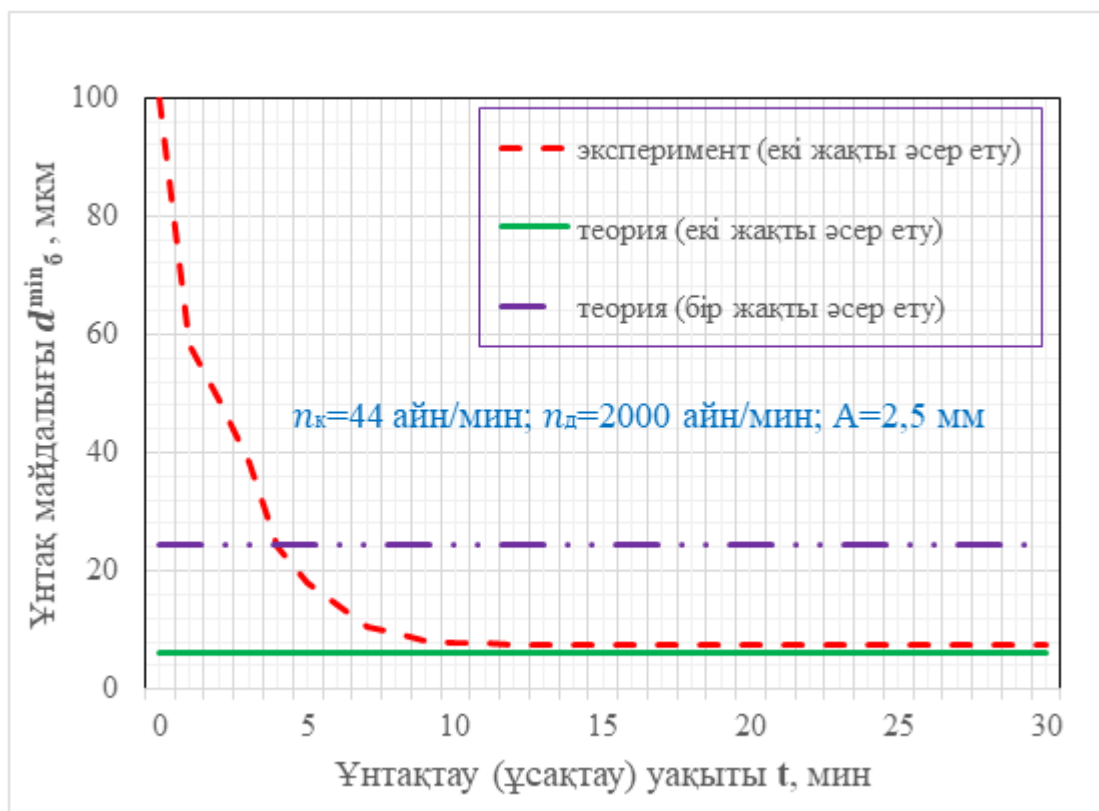


Сурет 3.16 - ПСХ-10А аспабы көмегімен өлшенген кейбір нәтижелер

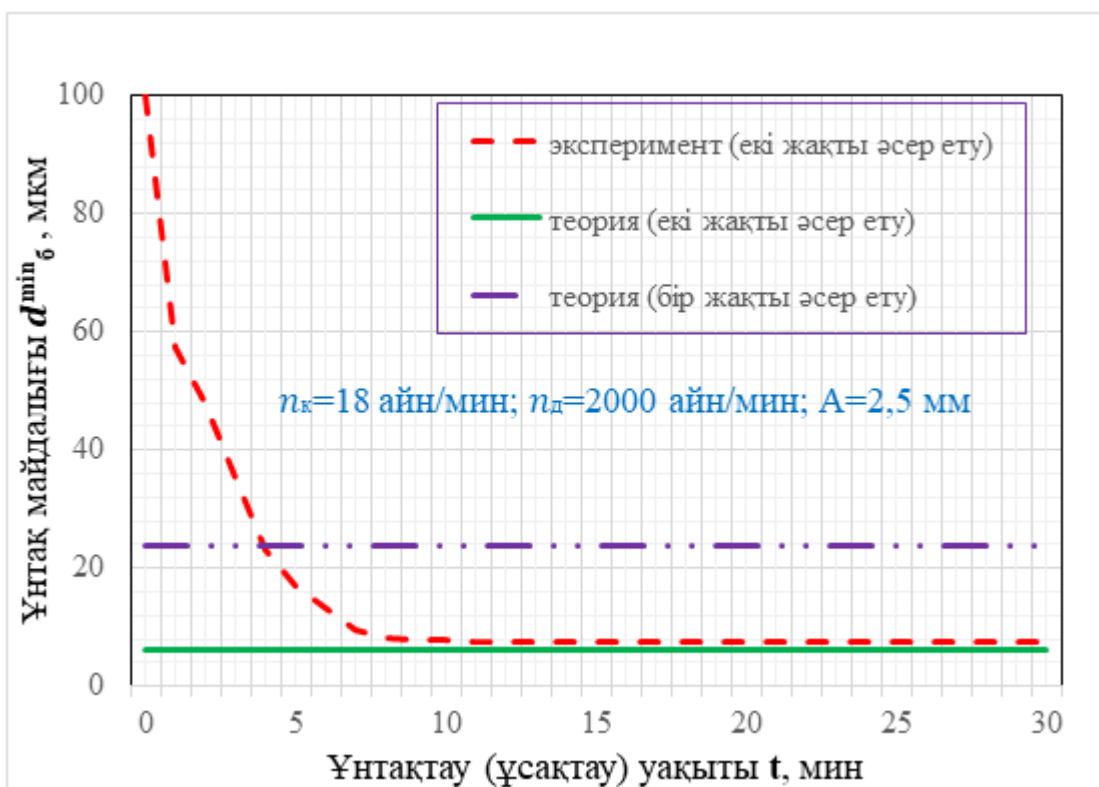
3.17-суретте теориялық зерттеулер мен көпфакторлы эксперименттің нәтижелерінің графикалық түрде бейнеленуі келтірілген. Олар ұнтақтау камерасының айналым жиілігі, камераның тербеліс амплитудасы және дебалансты біліктің айналым жиілігінің келесі мәндеріне сәйкес келеді:

- а) $n_k = 44$ айн/мин, $n_d = 2000$ айн/мин и $A = 2,5$ мм (сурет-3.17а);
- б) $n_k = 18$ айн/мин, $n_d = 2000$ айн/мин и $A = 2,5$ мм (сурет-3.17б);
- в) $n_k = 44$ айн/мин, $n_d = 1000$ айн/мин и $A = 2,5$ мм (сурет-3.17в);
- г) $n_k = 18$ айн/мин, $n_d = 1000$ айн/мин и $A = 2,5$ мм (сурет-3.17г);
- д) $n_k = 44$ айн/мин, $n_d = 2000$ айн/мин и $A = 3,5$ мм (сурет-3.17д);
- е) $n_k = 18$ айн/мин, $n_d = 2000$ айн/мин и $A = 3,5$ мм (сурет-3.17е);
- ж) $n_k = 44$ айн/мин, $n_d = 1000$ айн/мин и $A = 3,5$ мм (сурет-3.17ж);
- и) $n_k = 18$ айн/мин, $n_d = 1000$ айн/мин и $A = 3,5$ мм (сурет-3.17и).

а)

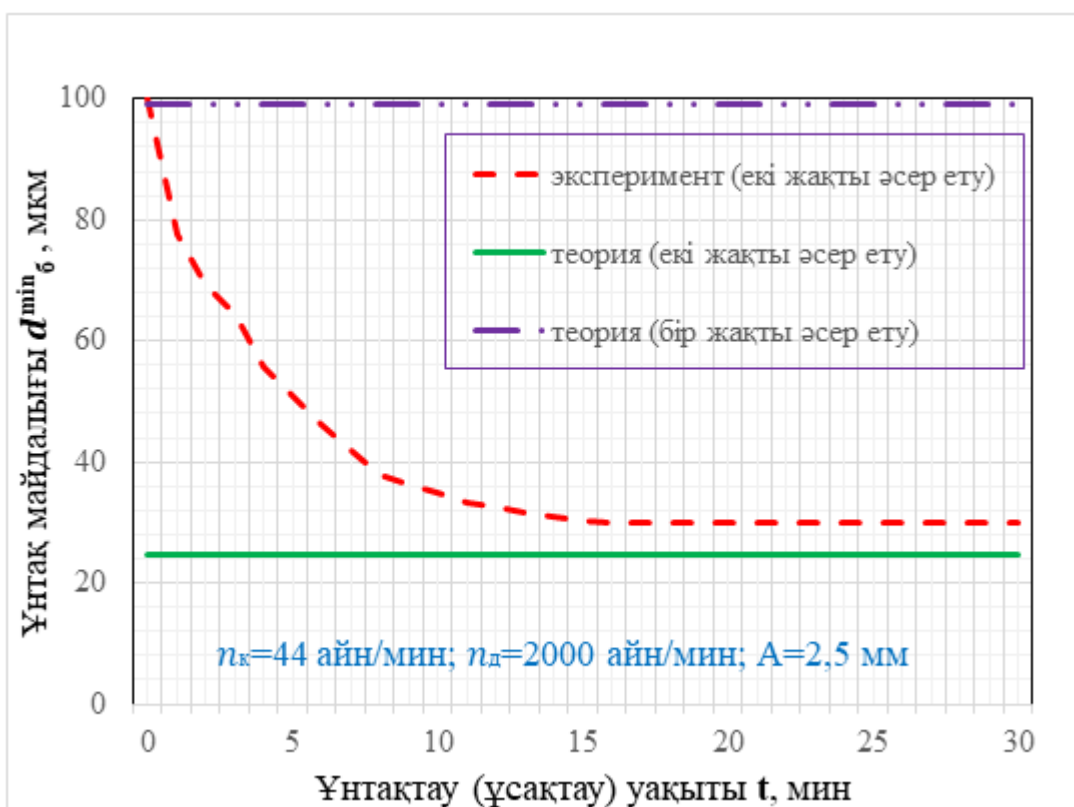


б)

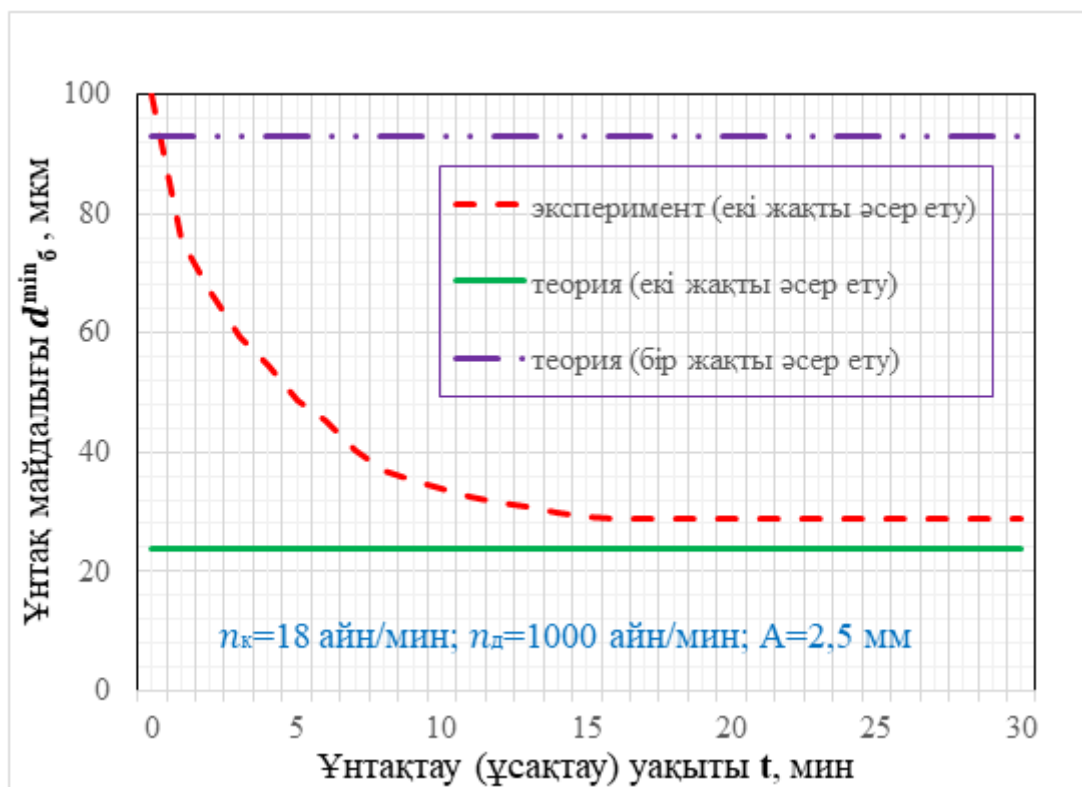


Сурет 3.17 - Теориялық және эксперименттік зерттеулердің салыстырмалы талдау нәтижелерінің графикалық мәліметтері, 1 бет

В)

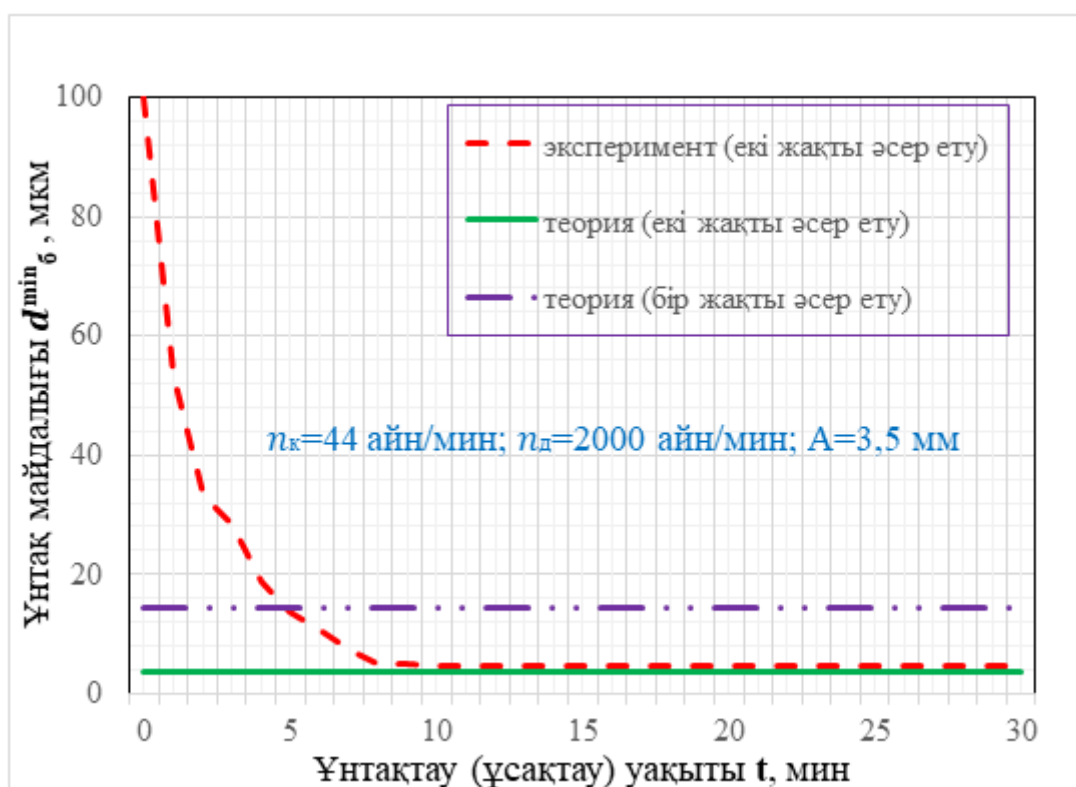


Г)

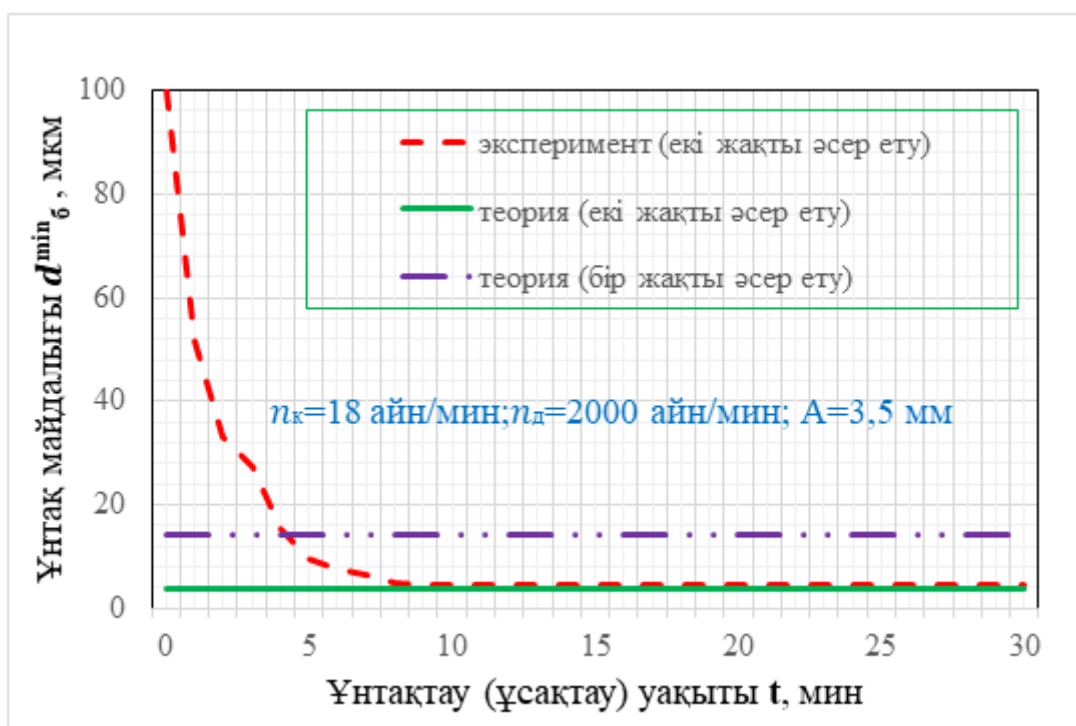


Сурет 3.17 - 2 бет

д)

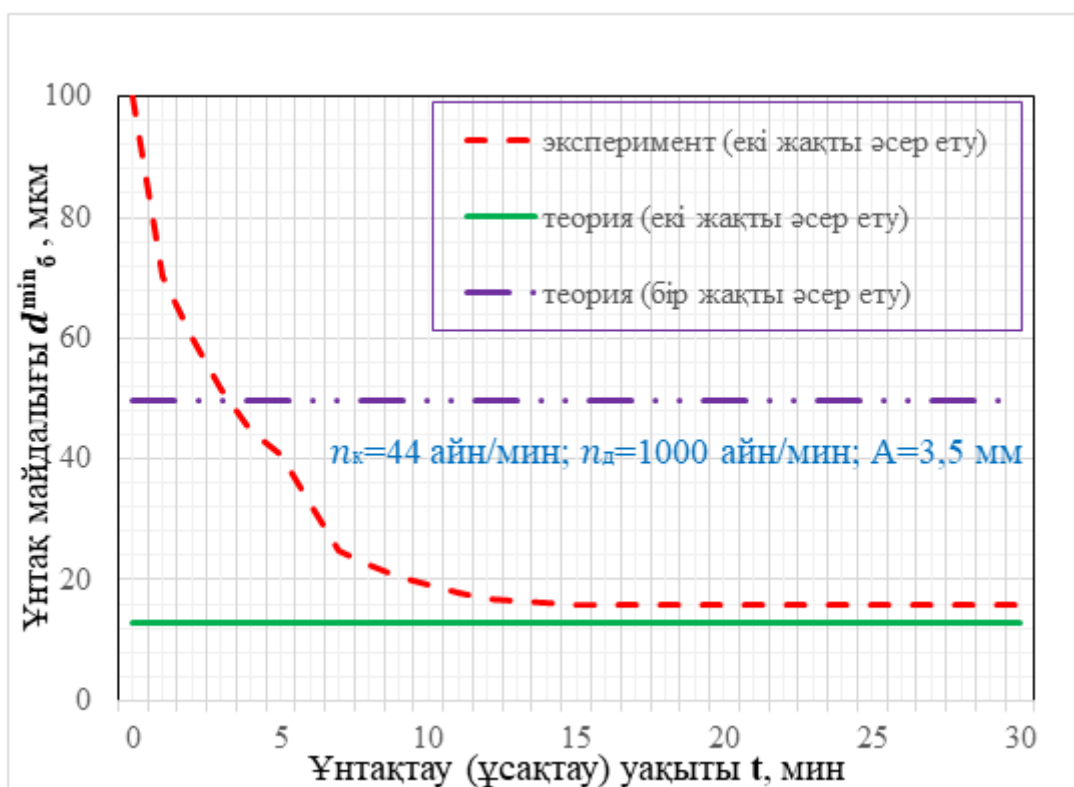


е)

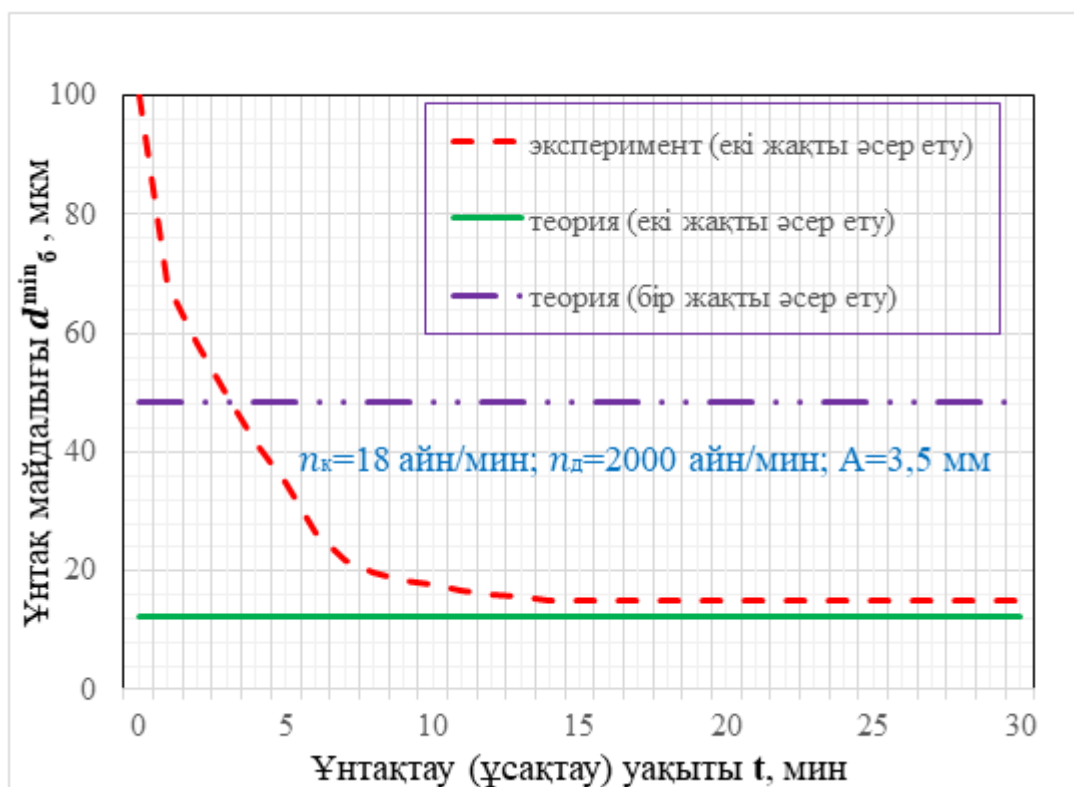


Сурет 3.17 - 3 бет

ж)



и)



Сурет 3.17 - 4 бет

Оған қоса, 3.17-суретте көрсетілген графиктерде материал бөлшегіне біржақты әсер ету жағдайында ұнтақтың максималды майдалығы мәнін сипаттайтын бақылау сызығы жүргізілген [54,6.77].

Жалпы, графиктерге талдау жүргізе отырып, ұнтақтың эксперименттік майдалығының қисығы белгілі бір мезетке дейін төмендейді, ал содан кейін өзгермейді. Қисық сызықтың тұрақты мәні материал бөлшегінің ыдырауының (бұзылуының) шекті мәніне жетуін және ұнтақтың максималды майдалығын сипаттайды.

Салыстырмалы талдауды жүргізу үшін теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін 3.4-кестеге жинақтайық.

Кесте 3.4 - Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері

Тәжірибе №	Ұнтақтау камерасының айналым жиілігі, айн/мин	Дебалансты біліктің айналым жиілігі, айн/мин	Ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы, мм	Ұнтақтың теориялық майдалығы, мкм	Ұнтақтың эксперименттік майдалығы, мкм	Қателігі	Ұнтақтау (ұсақтау) уақыты, мин
1	44	2000	2.5	6,26	7,66	18,27%	12
2	18	2000	2.5	6,14	7,62	19,42%	11
3	44	1000	2.5	24,76	29,96	17,35%	17
4	18	1000	2.5	23,88	28,86	17,25%	16
5	44	2000	3.5	3,70	4,60	19,56%	10
6	18	2000	3.5	3,66	4,56	19,73%	9
7	44	1000	3.5	12,71	15,86	19,86%	15
8	18	1000	3.5	12,38	15,12	18,12%	14

Сонымен, 3.4-кестеден ұнтақтаудың (ұсақтаудың) ең тиімді эксперименттік мәні, яғни ең жоғары шамасы ($d_o = 4.56$ мкм) $n_k = 18$ айн/мин, $A = 3,5$ мм және $n_o = 2000$ айн/мин болғанда орын алады.

3.3.4 Эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін өңдеу

Эксперименттің жоспарына сәйкес тәжірибелерді өткізгеннен кейін нәтижелердің статистикалық өңдеуі жүргізілді. Алдымен, қайталама (яғни, параллель) тәжірибелердің қателігі анықталды. Орташа квадраттық ауытқуды келесі өрнек бойынша анықтаймыз [88,б.37]

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (3.3)$$

мұндағы $\bar{y}$ - бес қайталама тәжірибеден алынған (кесте-3.3) параметрдің орташа арифметикалық мәні.

3.5-кестеде есептеу мәліметтері келтірілген.

Кесте 3.5 - Орташа квадраттық ауытқудың мәнін есептеудің нәтижелері

Тәжірибе №	1	2	3	4	5	6	7	8
S_i^2	0,129	0,072	0,083	0,113	0,065	0,063	0,118	0,067
S_i	0,3592	0,2683	0,2881	0,3361	0,2549	0,2509	0,3435	0,2588

Жарамсыздықты анықтау үшін Стюдент критерийін қолданамыз [88,б.37]

$$\frac{y - \bar{y}}{S_i} \geq t_{\text{немесет}} t_{\text{есен}} \geq t_{\text{кесте}} \quad (3.4)$$

мұндағы t - Стюдент критерийі, 5 қайталама тәжірибе үшін және сенімгерлік ықтималдық 0,95 болған жағдайдағы оның мәні 2,78-ге тең.

(3.4) тәуелділігіне сәйкес есептеу нәтижелері 3.6-кестеде келтірілген.

Кесте 3.6 - Стюдент критерийінің есептік мәндері

Тәжірибе №	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{\text{есен min}}$	1,0022	1,5654	1,5966	1,3686	1,1769	1,4348	1,3391	1,6228
$t_{\text{есен max}}$	1,2249	1,0436	0,833	1,3091	1,1769	0,9565	0,9898	1,0819
$t_{\text{кесте}}$	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78

$t_{\text{есен}} \geq t_{\text{кесте}}$ шарты барлық тәжірибелерге орындалмайды, сондықтан қайталама тәжірибелердің нәтижелері қате деп есептей алмаймыз.

Жаңғыртылу дисперсиясын келесі формуламен есептейміз [88,б.38]

$$s_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2}{N(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (3.5)$$

Жаңғыртылу дисперсиясы $s_{\{y\}}^2 = 0.088$ тең.

Дисперсияның біркелкілігін тексеру Фишер және Кохрен критерийлері арқылы орындауға болады.

Фишер критерийіне сәйкес келесі теңсіздік орындалған кезде дисперсия біркелкі болып саналады [88,б.38]

$$F_{есеп} = \frac{S_{max}^2}{S_{min}^2} < F_{кесте} \quad (3.6)$$

$$F_{есеп} = \frac{0.129}{0.063} = 2.04$$

[88,б.38] сәйкес еркіндік дәрежесі $f_1 = f_6 = n - 1 = 4$ және сенімгерлік ықтималдық 0,95 болған жағдайда $F_{кесте} = 6,4$ тең. Демек, Фишер критерийі бойынша дисперсияның біркелкілік шарты орындалады, яғни

$$F_{есеп} = 5,5257 < F_{кесте} = 6,4$$

Кохрен критерийіне сәйкес келесі теңсіздік орындалған кезде дисперсия біркелкі болып саналады [88,б.38]

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} < G_{кесте} \quad (3.6)$$

$$G_{есеп} = \frac{0,129}{0,71} = 0,1816$$

[88,б.38] сәйкес $G_{кесте} = 0.396$, демек Кохрен критерийі бойынша дисперсияның біркелкілік шарты орындалады, яғни

$$G_{есеп} = 0,2335 < G_{кесте} = 0,396.$$

Жұптық өзара әрекеттердің есебімен математикалық модельдің теңдеуі келесі түрде болады [88,б.38]

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.7)$$

Регрессия коэффициентерін толық факторлы эксперимент кезінде келесі өрнектер арқылы анықтайды [88,б.38]

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \hat{y}_u}{N} \quad (3.8)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \hat{y}_u}{N} \quad (3.9)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \hat{y}_u}{N}; \quad i \neq j \quad (3.10)$$

$$b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \hat{y}_u}{N}; \quad i \neq j \neq k \quad (3.11)$$

Жоғарыда көрсетілген өрнектер арқылы есептелген регрессия коэффициенттерінің есептеу нәтижелері 3.7-кестеде келтірілген.

Кесте 3.7 - Регрессия коэффициенттерінің есептеу мәндері

Регрессия коэффициенттері	Коэффициент мәндері
b_0	14,28
b_1	0,24
b_2	-8,17
b_3	-4,245
b_{12}	-0,22
b_{13}	-0,045
b_{23}	2,715
b_{123}	0,045

3.7-кестеден ең маңызды енгізу параметрлері дебалансты біліктің айналым жиілігі мен ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы болып табылады. Олар b_2 және b_3 коэффициенттеріне сәйкес келеді.

Жаңғыртылу дисперсиясының мәнін $s_{\{y\}}^2 = 0.088$ ескере отырып және сенімгерлік ықтималдық 0,95-ке тең болғанда регрессия коэффициенттері үшін сенімгерлік интервалдың шегін анықтаймыз [88,б.39]

$$\Delta b_i = \pm \frac{t \cdot S_{\{y\}}}{\sqrt{N}} \quad (3.12)$$

$$\Delta b_i = \pm \frac{2,78 \cdot 0,2966}{\sqrt{8}} = \pm 0,2915$$

Регрессия коэффициенттерінің мәндерін сенімгерлік интервалдардың шегімен салыстыра келе, b_1 , b_{12} , b_{13} , b_{123} коэффициенттері маңызды емес екенін көруге болады, яғни, x_1 , x_{12} , x_{13} , x_{123} коэффициенттер кезіндегі факторлар да маңызды емес болып саналады [88,б.39]

$$\hat{y} = 14.28 - 8.17x_2 - 4.245x_3 + 2.715x_2x_3 \quad (3.13)$$

Алынған теңдеудің шындыққа жанасымдылығын тексереміз. Оңтайландыру параметрлерінің теориялық мәндерін $\hat{y}$ және қателік шамасын $\Delta y = \bar{y} - \hat{y}$ анықтап [88,б.39], нәтижелерді 3.8-кестеге енгіземіз

Кесте 3.8 - Шындыққа жанасымдылық дисперсиясын есептеу үшін алдын ала мәліметтер

Тәжірибе №	1	2	3	4	5	6	7	8
$\hat{y}$	7,64	7,64	29,41	29,41	4,575	4,575	15,49	15,49
Δy	0,02	-0,02	0,55	-0,55	0,025	-0,015	0,37	-0,37
Δy^2	0,0004	0,0004	0,3025	0,3025	0,000625	0,000225	0,1369	0,1369

Шындыққа жанасымдылық дисперсиясын есептейміз [88,б.40]

$$S_{\text{шын}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{f} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta y^2}{f} \quad (3.14)$$

мұндағы $f = N - (k + 1)$ – еркіндік дәрежесінің саны.

$$S_{\text{шын}}^2 = \frac{0,88045}{8 - (3 + 1)} = 0,2201$$

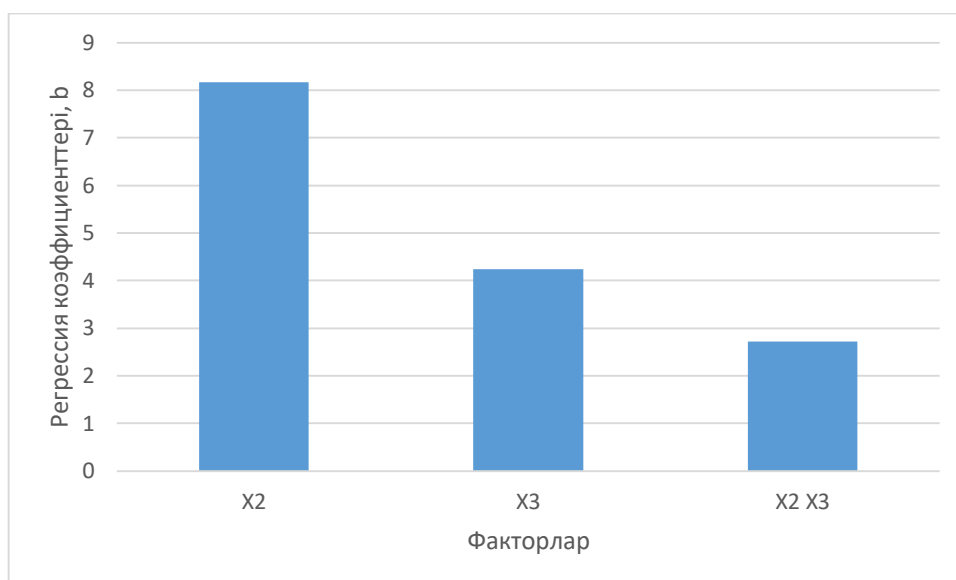
Математикалық модельдің шындыққа жанасымдылығын Фишер критерийі арқылы анықтаймыз [88,б.40]

$$F_{\text{есеп}} = \frac{S_{\text{шын}}^2}{m_{\{y\}}^2} \leq F_{\text{кесте}} \quad (3.15)$$

$$F_{\text{есеп}} = \frac{0,2201}{0,088} = 2.5 \leq F_{\text{кесте}} = 6,4$$

$F_{\text{есеп}} < F_{\text{кесте}}$, демек модель барабар.

(3.13) теңдеуді, факторларды және олардың алдындағы таңбаларды талдай отыра, x_1, x_2, x_3 факторлары ұнтақтау майдалығы $d_{\phi}^{\min}$ мәніне оң әсер етеді. Оның ішінде ең үлкен әсер ететін факторлар x_2 (дебалансты біліктің айналым жиілігі) және x_3 (ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы) факторлары (3.18-сурет).



Сурет 3.18 - Факторлардың маңыздылық гистограммасы

Түпкілікті зерттеу жұмысын жүргізу үшін (3.13) теңдеуін кодталған түрден натуралды түрге аудару қажет. Ол үшін (3.2) формуласын қолданамыз. Сонда натуралды түрдегі регрессия теңдеуі келесі түрде болады

$$\hat{y} = 14,28 - 8,17 \cdot \left(\frac{n_d - 1500}{500} \right) - 4,245 \cdot \left(\frac{A - 3,0}{0,5} \right) + 2,715 \left(\frac{n_d - 1500}{500} \right) \left(\frac{A - 3,0}{0,5} \right) \quad (3.15)$$

(3.15) формулада көрініп тұрғандай, регрессия теңдеуі сызықты тәуелділікті және енгізу параметрлерін ұнтақтау майдалығымен байланыстырады.

Алынған регрессия теңдеуі (3.15) мүмкіндік береді:

- ұқсас конструкциялы диірмендердегі (ұнтақтағыштардағы) кез келген ұнтақтау процесін болжамдауға;
- диірменнің (ұнтақтағыштың) негізгі параметрлері мен ұнтақтау (ұсақтау) процесінің нәтижесі арасындағы байланысты орнатуға;
- қажетті ұнтақтау (ұсақтау) нәтижесін алу үшін ұнтақтау (ұсақтау) процесіне әсер ететін диірменнің (ұнтақтағыштың) параметрлерінің ең тиімді үйлестірімділігін анықтауға;
- ұнтақтау (ұсақтау) нәтижесі мен диірмен (ұнтақтағыш) параметрлерінің байланысының графикалық бейнеленуін құруға;
- диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс параметрлерінің берілген нақты мәндері кезінде ұнтақтың майдалығының мәнін бағалауға.

3.4 Үшінші тарау бойынша қорытынды

1) Эксперименттік зерттеулерді жүргізу үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) енгізу және шығыс параметрлеріне таңдау жасалды: айналым жиілігі n_k , дебалансты біліктің айналым жиілігі n_d , ұнтақтау камерасының

тербеліс амплитудасы A (енгізу параметрлері) және ұнтақ майдалығы (шығыс параметрі).

2) Ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулердің нәтижелері алынды. Ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығы жанама критерийі арқылы ұнтақтау шарларының қарсы қозғалысын ұйымдастыру тиімділігі анықталды. Шарлардың араласу қарқындылығы камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышының α өсуі кезінде ұнтақтау шарларының өзара орын ауыстыру қозғалыс жылдамдығының артуын, ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне үлкен ысқылау (қажалу) және соққылы күштерін тудырып ұнтақтау шарларының бір-біріне қатысты өзара кірігу қарқындылығының жоғарылауын болжайды. Ұнтақтау камерасы секциясының горизонтальды оське қатысты тиімді (шектік) көлбеу бұрышы $\alpha = 45^\circ$ тең деп орнатылды. Оған қоса, тәжірибе жүзінде бұл параметрдің ыңғайлы мәні $\alpha = 35^\circ$ болатыны анықталды.

3) Материалдың кесек бөлшегіне ұнтақтау шарларының екі жақты (қарсы) әсер етуін ұйымдастыруды қамтамасыз ететін жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) эксперименттік қондырғысы жасалды.

4) Экспериментті жоспарлау орындалды: факторлар саны $k=3$, өзгеру деңгейлер саны $p=3$, тәжірибе саны $N_{on}=8$, қайталама тәжірибелер саны $n_{on}=5$.

5) Бастапқы өлшемі 100 мкм болатын құмды ұнтақтау (ұсақтау) бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде сыналатын материал ретінде таңдалған бастапқы өлшемі 100 мкм болатын құм ұнтағының максималды майдалығы $d_o = 4.56$ мкм тең болды.

6) Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері графикалық бейнеленуі ұсынылды, және соның көмегімен графикалық тәсіл арқылы ұнтақ майдалығын ұнтақтау (ұсақтау) уақытынан тәуелділік бойынша анықтауға мүмкіндік береді.

7) Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері арасындағы айырмашылық 17-19 % шегінде орналасқан. Бұл ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегін ыдырату (бұзу) процесі бойынша жасалған механикалық-математикалық моделінің шындыққа жанасымды екенін айтуға мүмкіндік береді.

8) Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері теориялық ұнтақ майдалығы эксперименттіктен жоғары екендігін көрсетті. Бұл шынайы жағдайда орын алатын факторларды есепке алу мүмкіндігінің болмауымен түсіндіріледі.

9) Эксперименттік зерттеулердің алынған нәтижелері мен экспериментті жоспарлау негізінде ұнтақтың эксперименттік майдалығын бағалау үшін регрессионды модель құрылды. Оның шындыққа жанасымдылығы Фишер критерийімен дәлелденді.

10) Регрессионды модель теңдеуінен ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың түпкі (соңғы) өлшеміне әсер ететін маңызды факторлар анықталды. Олар дебалансты біліктің айналым жиілігі n_o және ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A .

11) Алынған регрессия теңдеуі (3.15) ұсынылған жаңа диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясында кез келген ұнтақтау процесін болжамдауға, диірменнің (ұнтақтағыштың) негізгі параметрлері мен ұнтақтау (ұсақтау) процесінің нәтижесі арасындағы байланысты орнатуға, қажетті ұнтақтау (ұсақтау) нәтижесін алу үшін ұнтақтау (ұсақтау) процесіне әсер ететін диірменнің (ұнтақтағыштың) параметрлерінің ең тиімді үйлестірімділігін анықтауға, ұнтақтау (ұсақтау) нәтижесі мен диірмен (ұнтақтағыш) параметрлерінің байланысының графикалық бейнеленуін құруға, диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс параметрлерінің берілген нақты мәндері кезінде ұнтақтың майдалығының мәнін бағалауға мүмкіндік береді.

4 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІНІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНЫСЫ

4.1 Майдалап ұнтақтау қолданылатын өндіріс салалары

Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері металлургия, құрылыс, химия және т.б. өндіріс салаларында қолданылуы мүмкін (4.1-сурет).



Сурет 4.1 - Зерттеу нәтижелерін енгізудің негізгі бағыттары

Аталған салалардағы негізгі мәселе ұнтақтау майдалығының төмендігі мен жоғары энергия шығыны. Осыған байланысты, диссертациялық зерттеулердің нәтижелерін қолдану арқылы оңтайлы энергия шығындары кезінде ұнтақтау (ұсақтау) өнімінің қажетті өлшеміне қол жеткізуге болады.

Мысалы, кен-байыту саласында майдалап ұнтақтау пайдалы қазбаларды байыту үшін қолданылады. Бұл процесте майдалап ұнтақтау пайдалы қазбаларды байытудың дайындау кезеңіне жатады. Нәтижесінде байыту аппараттарында минералды құрамы бойынша кенді бөлу үшін оның тиімді ірілігіне қол жеткізіледі. Ұсынылған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілін ендіру кенді материалдарды ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін арттыруға, оған қоса, пайдалы қазбаларды байыту кезінде пайдалы өнімді бөліп алу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Құрылыс саласында майдалап ұнтақтау құрылыс материалдарының физика-химиялық құрамын жақсарту үшін пайдаланылады. Мысалы, құрғақ құрылыс қоспалары, тығыздығы төмен полистиролбетон, цемент, гипс және т.б. тұтқыр материалдарды өндіру кезінде шығарылатын өнімнің сапасын жақсарту үшін майдалап ұнтақтау құрылыс саласында өзекті болып табылады. Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері құрылыс материалдары ұнтағының жоғары майдалығын алуға, яғни, жоғары беріктікпен сипатталатын құрылыс материалдарының жаңа құрамын алуға мүмкіндік береді.

Химия өнеркәсібінде барлық жүргізілетін процестерде өзара әрекеттесетін материалдардың беттік аудандары өте маңызды параметр болып табылады. Көбінесе осы параметрден қандай да бір жасалатын химиялық реакцияның түпкі нәтижесі тәуелді болып келеді. Сондықтан қандай да бір реакцияның оңтайлы өтуі және бір-бірімен түйісу беттерінің жеткілікті болуы үшін бөлшектердің қажетті өлшемін қамтамасыз ету өте маңызды.

Материалдарды майдалап ұнтақтаудың ұсынылған тәсілін қолдану химиялық заттардың қажетті фракциясы мен беттік ауданын алуға мүмкіндік береді. Бұл айтарлықтай химиялық реакцияның жылдамдығын арттырады.

Лактық-сырлық өнеркәсібінде майдалап ұнтақтау лактық-сырлық материалдарды (бояулар, пигменттер және т.б.) өндіру кезінде қолданылады. Зерттеу нәтижелерін ендіру лактық-сырлық материалдарды тиімді ұнтақтауды және лактық-сырлық материалдардың жасыру қабілетін жоғарылатуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

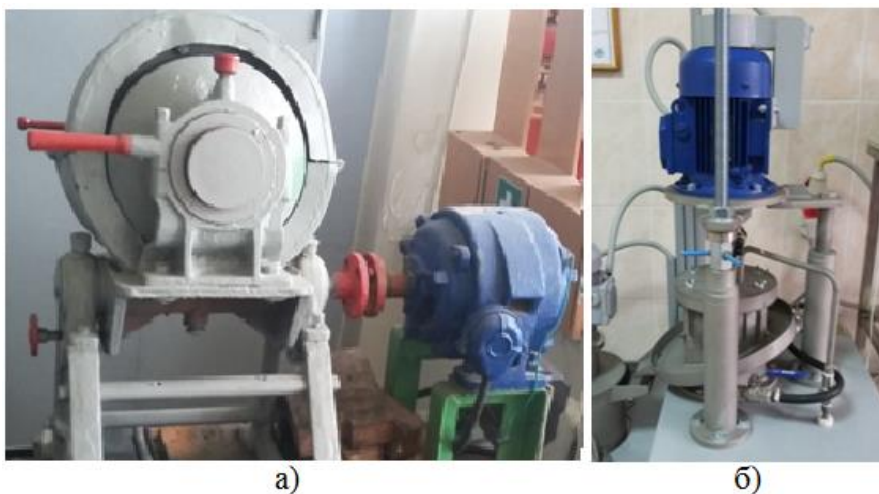
Ұсынылып отырған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілі тамақ өнеркәсібінде де пайдаланылуы мүмкін.

4.2 Ұнтақтаудың (ұсақтаудың) жаңа тәсілін өндіріске енгізу

Диссертациялық зерттеу нәтижелері Өскемен қаласындағы ЖШС «ЮА Трансстрой» құрылыс компаниясына ендірілді. Бұл компания әр түрлі құрылыс жұмыстарын жүзеге асырады.

ЖШС «ЮА Трансстрой» диірменнің (ұнтақтағыштың) лабораториялық нұсқасы ендірілді. Бұл диірмен (ұнтақтағыш) кәсіпорынның бетон, құрылыс қоспаларының сынамалы нұсқаларын жасауға қолданылатын құрғақ құрылыс материалдарын майдалап ұнтақтау үшін пайдаланады.

Ұнтақтау (ұсақтау) процесін жүзеге асыру мақсатында ЖШС «ЮА Трансстрой» компаниясында екі кезеңді ұнтақтау (ұсақтау) процесі қолданылады. Бірінші кезеңде ЛШМ-7 лабораториялық шарлы диірмені (4.2а-сурет) арқылы ірілеп ұнтақтау (ұсақтау), ал екінші кезеңде лабораториялық ЛБМ-3 бисерлі диірмені (4.2б-сурет) көмегі арқылы майдалап ұнтақтау жүзеге асырылады.



а) ЛШМ-7 диірмені; б) ЛБМ-3 диірмені

Сурет 4.2 - ЖШС «ЮА Трансстрой» қолданылатын лабораториялық диірмендер [89,б.121]

Аталған лабораториялық диірмендердің (ұнтақтағыштардың) техникалық сипаттамалары 4.1-кестеде келтірілген.

Кесте 4.1 - «ЮА Трансстрой» ЖШС құрылыс компаниясында қолданылатын ЛШМ-7 және ЛБМ-3 диірмендерінің техникалық сипаттамалары

Диірмен түрі	Ұнтақтың максималды майдалығы, мкм	Мотордың қуаты, кВт	Камера көлемі, л	Ұнтақтау шарларының диаметрі	Барабан/ротордың айналу жиілігі, айн/мин	Ұнтақтау уақыты, мин
ЛШМ-7	24	2,5	7	15-20	70	20
ЛБМ-3	5	2,1	3	15-10	2000	16

Екі кезеңді ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастыру үшін екі диірменді пайдалану қажеттілігінен туындап тұрған ұнтақтау (ұсақтау) процесінің жоғары энергия шығынын ескере отырып, аталған диірмендерді (ұнтақтағыштарды) диссертациялық жұмыста ұсынылып отырған диірменмен (ұнтақтағышпен) алмастыру ұсынылады. Осылайша, жаңа диірмен (ұнтақтағыш) қуатының салыстырмалы аз шығыны кезінде ұнтақтау (ұсақтау) жылдамдығының жоғары болу есебінен жаңа диірменді (ұнтақтағышты) кәсіпорынға енгізудің экономикалық тиімділігі ұнтақтау (ұсақтау) процесіне жұмсалатын энергия шығынының азаюына негізделетіні туралы болжам жасауға болады.

4.3 Экономикалық тиімділігін бағалау

«ЮА Трансстрой» ЖШС құрылыс компаниясының өндірістік процесіне жаңа диірменді (ұнтақтағышты) енгізудің экономикалық тиімділігі ұнтақтау (ұсақтау) процесін жүргізу кезінде электр энергия шығынын салыстыру арқылы анықталатын болады.

Ұнтақтау (ұсақтау) кезінде электр энергиясының шығыны жетектің шығындалатын қуатының шамасы мен материалды ұнтақтау (ұсақтау) уақыты негізінде есептелді. «ЮА Трансстрой» ЖШС компаниясының қабылдау комиссиясымен «кварцты құмды» ЛШМ-7, ЛБМ-3 және жаңа диірменмен (ұнтақтағышпен) ұнтақтау (ұсақтау) бойынша салыстырмалы тесттік зерттеулер жүргізілді. Сынақты жүргізу шарттарына сәйкес, бастапқы өлшемі 100 мкм болатын құм бөлшегін 10 мкм өлшемге дейін ұнтақтау (ұсақтау) қажет.

Жүргізілген тесттік зерттеу нәтижелері 4.2 және 4.3-кестелерінде келтірілген.

Кесте 4.2 - ЛШМ-7 және ЛБМ-3 диірмендерінде кварцты құмды ұнтақтау (ұсақтау) процесі бойынша жүргізілген тесттік зерттеулердің нәтижелері

№	Параметр атауы	Шамасы
1	2	3
1	ЛШМ-7 диірмені жетегінің қуаты	2,5 кВт
2	ЛБМ-3 диірмені жетегінің қуаты	2,2 кВт
3	ЛШМ-7 диірменін қолданып жасалған сынамалы тесттік зерттеулер саны (24 мкм ұнтақ майдалығына дейін)	1

4.2-кестенің жалғасы

1	2	3
4	ЛБМ-3 диірменін қолданып жасалған сынамалы тесттік зерттеулер саны (талап етілген 10 мкм ұнтақ майдалығына дейін)	4
5	ЛШМ-7 диірменінде ұнтақтау (ұсақтау) уақыты	20 мин
6	ЛБМ-3 диірменінде ұнтақтау (ұсақтау) уақыты (төрт сынамалы тесттік зерттеулерді есепке алғанда)	32 мин

Кесте 4.3 - Жаңа диірменде (ұнтақтағышта) кварцты құмды ұнтақтау (ұсақтау) процесі бойынша жүргізілген тесттік зерттеулердің нәтижелері

№	Параметр атауы	Шамасы
1	Ұнтақтау камерасы жетегінің қуаты	0,75 кВт
2	Дірілді жетектің қуаты	5,5 кВт
3	Сынамалы тесттік зерттеулер саны	2
4	Ұнтақтау (ұсақтау) уақыты	11 мин

(4.1) тәуелділігі негізінде зерттеудің берілген екі жағдайы бойынша энергиялық тиімділігін есептейміз [89,б.126]

$$W = P \cdot t \quad (4.1)$$

ЛШМ-7 және ЛБМ-5 диірмендерінде ұнтақтау (ұсақтау) процесіне жұмсалатын энергия шығыны сағ [89,б.126]

$$W_{\text{ЛШМ-7}} = \frac{2,5 \cdot 20}{60} = 0,83 \text{ кВт} \cdot \text{сағ},$$

$$W_{\text{ЛБМ-7}} = \frac{2,2 \cdot 32}{60} = 1,17 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Бір тестілік зерттеу үшін энергияның жалпы шығыны [89,б.126]

$$W_{\Sigma 1} = W_{\text{ЛШМ-7}} + W_{\text{ЛБМ-3}}, \quad (4.2)$$

$$W_{\Sigma 1} = 0,83 + 1,17 = 2,0 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Компания қызметкерлерімен $N_{\text{ИР}} \gg 55$ рет ұнтақтау (ұсақтау) жұмыстары жүргізілетінін ескергенде электр энергиясының күндік шығыны [89,б.126]

$$W_{\Sigma K} = W_{\Sigma 1} + W_{\text{ИР}}, \quad (4.3)$$

$$W_{\Sigma K} = 2 \cdot 55 = 110,0 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Бір жылда $N_{жк} = 246$ жұмыс күні кезінде электр энергиясына жұмсалатын жылдық шығын (5-күндік, 40-сағаттық жұмыс аптасы) [89,б.126]

$$W_{\Sigma 1} = W_{ЛШМ-7} + W_{ЛБМ-3}, \quad (4.4)$$

$$W_{\Sigma ж} = 110 \cdot 246 = 27060,0 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Электр энергиясының ағымдағы тарифіне (2019 ж., ҚҚС қоспағанда) 1 кВт үшін $T_{\vartheta} = 14,488$ теңге есепке ала отырып, электр энергиясына жұмсалатын жылдық қаржылық шығын $\Phi_{эж}$ [89,б.126]

$$\Phi_{эг} = W_{\Sigma г} \cdot T_{\vartheta}, \quad (4.5)$$

$$\Phi_{эг} = 27060,0 \cdot 14,488 = 392045,28 \text{ теңге}$$

Жаңа диірмен (ұнтақтағыш) үшін жоғарыда секілді ұқсас электр энергиясының шығынын есептеу жүргізілді. Есептеулер нәтижелері 5.4-кестеде келтірілген

Кесте 4.4 - Экономикалық есептеудің нәтижелері

№	Диірмен (ұнтақтағыш) түрлері	Бір тесттік зерттеу үшін жұмсалатын шығын, кВт·сағ	Электр энергиясының бір күндік шығыны, кВт·сағ	Электр энергиясының жылдық шығыны, кВт·сағ	Электр энергиясының жылдық қаржылық шығыны, теңге
1	ЛШМ-7 және ЛБМ-3 диірмендері	2,0	110,0	27060,0	392045,28
2	Жаңа диірмен (ұнтақтағыш)	1,4	79,7	19608,64	284090,12

4.4-кестеге сәйкес ЖШС «ЮА Трансстрой» құрылыс компаниясына жаңа диірменді (ұнтақтағышты) енгізу арқылы электр энергиясына жұмсалатын шығынды 38 % төмендетуге болатынын көруге болады. Жаңа диірменді (ұнтақтағышты) ЖШС «ЮА Трансстрой» енгізудің экономикалық тиімділігі осы кәсіпорында қолданылатын диірмендермен (ұнтақтағыштармен) салыстырғанда ұнтақтау (ұсақтау) процесіне кететін уақыт шығынының аз болуымен байланысты.

Қабылдау комиссиясының құрамында бас инженер Б. А. Алиханов, бас механик Ж. М. Занкерев, ОТБ басшысы М. А. Досымбаевамен диссертациялық зерттеу нәтижелерін енгізу бойынша материалдарды ұнтақтаудың (ұсақтаудың) жаңа тәсілін ендіру акті жасалды (Қосымша Г).

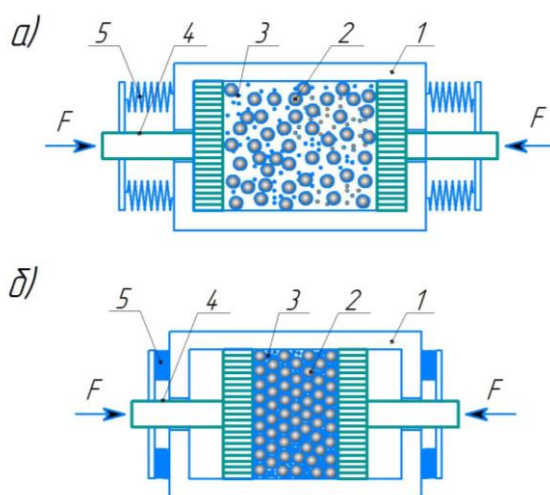
Оған қоса, диссертациялық зерттеу нәтижелері Торайғыров университетінің «Металлургия» кафедрасының 6B07110 «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» білім бағдарламасының «Кен дайындау және байыту құралдары» пәнінің оқу бағдарламасына ендірілді. Енгізу актісі Қосымша Д көрсетілген.

4.4 Ұсынылған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілін жүзеге асыруға болатын перспективалық әдістері

Бұл диссертациялық жұмыста ұнтақтау (ұсақтау) процесінің қолданыстағы тәсілдерінен ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне ұнтақтау шарларының екі жақты әсер етуімен айрықшаланатын жаңа тәсілдің тиімділігі зерттелді. Жасалған ұнтақтау процесінің математикалық моделі ұсынылған тәсілдің салыстырмалы жоғары тиімділігін көрсетті, ал эксперименттік зерттеулер бұл болжамды растады.

Диссертацияда жаңа ұнтақтау (ұсақтау) тәсілін жүзеге асыру мақсатында айналмалы-дірілді диірменнің конструкциясы ұсынылды. Бұл диірмендегі (ұнтақтағыштағы) материалға екі жақты әсер ету процесі V-тәріздес пішінді камерада жүзеге асырылады. Осындай камера пішіні ұнтақтау шарларының бір-біріне қарсы соқтығысуын, сонымен қатар олардың материал бөлшегіне екіжақты әсер етуін ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Бірақ, ұсынылған екіжақты әсер ету тәсілін ұйымдастыру максималды тиімді болып табылмайды, ал диірменнің өзі көбіне лабораториялық жағдайда қолданылуы мүмкін.

Олай болса, ұсынылған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілін жүзеге асырудың тиімдірек әдістерін іздестіру қажеттілігі туындайды. Келесі диірменнің (ұнтақтағыштың) конструкциялық сұлбасын қолдану ұсынылған тәсілді жүзеге асырудың ең тиімді нұсқасы ретінде қарастырылуы мүмкін. 4.3-суретте осы конструкцияның сұлбасы көрсетілген.



а) бастапқы қалыбы; б) жүктемені екі жақтан қысу кезіндегі қалыбы

Сурет 4.3 - Диірменнің (ұнтақтағыштың) перспективті конструкциясының сұлбасы

Диірменнің (ұнтақтағыштың) принципіалдық сұлбасы камера 1, ұнтақтау шарлары 2, піспек 3, шток 4 және серіппелерден 5 тұрады. Аталған диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыс принципі белгілі бір F күшінің штоктарға әсерінен штоктар қозғалысқа келтіріледі. Ал штоктар піспектерді қозғалысқа келтіреді. Піспектер үдемелі режимде орын ауыстырып, ұнтақтау шарларының бір-біріне қарсы бағытта соқтығысуын қамтамасыз етеді. Аталған сұлбаның V-тәріздес пішінді диірменнен (ұнтақтағыштан) артықшылығы - ұнтақтау шарларының теориялық тұрғыдан кез келген едәуір жоғары соқтығысу жылдамдығын жүзеге асыруға мүмкін болуында (бұл жылдамдықтардың шамаларын реттеуді қамтамасыз еткенде ғана). Сондықтан берілген сұлба ұсынылған ұнтақтау (ұсақтау) тәсілінің артықшылықтарын ары қарай практикалық түрде жүзеге асыру үшін тиімдірек және перспективті болып табылады.

Штоктарға күштік әсерді беру көздері ретінде әр түрлі тәсілдер қолданылуы мүмкін. Олар механикалық, гидравликалық немесе пневматикалық жетектер болуы мүмкін.

4.5 Төртінші тарау бойынша қорытынды

1) Диссертациялық зерттеу нәтижелерін пайдалану бойынша материалдарды майдалап ұнтақтау қолданылатын өндіріс салалары анықталды

2) «ЮА Трансстрой» ЖШС құрылыс компаниясына зерттеу нәтижелері енгізілді. Енгізу нәтижесінде кәсіпорында қолданылатын диірмендермен (ұнтақтағыштармен) салыстырғанда жаңа диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау (ұсақтау) процесі кезінде электр энергиясына жұмсалатын шығын қуаттық шығын мен ұнтақтау уақытының төмендеуі әсерінен 38 %-ға төмендеді.

3) Диссертациялық зерттеу материалдары оқу процесіне енгізілді.

4) Материалдары ұнтақтаудың (ұсақтаудың) ұсынылған тәсілі негізінде диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясын жетілдірудің перспективті бағыттары анықталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

1) Әр түрлі диірмендердің (ұнтақтағыштардың) түрлерін талдаудың негізінде ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін едәуір арттыруды қамтамасыз ететін ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың негізгі тәсілдері анықталды: жұмыс органдарының айналмалы-дірілді қозғалысы; энергияны механикалық түрде жеткізу; ұнтақтау денелерін(шар) қолдану; ұнтақтау материалына соққылы-ысқылау(қажалу) әсерін беру; ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалысы; ұнтақтау денелерінің(шар) бойлық-көлденең қозғалысы. Шарлы, бисерлі және дірілді диірмендерде ұнтақтау денелері(шар) мен материалдың қарсы қозғалыс (қарсы соқтығысу) тәсілі жүзеге асырылмайтыны анықталды.

2) Материалдың кесек бөлшегіне ұнтақтау шарларымен екі жақты (қарсы) әсер етуді ұйымдастыру («белсенді шар – белсенді шар» сұлбасы) арқылы шарлардың бөлшекке әсер берудің жалпы жылдамдығын (энергиясын) арттыруды қамтамасыз етуге негізделген ұнтақтаудың (ұсақтаудың) тиімділігін арттыру идеясы ұсынылды.

3) Ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастырудың тиімді тәсілдерінің барлығын жүзеге асыратын, оған қоса, қолданыстағы диірмендерден (ұнтақтағыштардан) ұнтақтау шарларымен материалдың кесек бөлшегіне ұнтақтау (ұсақтау) тиімділігін қосымша арттыруға бағытталған екі жақты (қарсы) әсер беруді қамтамасыз ететін ұнтақтау (ұсақтау) принципімен айрықшаланатын диірменнің (ұнтақтағыштың) жаңа конструкциясы ұсынылып отыр.

4) Алғаш рет материалдың кесек бөлшегін екі жақты әсер беру арқылы ыдырату (бұзу) процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды, және материал ұнтағының теориялық майдалығын анықтау үшін (2.52) есептік тәуелділіктер анықталды.

5) Жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) геометриялық сипаттамаларының шамалары (D_k , H , $\varphi_{ш}$, φ_m , α , $d_{ш}$) анықталды және негізделді. Теориялық зерттеу нәтижелері диірменнің максималды параметрлері ($A=3.5$ мм, $n_o=2000$ айн/мин) және камера секциясының көлбеу бұрышы $\alpha=35^\circ$ тең кезінде ұнтақталатын материал бөлшегіне екіжақты әсер беру арқылы ұнтақтың максималды теориялық майдалығы $d_q^{\min}=3.16$ мкм құрайтынын көрсетті. Теориялық салыстырмалы талдау нәтижесінде ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегіне екіжақты әсер беру кезінде ұнтақ майдалығы біржақты әсер беру кезінде алынатын ұнтақ майдалығынан 4 есе артық болуы мүмкін екені анықталды.

6) Диірменнің (ұнтақтағыштың) максималды параметрлері ($A=3.5$ мм, $n_o=2000$ айн/мин) және камера секциясының көлбеу бұрышы $\alpha=35^\circ$ тең болғанда ұнтақтың максималды майдалығын ($d_q^{\min}=3.16$) қамтамасыз ету үшін жұмсалатын диірменнің (ұнтақтағыштың) теориялық қуаты (161.17 Вт) анықталды. Оған қоса, диірменнің (ұнтақтағыштың) келесі параметрлерінен

қуаттың сандық тәуелділіктері анықталды: тербеліс амплитудасы, дебалансты біліктің айналу жиілігі және камера секциясының горизонтальды оське қатысты көлбеу бұрышы.

7) Эксперименттік зерттеулерді жүргізу үшін диірменнің (ұнтақтағыштың) енгізу параметрлері болып айналым жиілігі n_k , дебалансты біліктің айналым жиілігі n_0 , ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A , шығыс параметрі ұнтақ майдалығы (шығыс параметрі) болып таңдалды.

8) Ұнтақтау шарларының араласу қарқындылығы жанама критерийі бойынша ұнтақтау шарларының қарсы қозғалысын ұйымдастыру тиімділігі эксперимент арқылы анықталды. Ұнтақтау камерасы секциясының тиімді (шектік) көлбеу бұрышы $\alpha = 45^\circ$ тең деп орнатылды. Оған қоса, тәжірибе жүзінде бұл параметрдің ыңғайлы мәні $\alpha = 35^\circ$ болатыны анықталды.

9) Материалдың кесек бөлшегіне ұнтақтау шарларының екі жақты (қарсы) әсер етуін ұйымдастыруды қамтамасыз ететін жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) эксперименттік қондырғысы жасалды. Экспериментті жоспарлау орындалды. Факторлар саны $k=3$, өзгеру деңгейлер саны $p=3$, тәжірибе саны $N_{on}=8$, қайталама тәжірибелер саны $n_{on}=5$ болып орнатылды.

10) Бастапқы өлшемі 100 мкм болатын құмды ұнтақтау (ұсақтау) бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде сыналатын материал ретінде таңдалған бастапқы өлшемі 100 мкм болатын құм ұнтағының максималды майдалығы $d_0 = 4.56$ мкм тең болды. Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері арасындағы айырмашылық 17-19 % шегінде орналасқан. Бұл ұнтақталатын (ұсақталатын) материал бөлшегін ыдырату (бұзу) процесі бойынша жасалған механикалық-математикалық моделінің шындыққа жанасымды екенін айтуға мүмкіндік береді.

11) Регрессионды модель теңдеуінен ұнтақталатын (ұсақталатын) материалдың түпкі (соңғы) өлшеміне әсер ететін маңызды факторлар анықталды. Олар дебалансты біліктің айналым жиілігі n_0 және ұнтақтау камерасының тербеліс амплитудасы A . Алынған регрессия теңдеуі (3.15) ұсынылған жаңа диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясында кез келген ұнтақтау процесін болжамдауға мүмкіндік береді.

12) «ЮА Трансстрой» ЖШС құрылыс компаниясына зерттеу нәтижелері енгізілді. Енгізу нәтижесінде кәсіпорында қолданылатын диірмендермен (ұнтақтағыштармен) салыстырғанда жаңа диірменде (ұнтақтағышта) ұнтақтау (ұсақтау) процесі кезінде электр энергиясына жұмсалатын шығын қуаттық шығын мен ұнтақтау уақытының төмендеуі әсерінен 38 %-ға төмендеді. Диссертациялық зерттеу материалдары оқу процесіне енгізілді. Материалдарды ұнтақтаудың (ұсақтаудың) ұсынылған тәсілі негізінде диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясын жетілдірудің перспективті бағыттары анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Львов В.В. Новые технологии в тонком и сверхтонком измельчении минерального сырья // Записки Горного института. – 2013. – Т. 202. – С. 115-117.
- 2 Partyka T., Yan D. Fine grinding in a horizontal ball mill // Minerals Engineering. – 2007. – Vol. 20, Iss. 4. – P. 320–326.
- 3 Олевский В.А. Размольное оборудование обогатительных фабрик. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1963. – 447 с.
- 4 Вержанский А.П., Дмитрак Ю.В. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – М.: МГГУ. – 2000. – №10. – С. 184 –188.
- 5 Гурьянов Г.А., Байгереев С.Р., Сулейменов А.Д. Анализ и выбор разрушающего воздействия для создания эффективных измельчителей тонкого помола. – 2017. [Электронный научный журнал «Автомобиль. Дорога. Инфраструктура»]. http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/339/pdf_231
- 6 Rajaonarivony K.R., Mayer-Laigle C., Piriou B., Rouau X. Comparative comminution efficiencies of rotary, stirred and vibrating ball-mills for the production of ultrafine biomass powders // Energy. – 2021. – Vol. 227. P. 120508.
- 7 Беззубцева М.М., Пасынков В.Е., Родюков Ф.Ф. Теоретическое исследование электромагнитного способа измельчения материалов. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 49 с.
- 8 Постникова И.В., Постникова И.В., Блиничев В.Н., Кравчик Я. Струйные мельницы // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2015. – №2 (42). – С. 144–151.
- 9 Акунов В.И. Струйные мельницы: элементы теории и расчета / – Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1967. – 264 с.
- 10 Гаврунов А.Ю. Вибровращательная мельница с продольно-поперечным движением мелющих тел: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2014. – 167 с.
- 11 Guo W., Gao P., Tang Zh., Han Y., Meng X. Effect of grinding media properties and stirrer tip speed on the grinding efficiency of a stirred mill // Powder Technology. – 2021. – Vol.382.– P. 556–565.
- 12 Genç Ö. Analysis of grinding media effect on specific breakage rate function of particles in a full-scale open circuit three-compartment cement ball mill // Minerals Engineering. – 2015. – Vol.81. – P. 10–17.
- 13 Крутилин А.Н., Бестужев Н.И., Бестужев А.Н., Каленкович Д.Н. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы // Литье и металлургия. – 2009. – № 4 (53). – С. 26-33.
- 14 Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы (с поперечно-продольным движением загрузки). – Белгород: БелГТАСМ, 2002. – 258 с.
- 15 Дмитрак Ю.В. Движение мелющей загрузки в шаровых мельницах // Вектор ГеоНаук. – 2021. – Т. 4., № 1. – С. 28-36.

16 Белоглазов И.И., Сабинин Д.С., Николаев М.Ю. Моделирование процесса дезинтеграции в шаровых мельницах барабанного типа с использованием метода дискретных элементов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 268-282.

17 Гурьянов Г.А., Байгереев С.Р. Примеры формулирования и реализации принципов совершенствования измельчителей тонкого помола // Актуальные проблемы развития строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию доктора технических наук, профессора КазАДИ им. Л.Б. Гончарова Киялбаева Абды Киялбаевича. – Алматы: КазАДИ, 2017. – С. 217-221.

18 Козырь А.В., Кутлубаев И.М., Попова Т.М., Пыталев И.А. Имитационное моделирование процесса движения мелющих тел в барабанной шаровой мельнице // Вестник МТУ им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2015. – №3. – С. 75-77.

19 Голованов Е.В., Блохин А.Н. Разработка методов анализа содержания наноматериала в полимерных средах // Современная техника и технологии. – 2013. – № 7 [Электронный ресурс]. <https://technology.snauka.ru/2013/07/2138>.

20 Stehr N. Recent developments in stirred ball milling // International Journal of Mineral Processing. – 1988. – Vol.22, Iss. 1–4. – P. 431-444.

21 Riley M., Pinkney S., Blackburn S., Rowson N.A. Spatial distributions of media kinetic energy as measured by positron emission particle tracking in a vertically stirred media mill // Minerals Engineering. – 2016. – Vol.98. – P. 177-186.

22 Govender I., Rubenstein J., Westhuizen A., Mainza A. Tracking the motion of media particles inside an IsaMill (TM) using PEPT // Minerals Engineering. – 2011. – Vol.24, Iss. 3–4. – С.195-204.

23 Stirred Milling machine development and application extension. <http://www.ceecthefuture.org/wp-content/uploads/2014/03/Allen.pdf>

24 Абдулова С.Р. Вибрационные мельницы: аспекты классификации // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск, 2015. – № 3 (98). – С. 30-34.

25 Анциферов А.В., Титов А.А. Анализ исследования механики движения загрузки вибрационных мельниц // Науковий Вістник. – 2002. – №5. – С. 55-62.

26 Wang J., Gao J., Brandt K. L., Jiang J., Liu Y. and Wolcott M. P. Improvement of enzymatic digestibility of wood by a sequence of optimized milling procedures with final vibratory tube mills for the amorphization of cellulose // Holzforschung. – 2017. – Vol. 72. – P. 435–441.

27 Виброкинетическая энергетическая мельница Модель 1040 ВКЭ. <https://www.microgrind.com/m1040>.

28 Мешков Ф.А. Обоснование параметров вибрационной мельницы для тонкого измельчения горных пород с учётом динамики мелющих тел: автореф. ... канд.техн.наук. 05.05.06.– М.: МГТУ, 2002.–24с.

29 Мельницы VIBRA-DRUM. <https://www.generalkinematics.com/product/grinding-mill-machine/>.

30 А.с. 1827288. Шаровая мельница / Е.Д. Ларионов, Н.А. Бородин, А.А. Долгих; опубл. 15.07.93, Бюл. №26. – 2 с.

31 Suleimenov A.D., Bekbolatov K.S., Kумыkova T.M. Analysis of constructions of milling machines for fine grinding // Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана: Материалы III Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2017. – С. 219-223.

32 Пат. 1243818 СССР, МПК 4В02С19/16. Вибрационная мельница / Н.Г. Картавый, Ю.С. Цыплаков, В.П. Красовский, В.А. Балаян, В.В. Бедим; заявитель и патентообладатель Московский ордена трудового красного знамени горный институт. – № 481311; заявл. 28.06.83; опубл. 15.07.1986, Бюл. №26. – 2 с.

33 Пат. №2501608 Российская Федерация, МПК В02С19/00. Вибрационная мельница / С.Л.Букин, А.С. Букин // № 2012104105/13; заявл. 06.02.2012., опубл. 20.12.2013, Бюл. №35. – 14 с.

34 Букин С.Л., Сергеев П.В., Букина А.С. Сравнение результатов процесса измельчения в вибрационной мельнице с гармоническим и бигармоническим режимами работы // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог: Акад. горных наук Украины Криворожский техн. ун-т, ГАК «Укррудпром», 2014. – С. 149-159.

35 Пат. 2147931 Российская Федерация, МПК В02С17/06. Вибровращательная шаровая мельница / Чайников Н.А., Мозжухин А.Б., Жариков В.В., заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – №98108314/03; заявл. 28.04.1998; опубл. 27.04.2000. – 7 с.

36 Пат. 105199 Российская Федерация, МПК В02С17/06. Вибровращательная мельница / Гаврунов А.Ю., Богданов В.С., заявитель и патентообладатель Белг. госуд. технол. ун-т им. В.Г. Шухова – № 2010152390/21; заявл. 21.10.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. №16. – 10 с.

37 Гаврунов А. Ю., Богданов В.С. Вибровращательная мельница с продольно-поперечным движением мелющих тел // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 864-869.

38 Chen Y.R., Lu Y.C., Lian X.M., Li C.Y., & Zheng S.L. Effects of Rotation Speeds and Media Density on Ground Calcium Carbonate during Ultrafine Grinding Process in Planetary Mill // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol.997. – P. 542–545.

39 Wang M.H., Yang R.Y., Yu A.B. DEM investigation of energy distribution and particle breakage in tumbling ball mills // Powder Technology. – 2012. – Vol.223. – P. 83–91.

40 Фёдоров С.М. Сравнительный анализ механики движения шаров в барабанной и вибрационной мельницах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 2005. – №12. – С. 208-215.

41 Austin L.G., Klimpel R.R., Luckie P.T. Process Engineering of Size Reduction // SME. – New York, 1984. – 561 p.

- 42 Napier-Munn T.J., Morrell S., Morrison R.D., Kojovic T. Mineral comminution circuits: their operation and optimisation, in T.J. Napier-Munn (Ed.) // JKMRС Monograph Series in Mining and Mineral Processing, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre. – Brisbane, 1996. – 413 p.
- 43 Zhukovskiy Y.L.; Korolev N.A.; Malkova Y.M. Monitoring of grinding condition in drum mills based on resulting shaft torque // Journal of Mining Institute. – 2022. – Vol.256. – P. 686–700.
- 44 Сурашов Н.Т., Гудович М.И. Машины и оборудование предприятий отрасли строительной индустрии: учебник / под общ. ред. Н.Т. Сурашова. – Алматы: ТОО BOOKPRINT, 2014. – 245 с.
- 45 Шишканов К.А., Дмитрак А.Ю. Анализ конструкций и основных характеристик вибрационных мельниц // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №4. – С. 324-328.
- 46 Лесин А.Д., Белкин Л.И. Вибрационное измельчение материалов. Элементы теории и методика расчета основных параметров вибромельниц. – М.: Промстройиздат, 1957. – 113 с.
- 47 Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А. Совершенствование мельниц с побуждающим рабочим органом на основе анализа основных факторов, влияющих на эффективность помола // Труды университета (Карагандинский государственный технический университет). – 2018. – №3. – С. 22-26.
- 48 Jayasundara C.T., Yang R.Y., Yu A.B., Rubenstein J. Effects of disc rotation speed and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill // International Journal of Mineral Processing. – 2010. – Vol.96, Iss.1–4. – P. 27–35.
- 49 Bernotat S. Vibration mill results in the light stress intensity and number of stressing events // International Journal of Mineral Processing. – 2004. – Vol.74. – P. 119–122.
- 50 Козловский В.И., Вайтехович П.Е., Камлюк Т.В. Влияние размера мелющих тел на эффективность диспергирования материала в шаровой мельнице с мешалкой // Труды БГТУ. Серия «Химия и технология неорганических веществ». – Минск: БГТУ, 2016. – №3. – С. 136-141.
- 51 Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal // Powder Technology. – 1986. – Vol.49, Iss. 1. – P. 75–82.
- 52 Simba K.P., Moys M.H. Effects of mixtures of grinding media of different shapes on milling kinetics // Minerals Engineering. – 2014. – Vol.61. – P. 40–46.
- 53 Khumalo Simiso & Hlabangana Nkosikhona & Danha Gwiranai & Muzenda E. Effect of media shape on particle breakage in a batch ball mill: Lessons learnt from Population Balance Model and Attainable Region technique // Procedia Engineering. – 2019. – Vol.35. – P. 75–79.
- 54 Baigereyev S., Guryanov G., Suleimenov A., Abdeyev B., Kim V. New Method for Materials Comminution Using Grinding Balls // International Review of Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 17, Iss. 2. – P. 71–79.

- 55 Abdeev B., Baigereyev S., Guryanov G. Generalized dynamic theory of a solid particle grinding by pulse-force compression with two non-deformable balls // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2018. – Vol. 4. – P. 278–289.
- 56 Пат. № 2547 Республика Казахстан, МПК В02С 17/06 (2006.01). Устройство для тонкого измельчения материалов / Гурьянов Г.А., Кумыкова Т.М., Сулейменов А.Д. – № 2017/0343.2; заявл. 31.05.2017; опубл. 29.12.2017, Бюл. №26(II). – 4 с.
- 57 Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. – М. : Высшая школа, 1987. – 366 с.
- 58 Beke B. The process of fine grinding. – Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk, 1981. – 149 p.
- 59 Богданов В.С., Романенко В.С. Определение усилия измельчения в горизонтальной валковой мельнице с учетом прочности материала // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2012. – №4. – С. 84-87.
- 60 Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Рыспаев К.С. Теория дробления ингредиентов взвесей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – С. 48–51.
- 61 Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А., Сулейменов А.Д., Ким В.А. Установление зависимости энергии измельчения от геометрических и эксплуатационных параметров в новой вибровращательной мельнице // Вестник ВКТУ. – 2022. – №2. – С. 40-52.
- 62 Landsberg G. Elementary Textbook of Physics. – Moscow: Fizmatlit, 2001. – 520 p.
- 63 Артемьев К.А., Алексеева Т.В., Белокрылов В.Г. Дорожные машины: машины для устройства дорожных покрытий. – М.: Машиностроение, 1982. – 396 с.
- 64 Baigereyev S., Guryanov G. New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 19. – P. 768–778.
- 65 Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с.
- 66 Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций / избр. работы под ред. Э.И. Григолюка. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
- 67 Кильчевский Н.А. Теория соударения твердых тел. – К.: Наукова думка, 1969. – 248 с.
- 68 Hertz H.R. Die Prinzipien der Mechanik. – Leipzig J.A. Barth, 1894. – 312 p.
- 69 McElroy L., Bao J., Jayasundara S.T., Yang R.Y., Yu A.B. A soft-sensor approach to impact intensity prediction in stirred mills guided by DEM models // Powder Technology. – 2012. – Vol. 219. – P. 151–157.
- 70 Штаерман И.Ф. Контактная задача теории упругости. – М.: Л.: Гостехиздат, 1949. – 270 с.

- 71 Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.А. Инженерные методы исследования ударных процессов. – М.: Машиностроение, 1969. – 251 с.
- 72 Воронков И.М. Курс теоретической механики. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 596 с.
- 73 Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела: в 3 т. – М.: Наука, 1975. – Т. 1. – 832 с.
- 74 Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. – 704 с.
- 75 Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 856 с.
- 76 Добронравов В.В., Никитин И.Н. Курс теоретической механики: учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 575 с.
- 77 Николаева Е.А. Основы механики разрушения. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2010. – 103 с.
- 78 Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости / пер. с англ. М.И. Рейтмана; под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
- 79 Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 608 с.
- 80 Yong Th. A course of lectures on natural philosophy and the Mechanical arts // London, printed for J. Johnson. –1807. – Vol. 1. – P. 144–146.
- 81 Искрицкий Д.Е. Строительная механика элементов машин. – Л.: Судостроение, 1970. – 448 с.
- 82 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы / пер. с англ. И.Г. Арамановича [и др.]; под общ. ред. И.Г. Арамановича. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
- 83 Baigereyev S.R, Guryanov G.A, Suleimenov A D. Method of decrease in energy intensity of the grinding process in stirred mills // Science and technology of Kazakhstan. – 2023. – №3. – P. 102-112.
- 84 Булгаков Е.Б. Вертикальная вибрационная мельница: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / БГТУ им. В.Г.Шухова. – Белгород, 2008. – 166 с.
- 85 Jasuandura R. Yang, A. Yu. Effect of the size of media on grinding performance in stirred mills // Mineral Engineering. – 2012. – Vol.33. – С. 66–71.
- 86 Сулейменов А.Д., Гурьянов Г.А., Васильева О.Ю. Предварительная экспериментальная оценка интенсивности измельчения в вибровращательной мельнице новой конструкции // Вестник ВКТУ. – 2018. – №1. – С. 80-86.
- 87 Сулейменов А.Д., Гурьянов Г.А. Результаты экспериментальных исследований некоторых параметров новой вибровращательной мельницы // Труды университета (Карагандинский государственный технический университет). – 2019. – №3. – С.109-112.
- 88 Хамханов К.М. Основы планирования эксперимента: Методическое пособие для студентов специальностей 190800 «Метрология и метрологическое обеспечение» и 072000 «Стандартизация и сертификация (по отраслям пищевой

промышленности)». – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2001. – 50 с.

89 Байгереев С. Р. Обоснование параметров и создание конструкции роторно-вибрационного измельчителя с разработкой технологии изготовления: дис. ... д-ра философии (PhD): 6D071200 / ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2020. – 172 с.

ҚОСЫМША А

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің
халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының
хаттамасынан үзінді

БЕКІТЕМІН

«Д.Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан техникалық
Университеті» КеАҚ

Басқарма мүшесі-

ғылым және инновациялар

жөніндегі проректор

Ж.Т.Конурбаева

«24» 01 2024 ж.

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің
халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының
2024 жылғы 24 қаңтардағы № 1 хаттамасынан

ҮЗІНДІ

Қатысқандар: Ж. Т. Рахметуллина, ф-м.ғ.к., Халықаралық инженерия мектебінің деканы; С.Р. Байгереев, PhD докторы, Халықаралық инженерия мектебінің деканының орынбасары; Г.А. Гурьянов, т.ғ.к., профессор; М.В. Дудкин, т.ғ.д., профессор; Марек Млынчак, хабилизацияланған доктор, профессор; М.С. Муздыбаев, т.ғ.к., профессор; А.С. Муздыбаева, т.ғ.к., профессор; А.В. Вавилов, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; С.Д. Капаева, т.ғ.к., профессор; Р. Ғабдысалық, PhD докторы, қауымдастырылған профессор; К.К. Комбаев, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; А.Г. Завалко, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; Б.Н. Азаматов, доктор PhD, аға оқытушы; Б.Ж. Есеркегенова, доктор PhD, аға оқытушы; Д.М. Мырзабекова, доктор PhD, аға оқытушы; Т.Ф. Брим, доктор PhD, аға оқытушы; В.Н. Вдовин, т.ғ.к., аға оқытушы; А.Х. Машекенова, т.ғ.к., аға оқытушы; аға оқытушылар: А.С. Абеджанова, Д.С. Кабдуллина, Г.Н. Конарбаева, Р.О. Оралбеков; халықаралық инженерия мектебінің докторанттары: А.Д. Сулейменов, М.Т. Капкенова, Г.Б. Тлеужанова, Д.С. Айдарханов, Н.М.Магазов.

Барлығы 27 адам қатысты.

Төраға: ф-м.ғ.к., Халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж.Т. Рахметуллина

Хатшы: Халықаралық инженерия мектебінің жоғары санатты квалификациялы әдіскері, М.Т. Закиева.

КҮН ТӘРТІБІНДЕ:

А.Д. Сулейменовтың 6D071200 «Машина жасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысын талқылау.

А.Д. Сулейменов 2016 жылы Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің 6D071200 «Машина жасау» мамандығы бойынша PhD докторантураға оқуға қабылданды.

Университеттің Ғылыми кеңесінің шешімімен (12 қазан 2016 ж. №2 хаттама, 21 қазан 2016 ж. №716-С бұйрығы) диссертациялық жұмыстың тақырыбы «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» бекітілді, сонымен қатар отандық ғылыми кеңесші ретінде – т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасының профессоры Т.М. Кумыкова, ал шетелдік ғылыми кеңесші ретінде – хабилитацияланған доктор, Вроцлав политехникалық университетінің (Вроцлав қ. Польша) профессоры тағайындалды.

Университеттің Ғылыми кеңесінің шешімімен (01 қараша 2017 ж. №3 хаттама) екінші отандық ғылыми кеңесші ретінде – т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасының профессоры Г.А. Гурьянов тағайындалды.

Университеттің Ғылыми кеңесінің шешімімен (19 қаңтар 2024 ж. №10 хаттама, 22 қаңтар 2024 ж. №134-С бұйрығы):

- диссертациялық жұмыстың тақырыбы келесі редакцияда түзетілді: «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу»;

- бірінші отандық ғылыми кеңесші, т.ғ.к., Жер туралы ғылымдар мектебінің профессоры – Т.М. Кумыкова босатылды;

- бірінші отандық ғылыми кеңесші ретінде – т.ғ.к., Халықаралық инженерия мектебінің профессоры Г.А. Гурьянов тағайындалды;

- екінші отандық ғылыми кеңесші ретінде – PhD докторы, Халықаралық инженерия мектебі деканының орынбасары С.Р. Байгереев тағайындалды.

Отандық ғылыми кеңесшілері:

Гурьянов Георгий Александрович – т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебінің профессоры

Байгереев Самат Рахимғалиевич – PhD докторы, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебі деканының орынбасары

Шетелдік ғылыми кеңесші:

Марек Млынчак – хабилитацияланған доктор, Вроцлав политехникалық университетінің профессоры (Вроцлав қ., Польша)

2017 жылдың 21 қарашасынан 2017 жылдың 27 қарашасына дейін PhD докторанты А.Д. Сулейменов бірінші шетелдік ғылыми тағылымдамасын, ал 2019 жылдың 11 мамырынан 2019 жылдың 17 мамырына дейін екінші шетелдік тағылымдамасын Вроцлав политехникалық университетінде (Вроцлав қ., Польша) өтті.

Отырыстың сапалық құрамы: Кеңейтілген ғылыми семинардың отырысында 6D071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша PhD докторанттардың ғылыми бағыттарының профиліне сәйкес келетін ғылым салаларында ғылыми зерттеулермен айналысатын 12 маман бар. Олардың

ішінде техника ғылымдарының докторы - 1, техника ғылымдарының кандидаты - 6 және (PhD) философия докторлары – 5.

Рецензенттер:

- т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебінің профессоры, Муздыбаев Мурат Сеитович;

- PhD докторы, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебінің қауымдастырылған профессоры Ғабдысәлік Риза

ТЫҢДАЛДЫ:

Қатысушыларға 6D071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» диссертация тақырыбында ұсынылғанын халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының төрағасы ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина хабарлады.

Отандық ғылыми кеңесшілер – Гурьянов Георгий Александрович, т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебінің профессоры; Байгереев Самат Рахимғалиевич, PhD докторы, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, халықаралық инженерия мектебінің деканының орынбасары.

Шетелдік ғылыми кеңесші – Марек Млынчак, хабилизацияланған доктор, Вроцлав политехникалық университетінің профессоры (Вроцлав қ., Польша).

А.Д. Сулейменов осы мамандық бойынша докторантураға 2016 жылы түсті. Талқылауға диссертациялық жұмыс, презентация, ғылыми кеңесшілердің пікірлері және халықаралық инженерия мектебінен 2 пікір, ғылыми жұмыстар тізімі ұсынылды.

Келесі сөз PhD докторанты А.Д. Сулейменовқа беріледі.

А.Д. Сулейменовтың баяндамасында диссертациялық жұмыстың презентациясын ұсынды, онда таңдалған тақырыптың өзектілігін, зерттеу нысанын, зерттеу пәнін, жұмыстың мақсатын атап, зерттеу міндеттерін атап өтті, қорғауға шығарылатын тұжырымдамалардың ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын, диссертацияның негізгі нәтижелері мен қорытындыларын баяндады.

А.Д. Сулейменовтың диссертациялық жұмысы мен баяндамасы бойынша келесі сұрақтар қойылды:

Рахметуллина Женисгуль Төлеухановна, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы:

Сұрақ: Неге диссертациялық жұмыста ұсынылып жатқан конструкцияның атауы V-тәріздес диірмен деп аталған?

Жауап. Ұсынылып отырған диірмен конструкциясының бұлай аталуы, камера пішіні екі цилиндрлік секциялардың қосылуы арқылы жасалғандықтан

және диірменнің ұнтақтау камерасының пішіні «V» ағылшын әрпіне ұқсас болу себебінен осылай аталды.

Дудкин Михаил Васильевич, т.ғ.д., профессор:

Сұрақ. Қолданыстағы ұнтақтау теориялары неліктен практика жүзінде қолданылмайды деп айттыңыз?

Жауап. Қолданыстағы ұнтақтау теорияларының практика жүзінде қолданылмау себебі, бұл формулалардағы пропорционалдылық коэффициенттерін табу жолдары белгісіздігінде. Оған қоса, келтірілген ұнтақтау модельдері жартылай эмпирикалық болып табылады және де бұл теориялар бойынша есептеу нәтижелері шынайы ұнтақтау процесінің нәтижелерінен әлдеқайда айрықшаланады.

Сұрақ. Механикалық-математикалық модельді апробациялау деген ұғымды қалай түсінуге болады? Сіздің диссертацияңызда бұл ұғым нені білдіреді?

Жауап. Диссертацияның зерттеу міндеттерінің біріне сәйкес, механикалық-математикалық модель әзірленген болатын. Бұл модельді апробациялау ұғымының астарында, әзірленген модельге диірменнің параметрлерін орнатып, есептеп шығарып, алынған мәннің қаншалықты шындыққа жанасымдылығын тексеру жатыр. Біздің жағдайда жүргізілген есептік эксперимент нәтижесінде алынған ұнтақтың майдалығы шындыққа жанасымды екені анықталды, яғни, күтілетін ұнтақ майдалығына әлдеқайда жақындай түстік.

Комбаев Қуат Курганович, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор:

Сұрақ. Сіздің жұмысыңызда диірменнің теориялық қуатын есептеу жүргізіліп, оның белгілі бір параметрлерден өзгеріс графиктері көрсетілген. Осы теориялық есептеулер мен графиктегі қуаттың өзгеру тенденциясы эксперимент жүзінде расталды ма? Диірменнің қуатын эксперимент арқылы зерттелді ме?

Жауап. Диссертациялық жұмыста тек ұнтақтау майдалығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілген болатын. Теориялық қуатты эксперимент жүзінде зерттеу қарастырылмады.

Муздыбаев Мурат Сентович, т.ғ.к., профессор:

Сұрақ. Не үшін ұнтақтау шарларының біркелкі араласуы бойынша эксперименттік зерттеулер жүргіздіңіз?

Жауап. Өйткені, ұнтақтау шарларының өзара қозғалысын сипаттайтын араласу процесі ысқылау (қажалу) әсерінің динамикасын сипаттайды, яғни, араласудың уақыты немесе жылдамдығы ұнтақтау камерасындағы шарлардың өзара қозғалысының қарқындылығын жанама түрде сипаттайды. Сонымен қатар, ол ұнтақталатын (ұсақталатын) материалға ысқылау (қажалу) жүктемелерінің түсу қарқындылығын айғақтайды.

Муздыбаева Альфия Сентқызы, т.ғ.к., профессор:

Сұрақ. Диссертацияның зерттеу нәтижелерін, яғни әзірленген диірмен конструкциясын және ұнтақтаудың жаңа тәсілін өндіріске енгізгеніңізді атап өттіңіз. Енгізу нәтижесінде электр энергия шығыны 38%-ға төмендегенін

айттыңыз. Бұл нәтижені қалай толығырақ түсіндіре аласыз? Неліктен мұндай нәтижеге қол жеткізілді?

Жауап. Диссертациялық зерттеу нәтижелері Өскемен қаласындағы ЖШС «ЮА Трансстрой» құрылыс компаниясына ендірілді. Бұл компания әр түрлі құрылыс жұмыстарын жүзеге асырады. Бұл кәсіпорында диірменнің лабораториялық нұсқасы ендірілді. Бұл диірмен кәсіпорынның бетон, құрылыс қоспаларының сынамалы нұсқаларын жасауға қолданылатын құрғақ құрылыс материалдарын майдалап ұнтақтау үшін пайдаланады. Ұнтақтау процесін жүзеге асыру мақсатында кәсіпорында екі кезенді ұнтақтау (ұсақтау) процесі қолданылады. Бірінші кезеңде ЛШМ-7 лабораториялық шарлы диірмені арқылы ірілеп ұнтақтау (ұсақтау), ал екінші кезеңде лабораториялық ЛБМ-3 бисерлі диірмені көмегі арқылы майдалап ұнтақтау жүзеге асырылады. Екі кезенді ұнтақтау (ұсақтау) процесін ұйымдастыру үшін екі диірменді пайдалану қажеттілігінен туындап тұрған ұнтақтау (ұсақтау) процесінің жоғары энергия шығынын ескере отырып, аталған диірмендерді (ұнтақтағыштарды) диссертациялық жұмыста ұсынылып отырған диірменмен (ұнтақтағышпен) алмастыру ұсынылған болатын. Нәтижесінде жүргізілген сынаулардың нәтижесінде ұсынылып отырған диірмен, кәсіпорындағы ұнтақтауға арналған диірмендерге қарағанда электр энергиясын 38%-ға төмендетуге мүмкіндік берді.

Сұрақ. Жасалған механикалық-математикалық модель Герц-Штаерманның белгілі тәуелділігіне негізделгенін айтып өттіңіз. Ал Сіздің қосқан үлесіңіз неде екенін түсіндіріп өтсеңіз?

Жауап. Механикалық-математикалық модельді жасау үшін Герц-Штаерманның екі серпімді шарлардың соқтығысуы кезіндегі пайда болатын реактивті статикалық жүктеменің классикалық контактілі тәуелділігі алынған болатын. Біздің жағдайда бұл модель екі шардың материал бөлшегін екі жақтан соғу моделіне түрлендірілді. Нәтижесінде өзара байланысқа түсетін денелердің жергілікті (контактілі) деформацияларының нәтижесіндегі жақындасуын, ұнтақталған (ұсақталған) материал бөлшегінің диаметрін, бөлшекті ыдыратудың беріктік шартын, шар тәріздес ұнтақтау денелері мен бөлшектің сфералық бетінің нүктелік түйісу кезіндегі $t = 0$ уақыт моментіндегі жылдамдығын анықтайтын тәуелділіктер алынды.

Вавилов Андрей Владимирович, т.ғ.к. қауымдастырылған профессор:

Сұрақ. Қайталама эксперименттердің нәтижелерінің дисперсия біркелкілігі қандай критерийлер арқылы тексерілді?

Жауап. Қайталама нәтижелердің дисперсия біркелкілігі Кохрен және Фишер критерийлері арқылы тексерілген болатын. Фишер және Кохрен бойынша дисперсияның біркелкілік шарты орындалды.

Ғабдысалық Риза, PhD докторы, қауымдастырылған профессор:

Сұрақ. Теориялық есептеулер мен эксперименттік зерттеулер нәтижелерін салыстыру кезінде қателік 17-20% арасында жататынын атап өттіңіз. Бұл қателік шамасы тым көп емес пе?

Жауап. Процестер әр түрлі болады. Біздің жағдайда ұнтақтау процесі күрделі процеске жатады. Бүгінгі күнде қолданыстағы немесе бұрын жасалған теориялардың барлығы дерлік ұнтақтау майдалығының сандық нәтижесін бере алмайды. Одан басқа, басқа да осы саладағы зерттеушілердің жұмыс нәтижелерінде қателік деңгейлері шамамен осы шамада немесе одан да көп пайызды құрайды. Сондықтан алынған нәтижелердің қателік пайызы математикалық модельдің шындыққа жанасымды екенін дәлелдейді.

СӨЗ СӨЙЛЕДІ:

Отырыс төрағасы, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина: Бірінші отандық ғылыми кеңесші, т.ғ.к., профессор Г.А. Гурьяновқа сөз беріледі.

Бірінші отандық ғылыми кеңесші, т.ғ.к., профессор Г.А. Гурьянов: А.Д. Сулейменовтың диссертациялық жұмысы жақсартылған жұмыс көрсеткіштері бар ұсақтағыштың жаңа конструкциясының параметрлерін әзірлеуге және негіздеуге арналған.

Ұсынылған жұмыста А.Д. Сулейменов әдебиеттік-патенттік талдаудан бастап зерттеу нәтижелерін өндіріске енгізуге дейінгі зерттеудің барлық міндеттерін орындады.

А.Д. Сулейменовтың жұмысында дірілді-айналмалы ұсақтағыштарда ұнтақтау тиімділігін арттырудың жаңа әдістемесі ұсынылған. А.Д. Сулейменовтың жұмысында ұсынылған ұсақтағыштың жаңа конструкциясының ұнтақтайтын денелердің ұсақталатын материалға біржақты әсерін жүзеге асыратын диірмендердің қолданыстағы аналогтарынан басты айырмашылығы – ұнтақтайтын шарлардың материал бөлшектеріне екі жақты (қарсы) әсерінің ұйымдастырылуында. Нәтижесінде ұсақталған материалдың бөлшектеріне екі жақты әсер ету қамтамасыз етіледі, бұл ұнтақтау тиімділігін едәуір арттырады.

А.Д. Сулейменовтың диссертациялық жұмысында тәжірибе жүзінде қолданылатын ұсақтау теориясы болмағандықтан, жаңа ұнтақтау процесінің механикалық-математикалық моделі ұсынылған. Бұл модель ұнтақтау шарлары қолданылатын басқа диірмендерде қолданылуы мүмкін.

Сонымен қатар, А.Д. Сулейменов диссертациясында V-тәрізді ұнтақтау камерасы бар діріл-айналмалы ұсақтағыштың конструкциясын әзірледі.

А.Д. Сулейменовтің жұмысы өзекті деп санаймын, онда теориялық қана емес, сонымен қатар практикалық маңызы бар жаңа ғылыми нәтижелер бар. «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің 6D071200 - «Машинажасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияларға қойылатын талаптарға сәйкес келеді деп есептеймін.

Отырыс төрағасы, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина: Екінші отандық ғылыми кеңесші, PhD докторы,

Халықаралық инженерия мектебінің деканының орынбасары С.Р. Байгереевке сөз беріледі.

Екінші отандық ғылыми кеңесші, PhD докторы, Халықаралық инженерия мектебінің деканының орынбасары С.Р. Байгереев: А.Д. Сулейменов жүргізген зерттеулердің өзектілігі күмән тудырмайды, өйткені майдалап ұнтақтау өндірістің барлық салаларында қолданылады. А.Д. Сулейменов өзінің диссертациялық жұмысында майдалап ұнтақтайтын ұсақтағыштың жаңа конструкциясын жасау арқылы материалдарды майдалап ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру мақсатын қойды және осы мақсатқа жету үшін тиісті міндеттерді шешті. Бұл жұмыста ұсақтау теориясының жаңа механикалық-математикалық моделінің жасалғанын, оның сенімділігі мен практикалық қолданылуы эксперименттік зерттеулердің нәтижелерімен расталғанын ерекше атап өткен жөн. А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің 6D071200 - «Машинажасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияларға қойылатын талаптарға сәйкес келеді деп санаймын.

Отырыс төрағасы, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина: Шетелдік ғылыми кеңесші, хабилизацияланған доктор, Вроцлав политехникалық университетінің профессоры (Вроцлав қ., Польша) Марек Млынчакке сөз беріледі.

Шетелдік ғылыми кеңесші, хабилизацияланған доктор, Вроцлав политехникалық университетінің профессоры (Вроцлав қ., Польша) Марек Млынчак: А.Д. Сулейменовтың диссертациялық жұмысы V-пішінді камерасы бар дірілді-айналмалы диірменнің жаңа конструкциясының параметрлерін әзірлеуге және негіздеуге арналған.

Диссертациялық жұмыста қолданбалы ғылыми-техникалық мәселенің өзектілігі келтірілген, мақсаты мен негізгі міндеттері тұжырымдалған, жұмыстың қорытындылары мен нәтижелерінің практикалық құндылығы, негізділігі мен дұрыстығы дәлелденген, қорытынды тұжырымдар жасалған.

Диссертация авторы А.Д. Сулейменов маңызды нәтижелерге қол жеткізді, оларды сауатты өңдеп, объективті қорытындылар мен қорытындылар шығарды. Ол қолданған әдістер, әдістемелер мен тәсілдер, сондай-ақ деректерді алу және өңдеу процесінің нәтижелері мен тұжырымдары күмән келтірмейді. Диссертациялық жұмыс барысында автор ұнтақтау мәселесіне арналған көптеген әдеби дереккөздерді зерттеді. Диссертациялық жұмысты жасауда үлкен ғылыми ұқыптылық танытты.

А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің 6D071200 - «Машинажасау» мамандығы бойынша философия

докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияларға қойылатын талаптарға сәйкес келеді деп есептеймін.

Отырыс төрағасы, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина: Рецензент т.ғ.к., Халықаралық инженерия мектебінің профессоры, Муздыбаев Мурат Сеитовичке сөз беріледі.

Рецензент, т.ғ.к., Муздыбаев Мурат Сеитович диссертациялық жұмысқа пікірін оқыды: Жұмыстың өзектілігі мен қажеттілігін атап өтіп, зерттеу нәтижелерінің артықшылықтары мен практикалық құндылығын атап өтті.

Ізденушінің жұмысында майдалап ұнтақтау мәселесін кең талдау негізінде материалдарды майдалап ұнтақтаудың тиімділігін арттыру үшін ұсақтағыштың жаңа конструкциясы ұсынылған. Ізденуші ұсақтағыштың жаңа конструкциясының параметрлерін толық негіздеді, ұнтақтау процесінің механикалық-математикалық моделін әзірледі, оның нәтижелері ұнтақтаудың майдалығын болжауға және ұсақтағыштың тиісті параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді. Қолданыстағы аналогтармен салыстырғанда жаңа конструкцияның артықшылығы – аз уақыт жұмсай отырып, ұнтақтаудың жоғары майдалығын алу. Жаңа конструкцияның тиімділігі эксперименттік нәтижелермен расталған.

Жұмысты жобалау бойынша кейбір ұсыныстар мен кішігірім ескертулер ғана бар:

- Диірмендердің қолданыстағы конструкцияларын талдау кезінде диірмендердің фотосуреттерінің жанында диірмендердің жұмыс принципін көрсететін сызбаларды келтіруге болады. Диссертацияда тек бір ғана диірмен түрінің фотосуретінің жанында жұмыс жасау принципі бейнеленген.

- 60-бетте ұнтақтау шарларымен камераның толтыру дәрежесін белгілеуде $\varphi_{ш} = 0.6$ қосымша «мм» өлшем бірлігі жазылып кеткен

- 1.1-суреттегі ұсақтағыштарды жіктеу сұлбасындағы жазулар өте кішкентай шрифтпен жазылған және сапасы нашарлау.

Барлық аталған ескертулер ғылыми жұмыстың мәнін бұрмаламайды және оның құндылығын төмендетпейді.

А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбында орындалған диссертациялық жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің 6D071200 - «Машинажасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияларға қойылатын талаптарға сәйкес келеді деп есептеймін.

Отырыс төрағасы, ф-м.ғ.к., халықаралық инженерия мектебінің деканы Ж. Т. Рахметуллина: Рецензент PhD докторы, Халықаралық инженерия мектебінің қауымдастырылған профессоры Ғабдысәлік Ризаға сөз беріледі.

Рецензент PhD докторы, Халықаралық инженерия мектебінің

Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ халықаралық инженерия мектебінің кеңейтілген ғылыми семинарының отырысында А.Д. Сулейменовтың 6D071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысын талқылау бойынша

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Зерттеу тақырыбының өзектілігі және оның жалпы ғылыми және жалпымемлекеттік бағдарламалармен байланысы (ғылым мен техниканың практикасы мен дамуы туралы сұраныстар).

Қазіргі уақытта қоғам дамуының қазіргі жағдайы техниканы ғылыми негізделген жетілдіру және материалдық, энергетикалық ресурстарды азайту тәсілдерін әзірлеу арқылы өндіріс сапасын арттыру тенденциясымен сипатталады. Шикізат пен энергетикалық ресурстардың азаюы мен өнімнің сапасы және санына деген қажеттіліктің артуы арасындағы қайшылықтар шикізатты өндірудің технологиялық процесін жетілдіру арқылы шешіледі. Шикізат ресурстарын одан әрі өңдеу сапасын арттырудың бір жолы-материалдарды майдалап ұнтақтау тиімділігін арттыру. Сонымен қатар, зерттеу бағыты «Қазақстандықтардың әл-ауқатын арттыруға бағытталған тұрақты экономикалық өсу» ұлттық жобасының, Қазақстан Республикасының өңдеу өнеркәсібін дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасының мақсаттарына және Қазақстан Республикасының 2020-2025 жылдарға арналған индустриялық-инновациялық даму тұжырымдамасына сәйкес келеді.

Бүгінгі таңда материалдарды ұнтақтау процестері өнеркәсіптің көптеген салаларында қолданылады және маңызды технологиялық мәселелерді шешуге арналған. Мысалы, кендер материалдарын байыту, қоспалардың біркелкілігін қамтамасыз ету, қолданылатын қысым мен температураны төмендету және т. б.

Материалдарды майдалап ұнтақтау саласындағы негізгі және өзекті мәселелердің бірі ұнтақтау процесінің жоғары энергия сыйымдылығы болып қала береді. Осыған байланысты энергия шығындарын азайтуға етуге мүмкіндік беретін ұнтақтау тиімділігін арттырудың жаңа тәсілдерін әзірлеу қажеттілігі туындайды.

Шығындарды рационализациялау процесі үшін ұсақтаудың жеткілікті дәл теориясы қажет. Бүгінгі таңда майдалап ұнтақтау процесінің теориялық зерттеулері жеткіліксіз, ал қолданыстағы теориялардың эмпирикалық сипаты оларды практика жүзінде қолдануды қиындатады. Қолданыстағы теориялық модельдер ұнтақтау жабдықтарын пайдалану және жобалау кезінде туындайтын кейбір сұрақтарға жауап бере алмайды.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, диссертация тақырыбы сөзсіз өзекті болып табылады.

2. Ғылыми жұмыстарға қойылатын талаптар шеңберіндегі ғылыми нәтижелер.

Диссертацияда келесі жаңа ғылыми нәтижелер алынды:

1. Ұнтақтау шарларының материал бөлшектеріне екі жақты (қарсы) әсерін ұйымдастыру арқылы қамтамасыз етілетін ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру әдісі ұсынылды
2. Майдалап ұнтақтайтын диірменнің жаңа принципіалды контрукциялық шешімі ұсынылды.
3. Жаңа майдалап ұнтақтайтын диірменнің ұнтақтау процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды.
4. Ұсақтаудың ұсынылған әдісінің тиімділігін, ұсақтағыштың жұмыс принципі мен конструкциясын растайтын жаңа майдалап ұнтақтайтын диірменнің эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері алынды.

3 Диссертациялық жұмыста тұжырымдалған әрбір ғылыми нәтиженің (ғылыми тұжырымдамалардың), ізденушінің тұжырымдары мен қорытындыларының негізділігі мен сенімділік дәрежесі.

1. Ұнтақтау шарларының материал бөлшектеріне екі жақты (қарсы) әсерін ұйымдастырудан тұратын ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру әдісі ұсынылған. Майдалап ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыруға материал бөлшектеріне екі жақты әсер ету арқылы қол жеткізілді.
2. Майдалап ұнтақтайтын диірменнің жаңа принципіалды контрукциялық шешімі ұсынылды. Бұл ғылыми нәтиже ұнтақтау шарларының қарама-қарсы қозғалысын (екі жақты әсер етуді) қамтамасыз ететін дірілді-айналмалы диірменді жасаудың оригиналды идеясын сипаттайды, оған қоса, материалдарды ұнтақтаудың жаңа әдісін жүзеге асырады.
3. Жаңа майдалап ұнтақтайтын диірменнің ұнтақтау процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды. Өзірленген есептік-теориялық модельдің нәтижелері материалды ұнтақтау дәрежесін жеткілікті дәлдікпен болжауға және ұнтақтаудың берілген майдалығын алу үшін ұтымды ұнтақтау режимдерін таңдауға мүмкіндік береді.
4. Ұсақтаудың ұсынылған әдісінің тиімділігін, диірменнің жұмыс принципі мен конструкциясын растайтын жаңа ұсақтағыштың эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері алынды. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері материалдарды ұсақтау тиімділігін арттырудың жаңа әдісінің тиімділігін растады.

4 Диссертацияда тұжырымдалған әрбір ғылыми нәтиженің (ғылыми тұжырымдамалардың), ізденушінің қорытындысы мен қорытындысының жаңашылдық дәрежесі.

1. Ұнтақтау шарларының материал бөлшектеріне екі жақты (қарсы) әсерін ұйымдастырудан тұратын ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру әдісі ұсынылған. Әдіс идеясының өзіндік ерекшелігі пайдалы модельге патент алу

арқылы расталады.

2. Диірменнің жаңа принципіалды конструкциялық шешімі ұсынылды. Ұсынылған ұсақтағыш дизайнының жаңалығы мен өзіндік ерекшелігі пайдалы модельге патентпен расталады.

3. Жаңа ұсақтағышта ұнтақтау процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды. Алғаш рет материалдардың кедергісі принциптеріне негізделген динамикалық ұсақтау теориясы жасалды. Бұрын басқа авторлар шығарған ұсақтау теориялары эмпирикалық болып табылады, бұл оларды теориялық есептеулерде қолдануды қиындатады.

4. Ұсақтаудың ұсынылған әдісінің тиімділігін, ұсақтағыштың жұмыс принципі мен конструкциясын растайтын жаңа ұсақтағыштың эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері алынды. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері материалдарды ұсақтау тәсілінің жаңа патенттелген техникалық шешіміне негізделген ұсақтағыштың зертханалық кондырғысын қолдану арқылы алынды.

5. Алынған нәтижелердің ішкі бірлігін бағалау.

Ізденушінің диссертациялық жұмысы логикалық құрылыммен сипатталатын толық ғылыми зерттеу болып табылады. Жұмыста ішкі бірлік принципі сақталады, ғылыми нәтижелердің байланысы бар, бірыңғай әдіснамалық тәсіл қолданылады.

Зерттеу нысаны. Сусымалы материалдарды майдалайтын диірмен (ұнтақтағыш).

Зерттеу пәні. Диірменнің (ұнтақтағыштың) жұмыстық органдарының ыдырату (бұзу) күші әсерінен материалдың ыдырау (бұзылу) процесі.

6. Диссертациялық жұмыста баяндалған нәтижелерге жетуге автордың нақты жеке қатысуы.

Автордың жеке үлесі зерттеулердің мақсаты мен міндеттерін қою, майдалап ұнтақтайтын жаңа диірменнің (ұнтақтағыштың) конструкциясын жасау, жаңа диірмендегі (ұнтақтағыштағы) материалдың ыдырау (бұзылу) процесінің математикалық моделін жасау, жаңа диірмен (ұнтақтағыш) конструкциясы тиімділігін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулерді ұйымдастыру және жүргізу болып табылады.

7. Теориялық және практикалық маңыздылыққа ие өзекті мәселелерді шешуге алынған нәтижелердің бағытталуы.

Алынған барлық нәтижелер өзекті мәселелерді шешу үшін маңызды:

1. Жұмыста материалдарды ұсақтаудың тиімділігін арттыру үшін материалдарды ұсақтаудың жаңа әдісі ұсынылған.

2. Жұмыста ұсақтау процесінің энергия сыйымдылығын төмендетуге және ұнтақтаудың майдалығын арттыруға мүмкіндік беретін ұсақтағыш жұмысының жаңа принципі ұсынылған.

3. Жұмыста жаңа конструкцияның тиімділігін растайтын эксперименттік зерттеулердің нәтижелері алынды.

4. Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері өндірістік және оқу процесіне енгізілді.

8 Диссертацияның негізгі тұжырымдамаларын, нәтижелері мен қорытындыларының жарияланымдарының толықтығын растау.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері әртүрлі халықаралық конференцияларда баяндалды және талқыланды және 8 ғылыми жұмыста жарияланды:

3 мақала ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда:

1) Сулейменов А.Д., Гурьянов Г.А., Васильева О.Ю. Предварительная экспериментальная оценка интенсивности измельчения в вибровращательной мельнице новой конструкции / Вестник ВКТУ. №1, 2018. С. 80-86;

2) Сулейменов А.Д., Гурьянов Г.А. Результаты экспериментальных исследований некоторых параметров новой вибровращательной мельницы // Труды университета (Карагандинский государственный технический университет). - №3, 2019. - С.109-112;

3) Байгереев С.Р., Г.А. Гурьянов, А.Д. Сулейменов, В.А. Ким. Установление зависимости энергии измельчения от геометрических и эксплуатационных параметров в новой вибровращательной мельнице / Вестник ВКТУ. – №2, 2022. – С. 40-52.

Нәлдік емес импакт-факторлы және Scopus дереккөзінде индекстелетін халықаралық рецензияланатын журналдарда 1 мақала (процентиль 25-тен кем емес):

1) Baigereyev S., Guryanov G., Suleimenov A., Abdeyev B., Kim V. New Method for Materials Comminution Using Grinding Balls // International Review of Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 17, Iss. 2. – P. 71-79.

Отандық және шетелдік халықаралық конференциялар материалдарындағы ғылыми еңбектер:

1) Suleimenov A.D., Bekbolatov K.S., Kumykova T.M. Analysis of constructions of milling machines for fine grinding // Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана: материалы III Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых. – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2017. – С. 219-223.

2) Сулейменов А.Д., Кумыкова Т.М., Гурьянов Г.А. О некоторых принципах создания эффективных помольных агрегатов / Международная научно-практическая конференция «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе», ПНИПУ, г. Пермь, Россия, 2017. 188-191 с.

3) Suleimenov A.D. Innovative design of vibrational and rotational mill for materials breakage/ Materials of the International Scientific Conference «Global Science and Innovations 2018» – Eger: Eurasian Center of Innovative Development «DARA», 2018. – P 93-95. <http://ecir.kz/GSI2018.html>

ҚР пайдалы модельге 1 патент:

1) Патент РК № 2017/0343.2, 29.12.2017. Устройство для тонкого измельчения материалов // Бюл. №26(II). / Гурьянов Г.А., Кумыкова Т.М., Сулейменов А.Д.

Жарияланымдар талаптардың 6-тармағына сәйкес келеді.

Диссертациялық жұмыстың мазмұны бойынша ескертулер мен ұсыныстар. Жұмыста редакциялық және стилистикалық сипаттағы кемшіліктер бар. Рецензенттердің және олардың жазбаша пікіріндегі көрсетілген қателер мен стилистикалық қателерді түзету ұсынылады, сондай-ақ тараулар бойынша қорытындыларды неғұрлым нақты және егжей-тегжейлі жазу қажет.

Аталған ескертулер мен ұсыныстар зерттеу сапасын төмендетпейді және диссертацияның негізгі теориялық және практикалық нәтижелеріне әсер етпейді.

Диссертацияның ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитетінің «Ғылыми дәрежелер беру қағидалары» 2-тарауының қойылатын талаптарына сәйкестігі (09.03.2021 № 98 редакциясы)

Алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы, көлемі, маңыздылығы бойынша А.Д. Сулейменовтың диссертациялық жұмысы философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған жұмыстарға ұсынылатын ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитетінің «Ғылыми дәрежелерді беру қағидаларының» 2-тарауының талаптарына сәйкес келеді.

ҚАУЛЫ ЕТТІ:

1. А.Д. Сулейменовтың 6D071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациясы философия докторы (PhD) дәрежесін беру жөніндегі Satbaev University Энергетика және машина жасау институтының «Машина жасау, машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» бағыты бойынша диссертациялық кеңесінде (8D07110 – «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы», 8D07111-«Машина жасау өндірісін цифрландыру», 8D07102 – «Аддитивті өндіріс», 8D07113 – «Аддитивті өндіріс», БББТ D103 – «Механика және металл өңдеу») қорғауға ұсынылсын.

2. А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбындағы диссертациясы бойынша Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ-нің Машина жасау мектебінің кеңейтілген ғылыми семинары отырысының қорытындысы бекітілсін.

Дауыс беру нәтижелері: "Қолдап" – 26, "қарсы" – 0, "қалыс қалғандар" – 1 (ізденушінің өзі).

Д. Серікбаев атындағы
ШҚТУ Халықаралық
инженерия мектебінің
кеңейтілген ғылыми
семинар отырысының
төрағасы

Хатшы



Ж.Т. Рахметуллина



М.Т. Закиева

ҚОСЫМША Б

Вроцлав политехникалық университетінің (Вроцлав, Польша) ғылыми семинары отырысының хаттамасы

«13» мая 2019 г.
Wroclaw

ПРОТОКОЛ

заседания научного семинара кафедры «Машиностроение и трибология»
Вроцлавского университета науки и технологий (г. Вроцлав, Польша)

ПРИСУТСТВОВАЛИ: prof. dr hab. inż. J. Stryczek, prof. dr hab. inż. M. Mlynczak, prof. dr hab. inż. W. Wieleba, dr hab. inż., prof. nadzw. Jarosław Filipiak, dr hab. inż. Celina Pezowicz, dr hab. inż. Jacek Bałchanowski, докторант PhD B.A. Ким, докторант PhD С.Р. Байгереев..

ПОВЕСТКА ДНЯ

Отчет о научно-исследовательской работе докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) Сулейменова Ансагана Дюсембаевича.

СЛУШАЛИ: докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева Сулейменова Ансагана Дюсембаевича:

Промежуточные результаты работы над диссертацией на май 2019 г.:
проведены обзор и анализ состояния вопроса тонкого измельчения материалов; разработана новая конструкция измельчителя, подана заявка на изобретение новой конструкции измельчителя, проведены теоретические исследования предлагаемой конструкции измельчителя, проведены основные экспериментальные исследования нового измельчителя.

Опубликованы 2 статьи в журналах рекомендованных комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; принято участие в 3 международных конференциях, получен 1 патент на полезную модель РК.

ВОПРОСЫ:

J. Stryczek:

Вопрос 1: Расскажите о структуре Вашей диссертационной работы.

Ответ: Диссертация состоит из 4 глав: первая - посвящена обзору литературы по теме исследования, вторая - теоретическому обоснованию нового измельчителя, третья - экспериментальным исследованиям, четвертая - описанию внедрения результатов диссертационных исследований.

Вопрос 2: Превосходит ли по показателям эффективности, в частности по значению тонкости помола, предлагаемая Вами мельница?

Ответ: При установке соответствующих режимов измельчения мы получили результат – $S = 5000-5500 \text{ см}^2/\text{г}$, что больше, чем в известных промышленных мельницах.

Вопрос 3: Как исследованы Вами влияние параметров функционирования измельчителя?

Вопрос 4: Проведено ли планирование эксперимента?

Ответ: Да, основные этапы планирования экспериментальных исследований уже выполнены. По завершению работы над разработкой лабораторной установки будет осуществлен эксперимент.

W. Wieleba:

Вопрос 1: Завершена ли Ваша работа над статьей, для публикации в международном рецензируемом журнале?

Ответ: Написаны все пункты статьи, кроме экспериментальной части.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Утвердить отчет о научно-исследовательской работе докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) Сулейменова Ансагана Дюсембаевича.

- 000001614 -
POLITECHNIKA WROCLAWSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
tel. 71 320 27 15, 71 320 27 05, fax 71 320 42 02
(5) NIP 8960005851

Migina

«23» ноября 2017 г.
Wrocław

ПРОТОКОЛ
заседания научного семинара кафедры «Машиностроение и трибология»
Вроцлавского университета науки и технологий (г. Вроцлав, Польша)

ПРИСУТСТВОВАЛИ: prof. dr hab. inż. J. Stryczek, prof. dr hab. inż. M. Mlynczak, prof. dr hab. inż. W. Wieleba, dr hab. inż., prof. nadzw. Jarosław Filipiak, dr hab. inż. Celina Pezowicz, dr inż. Jacek Bałchanowski, докторант PhD В.А. Ким, докторант PhD С.Р. Байгереєв.

ПОВЕСТКА ДНЯ

Отчет о научно-исследовательской работе докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) Сулейменова Ансагана Дюсембаевича.

СЛУШАЛИ: докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева Сулейменова Ансагана Дюсембаевича:

Промежуточные результаты работы над диссертацией на ноябрь 2017 г.:

- проведены обзор и анализ состояния вопроса тонкого измельчения материалов;
- разработана новая конструкция измельчителя,
- подана заявка на изобретение новой конструкции измельчителя,
- проведены теоретические исследования предлагаемой конструкции измельчителя,

Принято участие на международных конференциях в г. Усть-Каменогорск (Казахстан), г. Пермь (Россия); подготовлено к публикации 2 статьи в журналах рекомендованных комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК.

ВОПРОСЫ:

J. Stryczek:

Вопрос 1: В чем актуальность проводимых исследований? Почему выбрана именно данная тема исследований?

Ответ: Процессы измельчения различных материалов широко распространены в строительной, горно-обогатительной и других отраслях промышленности. Выбор и формулировка темы связана с совместными научными исследованиями, проводимыми на договорной основе между ВКГТУ им. Д. Серикбаева и одними из крупнейших строительных и горно-перерабатывающих предприятий Восточно-Казахстанской области - ТОО «ЮА Трансстрой» и ТОО «КазЦинк», которые заинтересованы в разработке измельчителя с улучшенными показателями функционирования.

Вопрос 2: Почему вы думаете что такая форма камеры как в Вашей мельнице (V-образная) улучшит эффективность помола?

Ответ: Потому что, данная конструкция создает в камере измельчения зоны повышенной энергонапряженности, расположенной на участке соединения секций камеры, где создаются повышенные энергетические воздействия на измельчаемый материал со стороны мелющих тел.

Вопрос 3: Каким должен быть оптимальный угол секции цилиндра к горизонтальной поверхности рамы?

Ответ: Угол взаимного расположения секций камеры α определяет ускорение мелющих тел в продольном направлении камеры. Из литературного анализа следует, что в проведенным другими авторами исследованиях отсутствуют рекомендации по выбору рационального значения угла наклона секций камеры. Поэтому была проведена предварительная теоретическая оценка, в которой увеличение угла приводит к к постепенному увеличению моментальной скорости на различных участках наклонной плоскости и, следовательно, энергии удара мелющих тел в продольном направлении камеры. Для подтверждения данного предположения и определения граничного значения угла наклона, соответствующего некоторому пределу повышения эффективности измельчения в продольном направлении, были проведены предварительные экспериментальные исследования. В результате было установлено, что наиболее эффективным (граничным) углом взаимного расположения секций камеры является $\alpha = 25^\circ$, а превышение этого значения, результата практически не дает.

Вопрос 5: Проведены ли основные экспериментальные исследования?

Ответ: На данный момент разрабатывается лабораторная установка для проведения экспериментов.

M. Mlynczak:

Вопрос 1: Какие источники литературы Вы использовали при проведении анализа исследований по теме диссертации?

Ответ: В основном использовались статьи из базы данных Scopus, для поиска литературы использовалась база данных ScienceDirect.com.

Вопрос 2: Какие результаты Вы получили из анализа патентной литературы?

Ответ: Основная цель изучения патентов - формулирование принципов дальнейшего совершенствования и повышения эффективности измельчителей с побуждающим рабочим органом.

Вопрос 3: Что Вы подразумеваете под термином «сближение» при описании применяемой теории измельчения частицы сферической формы?

Ответ: Значение взаимного перемещения частицы и мелющего шара, что определяет величину деформации частицы измельчаемого материала.

Ответ: В ходе проведения экспериментальных исследований было оценено влияние отдельных факторов на тонкость измельчения (однофакторный эксперимент), а также совместное влияние факторов: частота вращения камеры помола, амплитуда колебания камеры и частота вращения дебалансного вала (многофакторный эксперимент).

Вопрос 4: Какова степень расхождения уравнения регрессии и экспериментальных результатов?

Ответ: Около 15%, что является на наш взгляд приемлемым для процесса помола.

M. Mlynczak:

Вопрос 1: Влияние какого входного параметра превосходит в сравнении с остальными?

Ответ: Сравнивая динамику изменения тонкости помола при варьировании факторов, наиболее сильно оказывает влияние амплитуда колебания камеры.

Вопрос 2: Какой диаметр шаров был использован в проведении экспериментальных исследований?

Ответ: Поиск рационального соотношения фракций мелющих тел (стальных шаров) дал следующие результаты: 25-30 мм – 20%, 20-25 мм – 40% и 15-20 мм – 40% от объема мелющих тел.

Вопрос 3: Каким образом Вы организовали передачу крутящего момента от электродвигателя к камере помола?

Ответ: Передача крутящего момента от электродвигателя к камере помола осуществлена червячного редуктора и посредством ременной передачи. Кроме того, меняя шкивы с различными диаметрами, мы получали различные значения скоростей вращения камеры помола.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Утвердить отчет о научно-исследовательской работе докторанта PhD специальности 6D071200 «Машиностроение» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) Сулейменова Ансагана Дюсембаевича.

- 000001614 -
POLITECHNIKA WROCLAWSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
tel. 71 320 27 15, 71 320 27 05, fax 71 320 42 02
(5) NIP 8960005851

Mlynczak

ҚОСЫМША В

Диссертация тақырыбы бойынша 2018-2019 оқу жылында өткізілген докторанттардың ғылыми-зерттеу жұмыстарының Республикалық байқауының жеңімпазы екенін растайтын құжат

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ		МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
І дәрежелі		
ДИПЛОМ		
2018-2019 оқу жылында өткізілген докторанттардың ғылыми-зерттеу жұмыстарының Республикалық байқауынан		
<i>Д. Серікбаев атындағы</i>		
<i>Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің докторанты</i>		
СУЛЕЙМЕНОВ АНСАГАН ДЮСЕМБАЕВИЧ		
«5B071300 – Көлік, көлік техникасы және технологиялары» мамандығы бойынша марапатталады.		
Ғылыми жетекшісі: т.ғ.к., профессор Гурьянов Г.А.		
		К. Шамшидинова
Нұр-Сұлтан, 2019 ж.		

ҚОСЫМША Г

Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері 2019 жылы Өскемен қаласындағы
«ЮА Трансстрой» ЖШС өндірістік процеске енгізу актілері

«ЮА ТРАНССТРОЙ»
жауапкершілігі шектеулі
серіктестігі,
ШҚО, Өскемен қ.



Товарищество с
ограниченной
ответственностью
«ЮА ТРАНССТРОЙ»,
ВКО, г. Усть-Каменогорск

«16» июня 2019 г.

ПРОТОКОЛ

приемочных испытаний опытного образца вибрационно-вращательного измельчителя, изготовленного в лаборатории кафедры «Технологические машины и транспорт» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева по оригинальной технической документации.

Приемочной комиссией ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ» соответствии с программой и методикой испытаний ВКГТУ им. Д. Серикбаева, провела приемочные испытания опытного образца вибрационно-вращательного измельчителя, изготовленного с использованием патента РК на полезную модель №2547.

Приемочные испытания опытного образца вибрационно-вращательного измельчителя проводились в ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ» с 1 июня по 10 июня 2019 г. в соответствии с методикой, разработанной на кафедре «Технологические машины и транспорт» ВКГТУ им. Д. Серикбаева.

Эффективность вибрационно-вращательного измельчителя проверялась путем измельчения песка при следующих параметрах: скорость вращения камеры - 44 об/мин, амплитуда колебаний камеры - 3 мм и скорости вращения дебалансного вала - 1500 об/мин, время измельчения – 15 минут.

Приемочные испытания опытного образца вибрационно-вращательного измельчителя показали что максимальная удельная поверхность составила – 5289 см²/г. Полученные результаты продемонстрировали превосходства над используемыми на данном предприятии мельницами по параметру удельной поверхности в 1,5 раза.

Учитывая результаты испытаний и преимущества вибрационно-вращательного измельчителя, комиссия считает опытный образец вибрационно-вращательного измельчителя выдержавшим испытания и рекомендует его для внедрения в производство.

Председатель комиссии:
Директор
ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ»


Ж.М. Занкерров

Члены комиссии:
Гл. механик ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Б.А. Алиханов

Гл. инженер ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Н.С. Мурзабеков

«ЮА ТРАНССТРОЙ»
жауапкершілігі шектеулі
серіктестігі,
ШҚО, Өскемен қ.



Товарищество с
ограниченной
ответственностью
«ЮА ТРАНССТРОЙ»,
ВКО, г. Усть-Каменогорск

Начальник ПТО ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»

М.А. Досымбаева

Разработчик

Г.А. Гурьянов

Разработчик

А.Д. Сулейменов

Разработчик

Т.М. Кумыкова

«ЮА ТРАНССТРОЙ»
жауапкершілігі шектеулі
серіктестігі,
ШҚО, Өскемен қ.



Товарищество с
ограниченной
ответственностью
«ЮА ТРАНССТРОЙ»,
ВКО, г. Усть-Каменогорск

АКТ

о принятии к внедрению новой методики измельчения материалов,
разработанной в рамках диссертационного исследования (PhD)
Сулейменова Ансагана Дюсембаевича с использованием патента РК на
полезную модель №2547, в ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ»

Настоящий акт составлен о том, что методика измельчения материалов, основанная на результатах научных исследований кафедры «Технологические машины и транспорт» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием патента Республики Казахстан на полезную модель №2547 при выполнении диссертационной работы (PhD) Сулейменова А.Д. принята к внедрению в технологический процесс ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ».

Предполагаемый экономический эффект от внедрения методики заключается в снижении затрат на электроэнергию при процессе измельчения на 38%.

Председатель комиссии:

Директор
ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ»


Ж.М. Занкерov

Члены комиссии:

Гл. механик ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Б.А. Алиханов

Гл. инженер ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Н.С. Мурзабеков

Начальник ПТО ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


М.А. Досымбаева

Разработчик


Г.А. Гурьянов

Разработчик


А.Д. Сулейменов

Разработчик


Т.М. Кумыкова

«ЮА ТРАНССТРОЙ»
жауапкершілігі шектеулі
серіктестігі,
ШҚО, Өскемен қ.



Товарищество с
ограниченной
ответственностью
«ЮА ТРАНССТРОЙ»,
ВКО, г. Усть-Каменогорск

АКТ

о принятии к внедрению новой конструкции измельчителя вибрационно-вращательного типа, разработанной в рамках диссертационного исследования (PhD) Сулейменова Ансагана Дюсембаевича с использованием патента РК на полезную модель №2547, в ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ»

Настоящий акт составлен о том, что конструкция измельчителя вибрационно-вращательного типа, разработанная по оригинальным чертежам и технической документации кафедры «Технологические машины и транспорт» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием патента Республики Казахстан на полезную модель №2547 при выполнении диссертационной работы (PhD) Сулейменова А.Д. принята к внедрению в технологический процесс ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ».

Председатель комиссии:
Директор
ТОО «ЮА ТРАНССТРОЙ»


Ж.М. Занкоров

Члены комиссии:
Гл. механик ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Б.А. Алиханов

Гл. инженер ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


Н.С. Мурзабеков

Начальник ПТО ТОО «ЮА
ТРАНССТРОЙ»


М.А. Досымбаева

Разработчик


Г.А. Гурьянов

Разработчик


А.Д. Сулейменов

Разработчик


Т.М. Кумыкова

ҚОСЫМША Д

Диссертациялық зерттеу нәтижелерін оқу процесіне енгізу актісі

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІ

КЕЛІСІЛДІ

Ғылыми жұмыс және
халықаралық ынтымақтастық
жөніндегі Басқарма мүшесі,
б.ғ.д., профессор

Н. Т. Ержанов
20 24 ж.

БЕКІТЕМІН

Академиялық мәселелер
жөніндегі Басқарма мүшесі -
проректор,
т.ғ.к., профессор

П. О. Быков
20 24 ж.

Докторлық диссертацияның ғылыми-зерттеу жұмысын «Кен дайындау және
байыту құралдары» пәні бойынша оқу процесіне енгізу

АКТІСІ

Инженерия факультетінің оқу-әдістемелік кеңесі құрамының төрағасы, «Металлургия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (PhD) А. Н. Жакуповпен және оның мүшелері «Металлургия» кафедрасының меңгерушісі, т.ғ.к., профессор А. К. Жунусов, «Машина жасау және стандартизация» кафедрасының меңгерушісі, т.ғ.к., профессор Ж. К. Мусина, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасының меңгерушісі, қауымдастырылған профессор (PhD) А. В. Маздубай, «Көліктік техника және логистика» кафедрасының меңгерушісі, т.ғ.к., профессор Н. С. Сембаев, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, х.ғ.к. Г. Г. Абдуллина, «Машина жасау және стандартизация» кафедрасының профессоры, т.ғ.к. Г. Т. Итыбаевамен 2023-24 оқу жылында докторант А.Д. Сулейменовтың «Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбы бойынша диссертациясының ғылыми зерттеу жұмысының нәтижелері Инженерия факультетіндегі «Металлургия» кафедрасының 6В07110 «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» білім бағдарламасының 3 курс студенттері үшін «Кен дайындау және байыту құралдары» пәніне енгізу туралы акт жасалды.

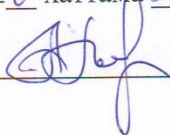
Енгізу формасы (жаңа курстың, арнайы курстың, дәрістер бөлімінің, зертханалық жұмыстардың, қондырғының, оқу құралының және т.б. атауы)	Енгізу көлемі (жұмыс саны, дәріс сағатының саны)	Енгізілетін жұмыстың атауы (қысқаша мазмұны, жарияланымдар мен конференциялардағы баяндамалар)
«Кен дайындау және байыту құралдары» пәні бойынша дәріс сабақтары	3 сағат	«Сусымалы материалдарды ұсақтауға арналған диірменді жасау және оның параметрлерін негіздеу» тақырыбы бойынша диссертациялық жұмыс. Жарияланымдар: 1) Байгереев С.Р., Г.А. Гурьянов, А.Д. Сулейменов, В.А. Ким. Установление зависимости энергии измельчения от геометрических и эксплуатационных параметров в новой вибровращательной мельнице / Вестник ВКТУ. – №2, 2022. – С. 40-52 2) Baigereyev S., Guryanov G., Suleimenov A., Abdeyev B., Kim V. New Method for Materials Comminution Using Grinding Balls // International Review of Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 17, Iss. 2. – P. 71-79. 3) Патент РК № 2017/0343.2, 29.12.2017. Устройство для тонкого измельчения материалов // Бюл. №26(II). / Гурьянов Г.А., Кумыкова Т.М., Сулейменов А.Д. 4) Сулейменов А.Д., Гурьянов Г.А., Васильева О.Ю. Предварительная экспериментальная оценка интенсивности измельчения в вибровращательной мельнице новой конструкции / Вестник ВКТУ. №1, 2018. С. 80-86 5) Сулейменов А.Д., Гурьянов

		Г.А. Результаты экспериментальных исследований некоторых параметров новой вибровращательной мельницы // Труды университета (Карагандинский государственный технический университет). - №3, 2019. - С.109-112.
--	--	---

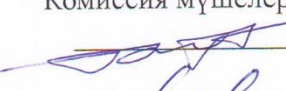
Актіге қоса тіркелген құжаттар:

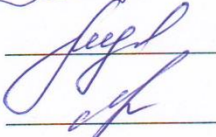
- кафедра шешімі;
- факультеттің оқу-әдістемелік кеңесінің шешімі;
- Syllabus.

Осы актіге қоса берілген материалдар факультеттің оқу-әдістемелік кеңесінде қаралды (№ 6 хаттама 22 01 2024)

Комиссия төрағасы  А.Н. Жакупов

Комиссия мүшелері:

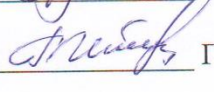
 А.К. Жунусов

 Ж.К. Мусина

 А.В. Маздубай

 Н.С. Сембаев

 Г.Г. Абдуллина

 Г.Т. Итыбаева

Факультет деканы  К.К. Абишев

« 22 » 01 2024 г.

ҒИ НУВ директорының м.а.

 М.С. Крыкбаева

Академиялық қызмет
департаментінің директоры

 А.Ж. Касенов

ҚОСЫМША Е

Диссертация тақырыбы бойынша зерттеу нәтижелерін патенттік қорғау



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) U (11) 2547
(51) B02C 17/06 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2017/0343.2
(22) 31.05.2017
(45) 29.12.2017, бюл. №26(II)
(76) Гуриянов Георгий Александрович; Курькова Татьяна Михайловна; Сулейменов Ансаган Дросембаевич
(56) RU 105199, 10.06.2011
(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**
(57) Полезная модель относится к устройствам для тонкого измельчения материалов, в частности к вибрационным мельницам, которая может найти применение, например, в строительной, горнорудной, металлургической или пищевой отраслях промышленности, требующих тонкого измельчения материалов. Задача полезной модели состоит в повышении эффективности помола. Технический результат заключается в повышении тонкости помола и увеличении удельной поверхности измельчаемого материала, создании

дополнительных продольных динамических нагрузок, создании сложного встречного движения мешочных тел, увеличении скорости и уменьшении времени измельчения. Сущность полезной модели заключается в следующем. Предложено устройство для тонкого измельчения материалов, содержащее размещенные на неподвижной раме подвижную раму, на которой установлена в подшипниковых опорах с возможностью вращения вокруг собственной оси камера помола с мешочными телами, торцевые поверхности которой перпендикулярны оси ее вращения, а боковые цилиндрические поверхности установлены под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы, а также привод вращения камеры помола, причем что камера помола выполнена как минимум из двух цилиндрических секций, соединенных торцами под углом друг к другу так, что они образуют V-образную конструкцию.

(19) KZ (13) U (11) 2547

Полезная модель относится к устройствам для тонкого измельчения материалов, в частности к вибрационным мельницам, которая может найти применение, например, в строительной, горнорудной, металлургической или химической и других отраслях промышленности, требующих тонкого измельчения материалов.

Известна вибрационная мельница (А.с. СССР №1243818, В02С 19/16, опублик. БИ №26, 15.07.86), содержащая вибровозбудитель и по крайней мере одну наклонно установленную заполненную рабочей средой помольную трубу с перфорированной нижней перегородкой. С целью повышения эффективности переработки влажных налипующих материалов, она снабжена пластичным скребком, радиально установленным с помощью подшипников в помольной трубе в продольной плоскости последней с возможностью вращения вокруг центральной продольной оси трубы под действием виброциркуляционного движения рабочей среды.

Недостатком мельницы является низкая эффективность помола.

Известна вибрационная мельница (Патент РФ №2040970, В02С 19/16, опублик. 09.08.1995), содержащая камеру помола, дебалансный вал с опорами вращения, амортизаторы и раму. Помольная камера установлена на дебалансном валу свободно и снабжена противовесом.

Недостатком мельницы является низкая эффективность помола.

Известна вибровращательная шаровая мельница (Патент РФ №2147931, В02С 17/14, опублик. БИ №12, 27.04.2000), содержащая цилиндрический барабан с мелющими телами, корпус которого жестко связан с пружинами и дебалансным вибровозбудителем, расположенным снаружи барабана.

Барабан установлен в подшипниковых опорах на подвижную виброплиту с возможностью вращения вокруг собственной оси с помощью отдельного привода, для осуществления непрерывного процесса вибровращательного измельчения барабан выполнен с торцевой крышкой, неподвижной относительно корпуса барабана, в которой выше оси вращения барабана жестко закреплена загрузочная воронка.

Недостатком мельницы является низкая эффективность помола.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению, является вибровращательная мельница (Патент РФ №105199, В02С 17/06, опублик. БИ №16, 10.06.2011), содержащая размещенные на неподвижной раме подвижную раму, на которой установлена в подшипниковых опорах с возможностью вращения вокруг собственной оси камера помола с мелющими телами, и привод вращения помольной камеры, отличающаяся тем, что камера помола выполнена в форме наклонного цилиндра, торцевые поверхности которого перпендикулярны оси ее вращения, а его боковая цилиндрическая поверхность установлена под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы, причем угол наклона боковой поверхности

цилиндра к горизонтальной поверхности подвижной рамы составляет менее 45°.

Недостатком известной вибровращательной мельницы также является низкая эффективность помола.

Задача полезной модели - повышение эффективности помола.

Технический результат заключается в повышении тонкости помола и увеличении удельной поверхности измельчаемого материала, создании дополнительных продольных динамических нагрузок, создании сложного встречного движения мелющих тел, увеличении скорости и уменьшении времени измельчения.

Сущность полезной модели заключается в следующем. Предложено устройство для тонкого измельчения материалов, содержащее размещенные на неподвижной раме подвижную раму, на которой установлена в подшипниковых опорах с возможностью вращения вокруг собственной оси камера помола с мелющими телами, торцевые поверхности которой перпендикулярны оси ее вращения, а боковые цилиндрические поверхности установлены под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы, а также привод вращения камеры помола, причем камера помола выполнена как минимум из двух цилиндрических секций, соединенных торцами под углом друг к другу так, что они образуют V-образную конструкцию.

На фиг.1 изображено предлагаемое устройство для тонкого измельчения материалов с двумя цилиндрическими секциями (общий вид); на фиг.2 - устройство для тонкого измельчения материалов состоящее из трех цилиндрических секций (общий вид).

Устройство для тонкого измельчения материалов включает в себя подвижную раму 1, на которой установлен привод 2, камеру 3 помола с торцевыми поверхностями 4, 5 и боковыми цилиндрическими поверхностями 6, 7. Торцевая поверхность 4 в соединении с боковой цилиндрической поверхностью 6 и торцевая поверхность 5 в соединении с боковой цилиндрической поверхностью 7 образуют две цилиндрические секции, соединенные друг с другом торцами и установлены под углом друг к другу. Привод 2, через муфту 8 и вал 9 осуществляет вращение камеры помола 3 вокруг горизонтальной оси. Камера 3 помола, установлена в подшипниковых опорах 10. Подвижная рама 1 опирается на неподвижную раму 11 через упругие элементы (пружины) 12. В нижней части подвижной рамы закреплён вибратор 13 направленных колебаний. При этом торцевые поверхности 4, 5 камеры 3 помола перпендикулярны оси ее вращения, а его боковые цилиндрические поверхности 6, 7 установлены под углом друг к другу и к горизонтальной поверхности подвижной рамы. На месте соединения двух цилиндрических секций размещено загрузочно-выгрузочное устройство 14 для заполнения камеры помола загрузкой, состоящей из мелющих тел и

измельчаемого материала и выгрузки измельченного материала, т.е. готового продукта.

Устройство для тонкого измельчения материалов работает следующим образом. Через загрузочно-выгрузочное устройство 14 в камеру 3 помола загружают мелющие тела и исходный материал, а затем закрывают крышкой (на фиг. не показана). Вибратор 13 создает вертикальные колебания подвижной рамы 10 и установленной на ней камеры 3 помола. Одновременно с этим, привод 2 через муфту 8 и вал 9 вращает камеру 3 помола. За счет установки боковых цилиндрических поверхностей 6, 7 под углом друг к другу и вследствие качательного движения каждой цилиндрической секции, загрузка совершает продольно-возвратное движение от краев к середине камеры 3 помола и обратно. Вследствие вертикального-вибрационного и вращательного движения камеры 3 помола, загрузка совершает движение в направлении перпендикулярном оси вращения камеры 3 помола. По причине указанных движений загрузки мелющие тела оказывают на измельчаемый материал ударное и истирающее действие и за счет сложной траектории движения загрузки в камере помола 3 идет непрерывное перемешивание материала и мелющих тел. При этом за счет вращения камеры 3 помола и установки секции под углом друг к другу, создается качательное движение каждой секции, материал совершает продольно-возвратное движение, а именно, сначала делится на две части, перемещаясь от середины к краям камеры 3 помола, а потом, перемещаясь от краев к середине камеры 3 помола, эти части загрузки сталкиваются и соударяются друг с другом, вследствие чего создаются дополнительные продольные динамические нагрузки на измельчаемый материал, т.е.

повышаются силы сжатия материала между мелющими телами, что в сочетании с силами трения увеличивает тонкость помола и удельную поверхность измельчаемого материала и интенсифицирует процесс измельчения, т.е. увеличивает его скорость и уменьшает время достижения требуемой тонкости измельчения (удельной поверхности), тем самым повышается эффективность помола. По истечении заданного времени и достижения необходимой тонкости помола крышку (на фиг. не показана) открывают, и готовый продукт выгружают из камеры 3 помола через загрузочно-разгрузочное устройство 14.

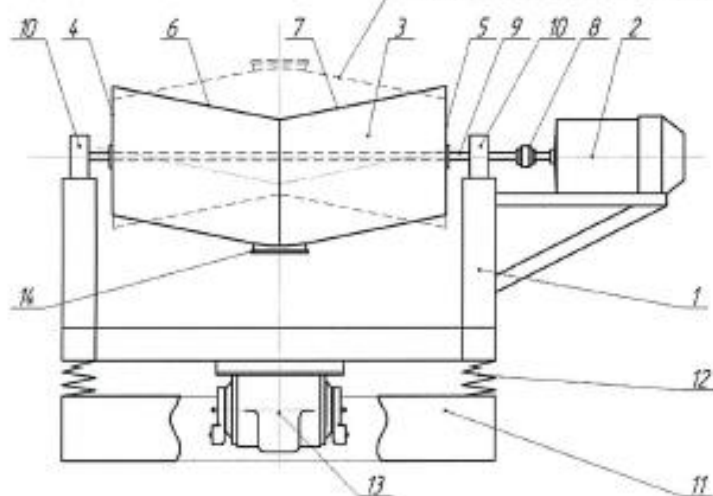
Таким образом, за счет того, что создано сложное движение мелющих тел, создаются дополнительные продольные динамические нагрузки, достигается технический результат и решается задача изобретения.

ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Устройство для тонкого измельчения материалов, содержащее размещенные на неподвижной раме подвижную раму, на которой установлена в подшипниковых опорах с возможностью вращения вокруг собственной оси камера помола с мелющими телами, торцевые поверхности которой перпендикулярны оси ее вращения, а боковые цилиндрические поверхности установлены под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы, а также привод вращения камеры помола, отличающееся тем, что камера помола выполнена как минимум из двух цилиндрических секций соединенных торцами под углом друг к другу так, что они образуют V-образную конструкцию.

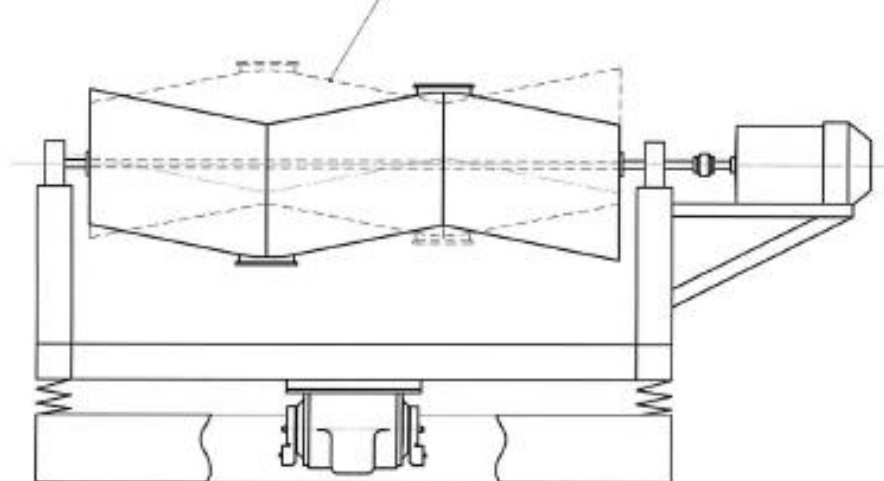
2547

Положение камеры помала при повороте на 180°



ФИГ. 1

Положение камеры помала при повороте на 180°



ФИГ. 2

Верстка А. Сарсеева
Корректор Б. Ожарова

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІ



ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ
ПАТЕНТ



АСТАНА



(19)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІ

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ

(11)

№ 2547

(12)

ПАТЕНТ

(54) **АТАУЫ:** МАТЕРИАЛДАРДЫ ЖІҢІШКЕЛЕП ҰСАҚТАУ ҮШІН АРНАЛҒАН ҚҰРЫЛҒЫ

(73) **ПАТЕНТ ИЕЛЕНУШІСІ:** Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Кумыкова Татьяна Михайловна (KZ); Сулейменов Ансаган Дюсембаевич (KZ)

(72) **АВТОР (АВТОРЛАР):** Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Кумыкова Татьяна Михайловна (KZ); Сулейменов Ансаган Дюсембаевич (KZ)

(21) **Өтінім №** 2017/0343.2

(22) **Өтінім берілген күн:** 31.05.2017

12.12.2017 Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдерінің мемлекеттік тізілімінде тіркелді.

Патентті күшінде ұстау ақысы уақытылы төленген жағдайда, патенттің күші Қазақстан Республикасының бүкіл аумағында қолданылады.

Қазақстан Республикасы
Әділет министрінің орынбасары

Э. Əзімова

Өзгерістер енгізу туралы мәліметтер осы патентке қосымша түрінде жеке парақта келтіріледі

002479



(19) **МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

ПАТЕНТ

(11) **№ 2547**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

(54) **НАЗВАНИЕ:** УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

(73) **ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛЬ:** Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Кумыкова Татьяна Михайловна (KZ); Сулейменов Ансаган Дюсембаевич (KZ)

(72) **АВТОР (АВТОРЫ):** Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Кумыкова Татьяна Михайловна (KZ); Сулейменов Ансаган Дюсембаевич (KZ)

(21) **Заявка №** 2017/0343.2

(22) **Дата подачи заявки:** 31.05.2017

Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан 12.12.2017.

Действие патента распространяется на всю территорию Республики Казахстан при условии своевременной оплаты поддержания патента в силе.

**Заместитель министра юстиции
Республики Казахстан**

Э. Азимова

Сведения о внесении изменений приводятся на отдельном листе в виде приложения к настоящему патенту

Ұнтақтау камерасының құрастыру сызбасы



[illegible]

ҚОСЫМША И

Ұнтақтау камерасын жасау бойынша маршруттық карта

Заказчик				2	1
Изготовитель					
Разработал	Сулейменов А.Д.			6D071200.01.00.000	
Проверил					
Нормир.					
Н. контроль					
Материал	Масса				
-	4,6				
Этап	Наименование (содержание операции)	Оборудование	ИНСТРУМЕНТ		Т шт.
		Приспособление	Режущий, вспомогательный	Измерительный	
1	Сборочно-сварочная	Стол сборочный		Рулетка	
	Собрать, прихватить детали поз. 1, 2, 3, 4 согласно чертежа. Варить детали поз. 1, 2, 3, 4, зачистить сварочные швы.	слесарный.		Р5УЗП ГОСТ 7502;	
2	Контрольная	Стол сборочный		Рулетка	
		слесарный.		Р5УЗП ГОСТ 7502;	
3	Расточная	ВО 130		Рулетка	
	Установить, выверить, закрепить. Торцевать. Разметить,			Р5УЗП ГОСТ 7502;	
	сверлить центровое отверстие. Зачистить заусенцы.				
	Повернуть стол на 180°.Торцевать в размер 452.			ШЦ-II-250-0,1	
	Разметить, сверлить центровое отверстие. Зачистить.			ГОСТ 166;	
МК	МАРШРУТНАЯ КАРТА				

Камера помола							6D071200.01.00.000		
№ п/п	Наименование (содержание операции)	Оборудование	ИНСТРУМЕНТ		Размер	Т шт.			
			Режущий, вспомогательный	Измерительный					
4	Контрольная			Рулетка					
				Р5УЗП ГОСТ					
				7502;					
				ШЦ-П-250-0,1					
				ГОСТ 166;					
5	Токарная	Ст16К25Б/1500							
	Установить, выверить, закрепить камеру помола	Патрон		Рулетка					
	6D071200.01.00.000 в поводковый патрон. Точить Ø10h6	поводковый		Р5УЗП ГОСТ					
	выдерживая размер 50. Точить Ø17h6 выдерживая			7502;					
	размер 100. Точить Ø17h6 выдерживая размер 50.								
	Снять деталь, зачистить.								
6	Контрольная			Рулетка					
				Р5УЗП ГОСТ					
				7502;					
				ШЦ-П-250-0,1					
				ГОСТ 166;					
МК	МАРШРУТНАЯ КАРТА								