

## АННОТАЦИЯ

6D072400 – «Технологиялық машиналар және жабдықтар» мамандығы бойынша PhD философия докторы дәрежесін алуға арналған диссертация

**Кобеева Загира Сапарбекқызы**

**Ұсақталған ағашты сүзгілі кептіру кезіндегі гидродинамика және жылуассалмасу**

**Диссертациялық зерттеудің мақсаты:** Ұсақталған мақта сабақтарын сүзгілі кептіру арқылы жылуассалмасу процестерінің гидродинамикасын, кинетикасын және динамикасының теориялық негіздерін әзірлеу, оларды эксперименттік растау және алынған ғылыми нәтижелер негізінде сүзгілі кептіру қондырғысын жобалау бойынша әдістемесін, есептеу тәртібін және ұсынымды жасау, сондай-ақ өнеркәсіпке енгізе отырып, өндірістік жағдайларда сынау.

**Зерттеудің міндеттері:**

- ұсақталған мақта сабақтарының физикалық-химиялық сипаттамаларын, полидисперсті қоспасын фракциялық құрамын, кеуектілігін, тығыздығын анықтау және бөлшектердің пішінін белгілеу;

- жылу агентінің әсерінен ұсақталған мақта сабақтарының қабатының кеуекті құрылымының гидравликалық кедергісін эксперименттік зерттеу және Эйлер санының Рейнольдс санына есептік функционалдық тәуелділігін алу, өзгертілген Эргун теңдеуінің тәжірибелік коэффициенттерін анықтау;

- жылу агентінің жылдамдығы, температурасы және қабат биіктігі өзгерген кезде ұсақталған мақта сабақтарын сүзгілеп кептіру кинетикасын эксперименттік зерттеу;

- жылу агентінің ішінара және толық қанығуымен критикалық ылғалдылыққа жету уақытын және кептіру уақытын есептеу үшін тәуелділіктерді алу, сондай-ақ сүзгілі кептірудің жалпы уақытын анықтау;

- жылу агент пен құрғақ, сондай-ақ дымқыл ұсақталған мақта сабақтарының арасындағы жылу-масса алмасу процестерін сүзгілеп кептіру кезінде зерттеу және эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін критериалдық түрде қорытындылау;

- алынған нәтижелерге негізделген ұсақталған мақта сабақтарын кептіруге арналған сүзгілі кептіру қондырғысын есептеу әдістемесі мен тәртібін, сондай-ақ пайдалану және жобалау бойынша ұсынымдарды әзірлеу;

- тәжірибелік-өнеркәсіптік жағдайларда зерттеу нәтижелерін сынау және өнеркәсіпте енгізу.

**Зерттеу әдістері:** гранулометриялық құрамы мен құрылымын анықтауға арналған електі талдау және электронды микроскопия әдістері, гидродинамика бойынша тәжірибелі деректерді алу үшін физикалық және математикалық модельдеудің заманауи әдістері, кинетикалық параметрлерді есептеу үшін толық ығысу моделі, жылуассалмасу процесін зерттеу үшін термофизикалық модельдеу, дифференциалдық теңдеулерді шешудің сандық және аналитикалық әдістері, (эксперименттік зерттеулердің нәтижелері) өңдеуге және қорытындылауға арналған қолданбалы компьютерлік бағдарламалар пакеттері.

**Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білім болып табылатын басқа тұжырымдар):**

- ұсақталған мақта сабақтарын кептіруге арналған сүзгілі кептіру қондырғысының конструкциясы;

- ұсақталған мақта сабақтарының стационарлық қабаты арқылы жылу агентін сүзгілі кептіру кезіндегі гидравликалық кедергісін зерттеу нәтижелерінің алынған заңдылықтары, өзгертілген Эргун теңдеуінің тәжірибелік коэффициенттері, сондай-ақ Эйлер мен Рейнольдстың өлшемсіз кешендері түрінде алынған функционалдық тәуелділігі;

- жылу агентінің толық және ішінара қанығуының анықталған кезеңдері, сондай-ақ ұсақталған мақта сабақтарының кинетикалық коэффициентінің мәнін анықтау үшін алынған тәуелділік;

- жылу агентінің ішінара және толық қанығуымен шектік ылғалдылық пен кептіру уақытына жету уақытын есептеу үшін тәуелділіктер, ұнтақталған мақта сабақтарының бастапқы ылғалдан соңғы ылғалға дейінгі жалпы сүзгілі кептіру уақытын анықтауға арналған есептеу теңдеуі;

- ұсақталған мақта сабақтарын сүзгілі кептіру кезінде құрғақ қабат арқылы жылу агентінің қозғалу жылдамдығына байланысты жылу беру коэффициентін анықтайтын және ылғал қабаты үшін жылу және масса алмасу коэффициенттерін анықтайтын теңдеулер;

- ұсақталған мақта сабақтарын кептіруге арналған өнеркәсіптік сүзгілі кептіру қондырғыларын есептеу, жобалау және пайдалану әдістемесі мен тәртібі.

#### **Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы.**

Көп мақсатты растрлық электронды микроскоптың көмегімен физикалық - химиялық сипаттамалары, фракциялық құрамы, кеуектілігі, жаппай және шынайы тығыздығы анықталды, ұсақталған мақта сабақтарының геометриялық пішіндері анықталды.

Сүзгілі кептіру қондырғысына зертханалық зерттеулер жүргізу кезінде гидравликалық кедергінің графикалық тәуелділіктері мен есептеу теңдеулері, жылу агентінің ылғалмен ішінара және толық қанығу кезеңдеріндегі кептіру уақыты, жылу агентін ұсақталған мақта сабақтарының қабаты арқылы сүзгілеу кезінде масса және жылу алмасу параметрлері алынды.

Гидравликалық кедергі коэффициенті  $\lambda_1$  Рейнольдс санының функциясы екенін ескере отырып, оны есептеу үшін үйкеліс шығыны мен жергілікті кедергі шығынын ескеретін екі мүшелі теңдеу түрінде ұсынылады:

$$\Delta P = A \cdot \frac{\mu \cdot a^2}{32 \cdot \varepsilon^3} \cdot H_e \cdot v_0 + B \cdot \frac{\rho \cdot a}{8 \cdot \varepsilon^3} \cdot H_e \cdot v_0^2, \quad (1)$$

мұндағы  $A$  және  $B$  – тәжірибелік коэффициенттер;  $\mu$ -газ ағынының динамикалық тұтқырлығының коэффициенті, Па·с;  $a$  – ұсақталған материалдың қозғалмайтын қабатының тиімді меншікті бетінің ауданы, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$ -ұсақталған материалдың қозғалмайтын қабатының көлем бірлігіндегі бос орындардың үлесі, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $v_0$ -газды сүзудің жалған жылдамдығы, м/с;  $H_e$ -газ ағыны қозғалатын арналардың эквивалентті ұзындығы, м;  $\rho$ -газ ағынының тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>;

Тәжірибелік А және В коэффициенттерін анықтау үшін (1) теңдеулер газ ағынының жалған сүзгілеу жылдамдығына қатысты сызықтық көрініске түрлендіріп, келесі түрде ұсынылады:

$$\frac{\Delta P}{H \cdot v_0} = A^* + B^* \cdot v_0, \quad (2)$$

мұндағы  $A^* = A \cdot \frac{\mu \cdot a^2}{32 \cdot \varepsilon^3}$  және  $B^* = B \cdot \frac{\rho \cdot a}{8 \cdot \varepsilon^3} \cdot v_0$

Мақта сабақтарына арналған (2) теңдеудің тәжірибелік коэффициенттері тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде анықталды:

$$\frac{\Delta P}{H \cdot v_0} = 9800 + 15000 \cdot v_0. \quad (3)$$

Өлшемсіз кешендер түрінде есептелген тәуелділіктерді алу үшін тәжірибелердің нәтижелері Эйлер санының Рейнольдс санына және геометриялық симплексе функционалды тәуелділігі ретінде ұсынылды. Тәжірибелік деректерді қуат функциясымен жуықтау Рейнольдс санының көрсеткішін және А тәжірибелік коэффициентін анықтауға мүмкіндік берді:

$$Eu = 105 \cdot Re_e^{-0,4} \cdot \frac{H_e}{d_e}. \quad (4)$$

Бұл тәуелділік Рейнольдс санының мәні  $40 \ll Re \ll 180$  аралықта болған кезде жарамды. Максималды салыстырмалы қателік 8% - дан аспайтыны көрсетілген.

Кептіру кинетикасын зерттеу нәтижелерін талдау мақта сабақтарының шектік ылғалдылығы жылу агентінің температурасы мен сүзгілеу жылдамдығына да, стационарлық қабаттың биіктігіне де байланысты екенін көрсетеді. Жылу агентінің ылғалмен толық және ішінара қанығу кезеңдері белгіленді. Ұсақталған мақта сабақтары үшін кинетикалық коэффициенттің мәнін анықтау үшін тәуелділік алынды:

$$\eta = 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0,54} \cdot v_0^{2,8}. \quad (5)$$

(5) тәуелділікті ескере отырып шектік ылғалдылыққа қол жеткізу уақытын есептеу үшін теңдеу алынды, ол жылу агентінің ылғалмен толық қанығу кезеңінде ұсақталған мақта сабақтарының сүзгілеп кептіру қарқындылығын болжауға мүмкіндік береді және ұсақталған мақта сабақтарының құрамындағы шектік ылғалға  $w_{кр}^c$  жеткенге дейін әділ болады,

$$\frac{w^c}{w_0^c} = 1 - 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0,54} \cdot v_0^{2,8} \cdot e^{-20,74 \cdot H}, \quad (6)$$

(6) теңдеуді ескере отырып шектік ылғалдылыққа ұсақталған мақта сабақтарының  $\tau_{кр}$  жету уақытын есептеу үшін теңдеу алынды:

$$\tau_I = \frac{(w^c - w_{кр}^c)}{w_0^c \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0,54} \cdot v_0^{2,8} \cdot \tau \cdot e^{-20,74 \cdot H}}, \quad (7)$$

және жылу агентінің ылғалмен ішінара қанығу кезеңінде кептіру уақытын есептеу үшін тәуелділік алынды:

$$\begin{aligned} \tau_{II} &= \frac{1}{\chi \cdot N} \cdot (1 + \ln \chi (w^c - w_k^c)) = \\ &= \frac{1}{(1,1 \cdot w_0^c \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0,54} \cdot v_0^{2,8} \cdot \tau \cdot e^{-20,74 \cdot H})} \times (1 + \ln(1,1 \cdot N \cdot (w^c - w_k^c))). \end{aligned} \quad (8)$$

Ұсақталған мақта сабақтарын сүзгілеп кептірудің жалпы уақытын (7) және (8) тәуелділіктердің қосындысы ретінде есептеуге болады:

$$\tau = \tau_I + \tau_{II} = \frac{(w_0^c - w_k p^c)}{(w_0^c \cdot A \cdot t^n \cdot v_0^m e^{-aH})} + \frac{1}{\chi \cdot N} \cdot (1 + \ln \chi (w^c - w_{kp}^c)), \quad (9)$$

мұндағы,  $w^c$ ,  $w_p^c$ ,  $w_{kp}^c$  - сәйкесінше, материалдың ылғал құрамының ағымдағы, тепе-теңдік және шектік мәні; кг  $H_2O$  /кг құрғақ.мат.;  $\tau$ -кептіру уақыты, с; “ $\eta$ ” және “ $a$ ”- кинетикалық коэффициенттер;  $N$ -жылу агентінің ылғалмен толық қанығу кезеңіндегі кептіру жылдамдығы, кг  $H_2O$ /кг құрғақ.мат.;  $\chi$  - салыстырмалы кептіру коэффициенті, кг  $H_2O$ /кг құрғақ.мат.

Жылу агентінен ұсақталған мақта сабақтарының құрғақ бөлшектеріне жылу беру коэффициенті әр түрлі жылу агентінің жылдамдық кезінде келесі тәуелділікке сәйкес есептелді:

$$Nu = 0.35 \cdot Re_e^{0.88} \cdot Pr^{0.33}, \quad (10)$$

мұндағы:  $Nu = \frac{\alpha \cdot d_e}{\lambda}$  Нуссельт критерийі;  $Re_e = \frac{v \cdot d_e}{\nu}$  Рейнольдс критерийі;  $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$  Прандтль критерийі;  $\lambda$  - жылу агентінің жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/м·К;  $\nu$ -жылу агентінің нақты сүзгілеу жылдамдығы, м/с;  $\gamma$  – жылу агентінің кинематикалық тұтқырлық коэффициенті, м<sup>2</sup>/с;  $\alpha$  – жылу агентінің температура өткізгіштік коэффициенті м<sup>2</sup>/с.

Жылу агентінен ұсақталған мақта сабақтарының ылғал бөлшектеріне жылу беру коэффициенті анықтауға келесі тәуелділік қолданылады:

$$Nu = 0,061 \cdot Re_e^{0,65} \cdot Pr^{0,33}. \quad (11)$$

Қабат пен аппараттың геометриялық параметрлерін ескере отырып ұсақталған мақта сабақтарының жұқа қабатындағы масса коэффициентін анықтауға келесі тәуелділік қолданылады:

$$Sh = 0,061 \cdot Re_e^{0,65} \cdot Sc^{0,33} \quad (12)$$

Келтірілген тәуелділіктер (11) және (12) Рейнольдс ( $10 \leq Re \leq 100$ ) санының өзгеруінің кең шегінде ұсақталған мақта сабақтарының стационарлық қабатында сүзгілеп кептіру кезінде жылу беру және масса беру коэффициенттерін анықтауға және сүзгілеп кептіру процесін іске асыруға жылу энергиясының шығындарын және сүзгілеп кептіру қондырғысын жобалау кезеңіндегі пайдалану қажет шығындарын болжауға мүмкіндік береді. Салыстырмалы қателіктің максималды мәні 9% - дан аспайды.

"Мырзакент мақта өңдеу зауыты" ЖШС-не енгізілген композиттік ағаш-жоңқа тақталарын өндіруде ұсақталған мақта сабақтарын кептіруге арналған сүзгілі кептіру қондырғысын әзірлеу кезінде инженерлік-техникалық шешімдер ұсынылды. Бұл шешімдер барабанды кептіру қондырғысын ҚР пайдалы модельге патенті мен қорғалған сүзгілі кептіру қондырғысына ауыстыруды көздейді. Құрылғы пластинаның құрылысымен және кептіру камерасының қақпағымен ерекшеленеді, дифференциалды перфорациясы бар, кептірілетін материалдың қозғалысы бағытында тірі қимасы азаяды. Жылу тасымалдағышты тарату жүйесі

тікелей кептіру камерасына орналастырылған, ол кептірілетін материалдың қозғалысы бағытында азаяды.

Ұсынылған инженерлік шешімдер бүкіл вакуумдық камера бойында бірдей гидравликалық кедергілік қамтамасыз етуге және қондырғының материал сыйымдылығын азайтуға мүмкіндік береді. Жылу тасымалдағышты тарату жүйесін тікелей кептіру камерасына орналастыру материалды біркелкі кептіруді қамтамасыз етеді, оның қызып кетуін болдырмайды, бұл пайдалану шығындарын азайтады және процестің тиімділігін арттырады. Алынған теңдеулер мен жылу және масса алмасу саласындағы белгілі тәуелділіктер негізінде гидравликалық кедергіні, кинетика параметрлерін, кептіру қондырғысын есептеу және жетілдіру үшін "Мырзакент мақта өңдеу зауыты" ЖШС-не берілген сүзгілеп кептіру қондырғысының жылу масса алмасуын есептеу әдістемесі мен тәртібі әзірленді.

Кептіру процестерін жүргізуге арналған аппараттардың өнеркәсіптік үлгілерін жобалау және пайдалану бойынша ұсыныстар әзірленді және материалдық және пайдалану шығындарын есептей отырып, ұсынылған сүзгілі кептіру қондырғысының техникалық сипаттамаларына талдау жасалды.

**Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу.** Гидравликалық кедергіні есептеу үшін ұсынылған теңдеулердің жаңалығы, өлшемсіз кешендер түріндегі есептелген тәуелділіктер (Эйлер критерийінің Рейнольдс критерийіне және геометриялық симплекске функционалдық тәуелділігі, критериялық түріндегі масса беру және жылу беру коэффициенттері), кинетикалық коэффициенттің мәнін анықтауға тәуелділік, шектік ылғал құрамына жету уақытын есептеуге арналған теңдеулер, олар қозғалыс заңдылықтарын, жылу агентінің температурасын, қабаттың биіктігін, және ұсақталған мақта сабақтарының гранулометриялық құрамы, кеуектілігі, сусымалы және шынайы тығыздығы, анықталған геометриялық пішіндерін ескеретіндігімен негізделеді, сонымен бірге пайдалы модельге ҚР патенті бар қондырғының конструктивті параметрлері гидродинамика мен жылу масса алмасудың белгілі заңдары негізінде алынған. Алынған теңдеулердің маңыздылығы-олар инженерлік әдістеме мен есептеу тәртібінің негізін құрайды және сүзгілеп кептіру қондырғысының технологиялық параметрлерін есептеуге мүмкіндік береді.

**Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.** Жұмыс ҚР БҒМ Ғылым комитетінің 5. Агроөнеркәсіптік кешеннің тұрақты дамуы және ауыл шаруашылығы өнімдерінің қауіпсіздігі басым бағыты бойынша, 5.5 Ауыл шаруашылығы өнімі мен шикізатын қайта өңдеу және сақтау мамандандырылған ғылыми бағыты бойынша зерттеулер бағытына сәйкес орындалды.

**Докторанттың әр жарияланымды дайындауға қосқан үлесінің сипаттамасы.** Диссертация тақырыбы бойынша 10 мақала жарияланды. Докторанттың жалпы үлесі 55-60% құрайды. Мақалаларға үлес эксперименттік зерттеулер жүргізу, нәтижелерді кестелік мәндер мен графикалық тәуелділіктер түрінде өңдеу, есептеу теңдеулерін алу сияқты компоненттерден тұрады.