

**Джанабаев Даурен Жумагалиевич**

6D072400 – Технологиялық машиналар мен жабдықтар мамандығы бойынша философия PhD докторы ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертацияға

## **АНДАТПА**

### **Талшықты құрылымды материалдарды сүзіп кептіру процесін есептеу және әзірлеу.**

**Диссертациялық зерттеудің өзектілігі.** Материалдағы ылғалды кептіру процесі оның материалмен байланысының бұзылуымен бірге жүретіні белгілі, оған көп энергия жұмсалады. Шитті мақтаны кептіру кезінде оңтайлы кептіру режимін таңдау маңызды, өйткені кептіру параметрлері сәйкес келмеген кезде талшықтың үзілуі, оның ұзындығының төмендеуі байқалады, нәтижесінде талшықтың сапасы төмендейді.

Еркін және байланысты ылғалды кептірудің жоғары қарқынды әдістерінің бірі-сүзіп кептіру процесі болып табылады. Бұл сүзіп кептіру кезінде жылу агенті ылғал материалдың кеуекті құрылымы арқылы сүзілетіндігіне байланысты. Сүзіп кептіру кезінде жылу агентінің қабат элементтеріне қатысты нақты жылдамдығы кез-келген басқа әдістермен кептірумен салыстырғанда әлдеқайда жоғары. Ылғал материалдың стационарлық қабатының кеуектері мен арналарындағы жылу мен масса алмасу бетінің жоғарылығы және жылу агентінің жылдамдығы жылу мен масса алмасудың коэффициенттерінің жоғары болуы нәтижесінде сүзіп кептірудің қарқындылығын қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, сүзіп кептіру процесінің жалпы энергия шығындары стационарлық қабаттағы қысымның жоғалуынан және жылу агентін (ауаны) белгіленген температураға дейін қыздырудан тұрады. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, ылғал мақта талшығының стационарлық қабатындағы қысымның шығыны сүзіп кептірудің қарқындылығы мен экономикалық тиімділігін анықтайтын маңызды фактор ретінде жылу агентінің сүзілу жылдамдығына тәуелділігін анықтау маңызды.

Сондықтан шитті мақтаны кептіру кезінде сүзу тәсілін пайдалану мен гидродинамикасын эксперименттік, теориялық зерттеу, энергетикалық шығындарды төмендету, шитті мақтаның бастапқы сапасын сақтау мақтаны қайта өңдеу кезінде өзекті міндет болып табылады және Қазақстан Республикасының мақта кластерін дамыту үшін үлкен маңызға ие.

**Зерттеу тақырыбы** гидродинамикалық заңдылықтар, кептіру процесінің кинетикасы және мақта шикізатын сүзу кезінде жылу мен масса алмасу болды.

**Жұмыс мақсаты:** талшықты құрылым материалдарын сүзіп кептіру процесінің ғылыми негіздерін әзірлеу, оларды есептеу мен жобалаудың ғылыми негізделген әдістерін жасау және алынған нәтижелерді өнеркәсіпте жүзеге асыра отырып, тәжірибелік-өнеркәсіптік жағдайда сынақтан өткізу.

**Зерттеудің ғылыми жаңалығы:**

-мақта талшықтарының анықталған геометриялық пішініне және жылу агентінің тұрақты емес пішінді талшықты бөлшектердің стационарлық қабаты арқылы сүзілуінің гидродинамикалық заңдылықтарына сүйене отырып, жылу агентінің қысымының арқасында "шөгү" құбылысы анықталды және мақта талшықтарының қабат бетінің, бастапқы және ағымдағы нақты беттерін және кеуектер мен каналдардың эквивалентті диаметрін есептеу үшін теңдеулер алынды;

- Дарси-Вейсбах тәуелділігінің негізінде кеуекті стационарлық қабаттың гидравликалық кедергісін есептеу формуласы алынып, гидравликалық кедергі коэффициентін есептеу үшін теңдеулер алынды, ол талшықтардың жалпы бетін, бастапқы және ағымдағы нақты беттерді және тері тесігі мен мақта талшықтарының арналарының эквивалентті диаметрін ескереді;

- тәжірибелік және теориялық деректерді дәрежелік функциямен қорытындылау негізінде қабат кеуектілігінің жылу агентінің жалған жылдамдығына, мақта талшықтарының гидравликалық кедергі коэффициентінен және Рейнольдс санынан Эйлер санынан есептік тәуелділігі алынды қуат функциясының;

-мақта шикізатының стационарлық қабаты арқылы жылу агентінің сүзгілену заңдылықтарын зерттеу негізінде жылу агентінің толық және ішінара қанығу кезеңдері белгіленді және сүзіп кептіру механизмі негізделді;

- стационарлық қабатта шитті мақта талшықтарын сүзіп кептіру кинетикасының заңдылықтары зерттелді, жылу агенті ылғалмен толық қаныққан қабаттың ең төменгі биіктігі есептелді және оның жылу агентінің сүзу жылдамдығына тәуелділігі анықталды;

- ұқсастық теориясы негізінде жылу агентінен шитті мақтаның құрғақ талшықтарының қабатына жылу беру коэффициенттерін және сүзіп кептіру кезінде жылу агентінен шитті мақтаның ылғалды қабатына жылу және масса беру коэффициенттерін анықтау үшін Нуссельт пен Шервуд сандарының критериалдық тәуелділігі ұсынылды.

**Зерттеудің теориялық маңыздылығы** сүзіп кептіру заңдылықтарын теориялық және тәжірибелік зерттеу негізінде талшықты материалдарды кептіруге арналған сүзіп кептіру қондырғысын есептеу әдістемесі ғылыми негізделген.

**Практикалық құндылық.** Сүзгіш кептіру қондырғысының дизайны жасалды және шикі мақтаны кептіру әдісі ұсынылды.

Шитті мақтаны кептіруге арналған Сүзгіш кептіру қондырғыларын жобалау және пайдалану бойынша есептеу әдістемесі, ұсынымдар әзірленді.

**Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар.** Диссертация тақырыбы бойынша 10 мақала, оның ішінде 6 мақала халықаралық конференциялар материалдарында, 1 мақала SCOPUS халықаралық ғылыми журналдар базасына кіретін басылымда (процентиль 29) , 3 мақала ҚР БҒМ білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған журналдарда жарияланды. Мақала материалдары диссертацияның негізгі мазмұнын қамтиды.

**Кіріспеде** шешілетін ғылыми мәселенің қазіргі жай-күйіне баға, тақырыпты әзірлеу үшін негіз және бастапқы деректер, ғылыми-зерттеу

жұмысын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі, диссертацияны әзірлеудің жоспарланып отырған ғылыми-техникалық деңгейі және метрологиялық қамтамасыз ету туралы мәліметтер, тақырыптың өзектілігі мен жаңалығы, осы жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы, мақсаты, объектісі мен пәні, зерттеу міндеттері, әдістемелік база, қорғауға шығарылатын ережелер, тәжірибелік құндылығы мен практикалық алынған нәтижелерді пайдалану берілген.

**Бірінші бөлімде** қолданыстағы кептіру технологиялары мен жабдықтардың түрлеріне талдау жасалды, талшықты материалдарды кептіру ерекшеліктері және әртүрлі материалдарды сүзіп кептірудің теориясы мен практикасы саласындағы әзірлемелер, сондай-ақ оларды есептеу әдістері қарастырылды. Кептіру кезінде шикі мақтаға қойылатын сапалық және сандық талаптар талданады. Жүргізілген талдау негізінде зерттеу міндеттерін белгілеу жүзеге асырылды.

**Екінші бөлімде** шитті мақтаны сүзіп кептіру кезіндегі гидродинамикалық параметрлерді, кинетиканы және жылу-масса алмасу сипаттамаларын зерттеуге арналған эксперименттік қондырғының сипаттамасы берілген, сүзгілеу қондырғысының конструкциялары мен жұмыс істеу қағидатының сипаттамасы келтірілген. Кеуекті құрылымды, сусымалы тығыздықты, талшық қабатының жалпы және нақты бетін тәжірибелік зерттеу әдістері келтірілген. Шитті мақтаны көп мақсатты растрлық электрондық микроскоппен зерттеу нәтижелері ұсынылған, олар шитті мақта талшықтарының геометриялық сипаттамаларын және тиімді меншікті изобарлық жылу сыйымдылығының  $C_p$ , жылу өткізгіштік коэффициентінің  $\lambda$  және шитті мақта мен оның компоненттерінің температуралық өткізгіштік коэффициентінің  $\alpha$  температуралық тәуелділігін анықтауға мүмкіндік берді.

Жүргізілетін зерттеулердегі режимдік параметрлердің өзгеру диапазоны:  $w_T = 0,5 \div 2,5$  м/с газ жылу агентінің жылдамдығы; жылу агентінің температурасы  $t_{\text{теп. аг.}} = 20 \div 100$  °С; шитті мақтаның стационарлық қабатының биіктігі  $H_{\text{ст}} = 0,001 \div 0,011$  м; кептіруді жүргізу уақыты 90 – 120 с құрады; эксперимент кезінде үлгінің салмағын жоғалту 0,2% - дан аз болды, кептірілген шитті мақтаның массасы  $m = 0,1 \div 0,11$  кг.

**Үшінші бөлімде** шитті мақтаны сүзгілеп кептірудің гидродинамикалық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген.

Тәжірибелер көрсеткендей, жылу агенті қысым айырмашылығының әсерінен стационарлық қабат арқылы қозғалғанда, жылу агенті қозғалатын арналардың эквивалентті диаметрі, қабаттың кеуектілігі және сәйкесінше жылу агентінің нақты жылдамдығы өзгереді.  $v$  газ ағынының сүзілуінің нақты жылдамдығының өзгеруі  $\Delta P$  қабатындағы қысым шығынының өсуіне, ал  $H$  мақта талшығы қабатының биіктігі  $\rho_v$  көлемдік тығыздығының өсуіне (дисперсті материалдар үшін сусымалы тығыздықтың аналогы) әкеледі. Яғни:  $= f(\Delta P)$ ;  $d_e = f(\Delta P)$ ;  $\varepsilon = f(\Delta P)$ ;  $\rho_v = f(\Delta P)$ ;  $\Delta P = f(v)$ . Бұл жағдайда тұрақты мәндер тек талшықтың массасы және  $G_v = \text{const}$  және барлық мақта талшықтарының сыртқы беті  $F = \text{const}$  болып қалады.

Тәжірибелік контейнерде ұзындығы  $L_v$ , болатын  $N$  бірдей талшықтар бар деп есептесек, барлық талшықтардың сыртқы бетін есептеу үшін геометриялық пішінін ескере отырып келесі теңдеу ұсынылды:

$$F = 2 \cdot (a + b) \cdot L_v \cdot \frac{G_v}{\rho_v \cdot a \cdot b \cdot L_v} = \frac{2 \cdot (a+b) \cdot G_v}{\rho_v \cdot a \cdot b} \quad (1)$$

Тәжірибелік ыдыстағы мақта талшығының шартты стационарлық қабатының бастапқы және ағымдағы үлестік беттері жалпы беттің көлемге қатынасы ретінде айқындалды:

$$S_0 = \frac{F}{S \cdot H_0} = \frac{2 \cdot (a+b) \cdot G_v}{\rho_v \cdot a \cdot b \cdot S \cdot H_0}, \quad (2)$$

тиісінше, біз ағымдағы нақты беттің есептелген формуласын алдық:

$$S_{\text{тек}} = S_0 \cdot \frac{H_0}{H} = \frac{2 \cdot (a+b) \cdot G_v}{\rho_v \cdot a \cdot b \cdot S \cdot H} = \frac{2 \cdot (a+b) \cdot H_v \cdot S \cdot \rho_v}{\rho_v \cdot a \cdot b \cdot S \cdot H} = \frac{2 \cdot (a+b)}{a \cdot b} \cdot \frac{H_v}{H} \quad (3)$$

$d_e$  эквивалентті диаметрі үшін жылу тасымалдағыш сүзілетін кеуектер мен арналар үшін (3) теңдеу алынды:

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon_l}{S_{\text{тек}}} = \frac{2 \cdot a \cdot b \cdot \varepsilon_l}{(a+b)} \cdot \frac{H}{H_v}, \quad (4)$$

Кеукті стационарлық қабаттағы қысымның жоғалуын анықтау үшін (4) теңдеуді ескере отырып, белгілі Дарси-Вейсбах тәуелділігі түрлендірілді және келесі түрде ұсынылды:

$$\Delta P = \lambda_l \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \lambda_l \cdot \frac{H \cdot (a+b) \cdot H_v}{2 \cdot a \cdot b \cdot H \cdot \varepsilon_l} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \lambda_l \cdot \frac{(a+b) \cdot H_v}{2 \cdot a \cdot b \cdot \varepsilon_l} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (5)$$

мұндағы  $v_0$ -жылу агентінің сүзілу жылдамдығы  $v_0 = v \cdot \varepsilon_l, м/с$ ;

(5) теңдеуде кеукті қабаттың гидравликалық қарсыласу коэффициентін  $\xi$  есептеу үшін формула алынады:

$$\xi = \lambda_l \cdot \frac{(a+b) \cdot H_v}{2 \cdot a \cdot b \cdot \varepsilon_l}, \quad (6)$$

Эксперименттік мәліметтерді дәрежелі функциямен өңдеу арқылы қабаттың кеуктілігі  $\varepsilon$  жылу агентінің жалған жылдамдығына  $v_0$  тәуелділігін алуға мүмкіндік берді:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot v_0^{-0.025} \quad (7)$$

Мақта қабаты арқылы жылу агентінің сүзу гидродинамикасының эксперименттік мәліметтерін жалпылау Эйлер өлшемсіз санының тәуелділігі және гидравликалық кедергі коэффициентінің Рейнольдс санына тәуелділігі түрінде ұсынылған:

$$Eu = 84 \cdot 10^3 \cdot Re_e^{-1.18}, \quad (8)$$

$$\xi = 16 \cdot 10^4 \cdot Re_e^{-1.16} \quad (9)$$

**Төртінші бөлімде** шитті мақтаның кинетикалық параметрлері мен сүзіп кептіру механизмін зерттеу нәтижелері келтірілген, жылу агентінің жалған жылдамдығының артуымен шитті мақтаның сусымалы тығыздығы күрт өсе бастайды, бұл талшық беттерінің айтарлықтай өзара жабылуына, сүзудің біркелкілігінің төмендеуіне, нәтижесінде кептіру уақытының көбейуіне

әкеледі. Бұл сүзіп кептіру процесінің кинетикасына тікелей әсер етеді. Сүзіп кептіру жылдамдығы материал қабатының биіктігіне тәуелділігінің төмен екендігі дәлелденді, осыған сүйене отырып, жылу агенті ылғалмен толығымен қаныққан ең төменгі биіктік  $h_{\min}$  есептеледі.

Шитті мақта талшықтарын сүзіп кептіру кезінде басында биіктігі  $h_{\min}$  тең аймақ қалыптасатыны тәжірибе жүзінде анықталды. Бұл биіктікте талшықты материалдың ылғал қабатының кеуекті құрылымы арқылы сүзілген жылу агенті жылуды материалға береді, ал өзі ылғалмен қаныққан. Егер қабаттың биіктігі едәуір болса және ылғал жеткілікті болса, онда біраз уақыттан кейін жылу агентінің ылғал мөлшері қанықтылыққа жетеді, нәтижесінде оның температурасы дымқыл термометр температурасына дейін төмендейді. Болашақта қысым айырмашылығының әсерінен жылу агенті қабаттың кеуекті құрылымы арқылы сүзуді жалғастырады, бірақ ол енді масса алмасуға қатыспайды.

Біз келтірген сүзгіп кептіру механизмінен перфорацияланған бөліктің масса алмасу шегіне жеткенге дейін жылу агентінің ылғал буларымен толық қанығуы анықталды. Масса алмасу аймағының перфорацияланған қоршауға жеткенде, ылғал материалдың мөлшері азаяды, ал жылу агенті тек жартылай ылғал буларымен қаныққан. Сол сияқты, бірінші жағдайдағыдай, бұл кезенді жылу агентінің ішінара қанығу кезеңі деп атаған жөн.

**Бесінші бөлімде** шитті мақтаның құрғақ және дымқыл қабаты кезіндегі жылу-масса алмасуды зерттеу нәтижелері келтірілген және ұқсастық теориялары негізінде критериялды түрде шитті мақта талшықтарының құрғақ қабатында жылу беру коэффициентін есептеу үшін теңдеулер алынды:

$$Nu = 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot Re_{\text{экв}}^{1,17} \cdot Pr^{0,33}, \quad (10)$$

ылғал талшықты материал үшін Nusselt саны пайда болады:

$$Nu = 4,5 \cdot 10^{-2} \cdot Re_e^{0,1} \cdot Pr^{0,33}, \quad (11)$$

масса беру коэффициентін есептеу үшін Шервуд саны:

$$Sh = 4,5 \cdot 10^{-2} \cdot Re_e^{0,1} \cdot Sc^{0,33} \quad (12)$$

(11) және (12) теңдеулерден көрініп тұрғандай, екі жағдайда да өлшемсіз кешендердегі теңдеу Рейнольдс санында бірдей дәрежеде сипатталады, бұл гидродинамиканың осы коэффициенттерге бірдей әсерін көрсетеді.

Айта кету керек, толығымен ылғалданған бет үшін жылу және масса алмасу аймақтары бірдей, сондықтан беткі температура ылғалды термометрдің температурасына жақын, жартылай ылғалданған бет үшін масса алмасудың тиімді ауданы беткі ылғалдылықтың жоғарылауымен төмендейді.

Алынған нәтижелер Нусельт және Шервуд сандарының мәндерін болжауға және сәйкесінше Рейнольдс ( $10 \leq Re \leq 100$ ) санының өзгеруі шегінде  $\pm 9,0\%$  дәлдікпен мақта талшықтарын сүзіп кептіру кезінде жылу беру және масса беру коэффициенттерін есептеуге мүмкіндік береді. Талшықты материалды сүзіп

кептіру процесіне жылу энергиясының шығындарын, оны жобалау кезеңіндегі пайдалану шығындарын болжауға және сүзіп кептіру әдісін қолданудың экономикалық орындылығын анықтауға мүмкіндік береді.

**Алтыншы бөлімде** шитті мақтаны кептіру кезінде сүзіп кептіру қондырғысын жобалау және енгізу жөніндегі ұсынымдар келтірілген.

Жобалау бойынша ұсыныстар режимдік мен конструктивтік параметрлерін таңдау туралы ақпараттарды қамтиды.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша "Мырзакент мақта өңдеу зауыты" ЖШС-не шитті мақтаны бастапқы өңдеудің технологиялық схемасында енгізілген өнеркәсіптік сүзгілеу кептіру қондырғысының конструкциясы әзірленді. Бұл ретте кептіргіш жылу агентінің температурасын  $60^{\circ}\text{C}$  -қа дейін төмендету есебінен қайта өңделетін мақтаның 1 тоннасына электр энергиясының шығыны  $631,77 \text{ кВт}\cdot\text{сағ.}$  дейін төмендетілді.

**Қорытындыда** диссертациялық зерттеулердің нәтижелері бойынша қысқаша тұжырымдар, қойылған міндеттердің шешімдерінің толықтығын бағалау, нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсынымдар мен бастапқы деректер әзірленді, енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігіне және осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың ғылыми деңгейіне баға берілді.

Шартты белгілер:

$a$  и  $b$  – мақта талшықтарының орташа ені мен қалыңдығы, сәйкесінше, м;  $G_v$  – масса, кг;  $S$  – эксперименттік сыйымдылықтың көлденең қимасының ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $S_0$ ,  $S_{\text{тек}}$  – талшықты қабаттың бастапқы және ағымдағы нақты беттері,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $\rho_v$  – мақта талшығының меншікті тығыздығы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $H_v$  – тығыздығы  $\rho_v$  тең талшық қабатының биіктігі, м;  $H$  – қысымның жоғалуына байланысты талшық қабатының ағымдағы биіктігі, м;  $\varepsilon_l$  – қабаттылық,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $\Delta P$  – материал қабатындағы қысымның жоғалуы, Па;  $\rho$  – газ ағынының тығыздығы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\nu$  – газ ағыны қозғалысының нақты жылдамдығы,  $\text{м}/\text{с}$ .  $\nu$  – кинематикалық тұтқырлық коэффициенті,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $Nu = \frac{\alpha \cdot d_e}{\lambda}$  – Нусельт саны;

$Re_e = \frac{v \cdot d_e}{\nu}$  – Рейнольдс саны;  $Pr = \frac{\nu}{a}$  – Прандтль саны;  $Sh = \frac{\beta \cdot d_a}{D}$  – Шервуд саны;  $Sc = \frac{\nu}{D}$  – Шмидт саны.