

Ешжанов Абилда Абдыкадырович

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

АҢДАТПА

Аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар жылумассаалмасу аппаратын әзірлеу және есептеу

Диссертациялық зерттеудің өзектілігі. Жылжымалы саптамасы бар аппараттар (қалықтамалы және фонтандаушы) өнеркәсіпте конструкцияның қарапайымдылығы мен берік қоспалары бар газ сұйықтықты ортаның ластануына сезімтал еместігі арқасында таралды. Алайда, олардың елеулі кемшілігі едәуір гидравликалық кедергі болып табылады, оның негізгі үлесін саптама элементтерін көтеруге және оларды қалықтамалы күйде ұстап тұруға арналған энергия шығындары құрайды.

Әсерлесу аумағындағы саптама элементтерін ретті орналастырған кезде гидравликалық кедергі едәуір төмендейді және бұл ретте реттелетін құйынды өзара іс-қимылды іске асыру есебінен жүргізілетін процестер айтарлықтай қарқындалады.

Сонымен қатар, жоғары адгезионды қасиеттерге ие шаң бөлшектерімен шаң ұстау процестерін жүргізу кезінде саптама элементтері мен аппарат қабырғаларында қалдырылатын жұқа дисперсті қатты бөлшектердің түсуі орын алады, нәтижесінде синфазалық режимнің бұзылуына, демек, жүргізілетін процестер тиімділігінің айтарлықтай төмендеуіне әкеп соғатын саптама қабатының өсуі орын алуы мүмкін.

Мұндай үдерістерді тиімді жүргізу үшін тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аралас аппараттар конструкциялары құрылған, олар қалықтамалы дискретті контактілі элементтердің ретсіз қозғалысы кезінде шөгінділерді механикалық тазартумен тұрақты саптама қабатындағы ағындардың құйынды өзара іс-қимылының артықшылықтарын пайдалануға мүмкіндік береді. Алайда мұндай аппараттарды зерттеу нәтижелері жоқ.

Осыған байланысты зерттеулер жүргізу, масса алмасу, контактілі жылу алмасу және шаң ұстау процестеріне қатысты аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппараттарды есептеу және жобалау әдіснамасын әзірлеу, оларды жобалау және пайдалану жөніндегі ұсынымдар өзекті болып табылады.

Зерттеу аясы гидродинамикалық заңдылықтар, масса алмасу, контактілі жылу алмасу және шаң ұстау процестері болып табылады.

Жұмыстың мақсаты: аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппараттарда масса алмасу, контактілі жылу алмасу және шаң ұстау процестерінің ғылыми негіздерін әзірлеу, оларды есептеу мен жобалаудың ғылыми негізделген әдістерін құру және тәжірибелік-өнеркәсіптік

жағдайларда алынған нәтижелерді өнеркәсіпте іске асыра отырып апробациялау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы:

- саптама көлемінде газдың қозғалысы бұрма арналары бойынша жүзеге асырылатынын ескере отырып, құбырлы - шарлы саптаманың (құбырлы-қалықтамалы және құбырлы-бұрқақталған) меншікті беткі қабатын, олардың көлемдік қуыстылығын, сондай-ақ эквивалентті диаметрін анықтау үшін есептік тәуелділіктер алынды;

- тұрақты-қалықтамалы саптама көлемінде газ және сұйықтық ағындарының құйынды өзара әрекеттесуінің белгілі заңдылықтарына сүйене отырып, гидравликалық кедергіні, ұсталатын сұйықтықтың мөлшерін және қабаттың газ құрамын есептеу үшін теңдеу алынды;

- жергілікті изотропты турбуленттілік теориясын пайдалана отырып және диссипативті тәсілді қолдана отырып, тамшылардың орташа диаметрін анықтау үшін теңдеу алынды;

- берік денелердің құйынды ағуының және тарелкалардың ірі тесіктері арқылы фазалар ағысының бірыңғай механизмін пайдалана отырып, түтікшелі элементтен ағатын сұйықтық пленкасының ыдырауы кезінде сұйықтықтың ағу жиілігін, түтікшелердің ағу жиілігін, құбырлардың ағу кезінде пайда болатын құйынды үзілу жиілігін байланыстыратын жиіліктік сипаттама алынды;

- үйкеліс пен массаөткізгіш арасындағы ұқсастыққа негізделген тәсілді пайдалана отырып, газ ағынының төменгі жылдамдығы кезінде газ фазасындағы массаөткізу коэффициенттерін анықтайтын теңдеу алынды. Барботажа жағдайында газдың жоғары жылдамдығы кезінде газ фазасындағы массаөткізу коэффициенттерін есептеуге теңдеу бетті жаңарту моделі негізінде алынды;

- газ ағынының төмен және жоғары жылдамдықтары кезінде жылу және масса алмасу процестерінің аналогиясына сүйене отырып, жылу беру коэффициенттерін есептеу үшін теңдеулер алынды;

- қатты бөлшектерді турбулентті-диффузиялық тұндыру моделінің негізінде шаң ұстау тиімділігін анықтауда қолданылатын турбулентті диффузия коэффициентін есептеуге формула алынды.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы болып, ағындардың құйынды өзара әрекеттесуінің заңдылықтарын теориялық және тәжірибелік зерттеулер негізінде масса алмасу, контактілі жылу алмасу және шаң ұстау процестерін жүргізуге арналған аралас тұрақты-қалықтамалы саптамалы аппаратты есептеу әдіснамасы ғылыми негізделді.

Практикалық құндылығы. №3356 пайдалы модельге ҚР патентімен қорғалған аппараттың құрылымы әзірленді.

Масса алмасу, түйіспелі жылу алмасу және шаң ұстау процестерін жүргізу үшін аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппараттарды жобалау және пайдалану бойынша ұсыныстар, есептеу әдістемесі әзірленді.

Зерттеу тақырыбы бойынша жариялымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 21 мақала, оның ішінде 16 мақала халықаралық конференция

материалдарында, 1 мақала SCOPUS ғылыми журналдарының халықаралық базасына кіретін басылымдарда, 4 мақала ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда жарияланды, пайдалы модельге ҚР 1 патенті алынды. Мақалалар мазмұны диссертацияның негізгі мазмұнын қамтиды.

Кіріспеде шешілетін ғылыми мәселенің қазіргі жай-күйіне баға берілді, тақырыпты әзірлеу үшін негіз және бастапқы мәліметтер, ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі, әзірлеудің жоспарланған ғылыми-техникалық деңгейі және диссертацияны метрологиялық қамтамасыз ету туралы мәліметтер, тақырыптың өзектілігі мен жаңалығы, осы жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы, зерттеудің мақсаты, нысаны мен тақырыбы, міндеттері, әдістемелік база, қорғауға шығарылатын ережелер, практикалық құндылығы және практикалық нәтижелерді апробациялау келтірілді.

Бірінші бөлімде аппараттардың масса алмасу, контактілі жылу алмасу және шаң ұстау процестерінде қалықтамалы және тұрақты жылжымалы саптамамен жұмыс істеуіне, сондай-ақ оларды есептеу әдістемесіне талдау жүргізілді. Жүргізілген талдау негізінде зерттеу міндеттерін қою жүзеге асырылды.

Екінші бөлімде гидродинамикалық параметрлерді, жылу массаалмасу сипаттамаларын және шаң ұстау, сондай-ақ эксперимент жүргізу әдістемелерін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғылардың сипаттамасы берілген.

Жүргізілетін зерттеулердегі режимдік параметрлердің өзгеру диапазоны: газ жылдамдығы w_r - 1÷5 м/с; суару тығыздығы L - 10÷75 м³/м²·ч; ауа температурасы $t_{\text{возд.}}$ = 20÷100 °С; құбырлы шоғырдағы жылу тасымалдағыштың температурасы $t_{\text{ж}}$ = 16÷100 °С; конструктивтік параметрлер: құбырлар арасындағы тік қадамы t_b/b - 4; көлденеңі t_p/b - 2; құбырлы элементтердің өлшемі: $d = 0,025$ м; $\ell = 0,34$ м; шарлар өлшемі; $d_{\text{ш}} = 0,015$ м; статикалық қабат биіктігі $H_{\text{ст}} = 0,015 \div 0,03$ м; тірек-таратушы тор (еркін қимасы): жалпақ $S_0 > 0,95$ м²/м²; пирамидальды $S_k/S_{\text{ап}} = 0,28$ м²/м².

Екі типті тұрақты-қалықтамалы саптама бар аппараттарға: құбырлы-қалықтамалы және құбырлы-фонтандаушы саптама сипаттама берілген және эквивалентті диаметрді есептеу үшін теңдеу алынды:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot m \cdot [12 \cdot t_p \cdot t_b - \pi \cdot (6 \cdot d_{\text{мп}}^2 + n_1 \cdot n_2 \cdot d_{\text{ш}}^2)]}{3 \cdot \pi (m \cdot d_{\text{мп}} + d_{\text{ш}})} \quad (1)$$

Аралас тұрақты-қалықтамалы саптаманың түйіспелі аймағындағы газ және сұйық фазалардың өзара әрекеттесу заңдылықтарын зерттеу үшін гидродинамикалық параметрлерге зерттеулер, қабаттың құрылымын көзбен шолып бақылау және суретке түсіру жүргізілді.

Зерттеулер құбырлы саптаманың өзгермейтін конструктивтік параметрлерінде ($t_b/b=4$; $t_p/b=2$) тегіс және пирамидальды тірек-тарату торлары

үшін суландыру болмаған кезде және суаруды берген кезде жүргізілді: бір және екі қабат шар саптамасы бар; бір төменгі тірек-тарату торы бар және бірнеше тірек-тарату торлары секцияланғанда. Гидравликалық кедергінің сандық көрсеткіштері жоғары болатындығы анықталды және тұрақты-қалықтамалы аралас саптамасы бар секцияланған аппараттарды қолдану оларды жоғары адгезионды қасиеттері бар шаңды тазалау үшін пайдаланған жағдайда экономикалық тұрғыдан тиімді болуы мүмкін. Осыған байланысты біз келесі зерттеулерді бір төменгі тірек-тарату торы бар аппараттар үшін жүргіздік.

Газ ағынының жылдамдығы өзгерген кезде төрт гидродинамикалық режимнің болуы белгіленді: саптаманың стационарлық жағдайы, ауыспалы, дамыған турбуленттілік және шашыратқыш.

Тұрақт-қалықтамалы саптамасы бар аппараттардың гидравликалық кедергісін есептеу үшін теңдеу ұсынылды:

$$\Delta P_L = \Delta P_{тр} + \Delta P_{ПН}, \quad (2)$$

мұндағы $\Delta P_{тр}$ тұрақты жылжымалы саптамасы бар аппараттар үшін белгілі теңдеу бойынша анықталады. Оған кіретін кедергі коэффициенті мынадай формула бойынша есептеледі:

$$\xi_L = 0,53 \cdot \theta_s \cdot \theta_p \cdot Re_{ж}^{0,1} \quad (3)$$

Суарылатын шар саптамасы өлшенген қабатының гидравликалық кедергісі:

$$\Delta P_{ПН} = (1 - \varepsilon_{ш}) \cdot \rho_n \cdot g \cdot H_{ст} + \kappa_s \cdot \rho_{ж} \cdot g \cdot h_{ж} \quad (4)$$

мұнда κ_s – түзетуші коэффициент. Құбырлы-қалықтамалы саптамасы бар аппарат үшін $\kappa_s = 0,558$; құбырлы-бұрқақты саптамасы бар аппарат үшін $\kappa_s = 0,65 \cdot S_{ап}/S_{к}$.

Жалпы жағдайда ұсталатын сұйықтықтың мөлшері және қабаттың газ мөлшері келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$h_0^{общ} = h_0^{ВН(ФН)} + h_0^{тр} \quad (5)$$

$$\varphi_{общ} = \varphi_{тр} \cdot \varphi_{ВН(ФН)} \quad (6)$$

Ұстап қалынатын сұйықтықтың мөлшері және қабаттың газ мөлшері тұрақты құбырлы саптамасы бар аппараттарға арналған белгілі теңдеулер бойынша есептеледі.

Қалықтамалы шар саптамамен ұсталатын сұйықтықтың мөлшері мынадай формула бойынша анықталады:

$$h_{ж} = \frac{\rho_{г} \cdot W_{г}^2}{\rho_{ж} g Fr} , \quad (7)$$

ондағы Фруд критерийі:

$$Fr = A \left(\frac{W_{г}}{W_{ж}} \right)^a \cdot \left(\frac{H_{ст}}{d_n} \right)^b \left(\frac{\rho_{н}}{\rho_{ж}} \right)^c \cdot B \quad (8)$$

Құбырлы-қалықтамалы саптамасы бар аппарат үшін: $A=0,0084$; $a=0,29$; $b=-0,25$; $c=0,1$; $B=1$; құбырлы-бұрқақты саптамасы бар аппарат үшін: $A=0,0033$; $a=0,43$; $b=-0,25$; $c=0,1$; $B=\left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{0,15}$.

Газ құрамы:

$$\varphi = \frac{W_{г}}{C \cdot \sqrt{\frac{g}{\rho_{г}} [\rho_{ж} h_{ж} + (1 - \varepsilon_{ш}) \rho_{н} H_{ст}] + W_{г}}} \quad (9)$$

C коэффициенті: $\varphi_{вн} \sim 0,043$; $\varphi_{фн} \sim 0,065$.

Газ ағынының төменгі жылдамдығы кезінде (3 м/с дейін) анықтаушы құрылымдық құрамдастар болып үлдірдің қалыңдығы, ағыстың жылдамдығы мен диаметрі, сондай-ақ құбырлы саптамадағы тамшылардың диаметрі болып табылады. Бұл құраушылар тұрақты құбырлы саптама үшін белгілі тәуелділіктер бойынша есептеледі. Газ ағынының жоғары жылдамдығы кезінде (3 м/с жоғары) көпіршіктердің диаметрі анықтаушы болып табылады. Көпіршіктің пішінін стохастикалық өзгерту аймағы үшін көпіршіктің диаметрі болады:

$$d_n = B_n \cdot \frac{\sigma^{3/4}}{g^{1/4} \rho_{ж}^{3/4} W_n} , \quad (10)$$

мұнда B_n - тәжірибелік коэффициент.

Газ немесе сұйықтық ағынының ағысы кезінде параллель құйынды ағыстардың өзара әрекеттесуінің ұқсастығынан оған көлденең орналасқан дискретті көздер жүйесі арқылы жиілік сипаттамасы алынды:

$$\psi_{\varepsilon} = \frac{W_{\varepsilon}}{u_{сmp} \cdot 2\pi \cdot \varepsilon_{mp}} \quad (11)$$

Үшінші бөлімде режимдік және конструктивтік параметрлерге тәуелді аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппараттың жылу массаалмасу сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл ретте қисық гидродинамикалық параметрлермен алынған қисықтардың өзгеру ұқсастығы белгіленді.

Сұйықтықтың тамшылап ағуы кезінде газ фазасындағы масса берілу коэффициенттерін есептеу үшін үйкеліс пен масса беру арасындағы ұқсастыққа сүйене отырып, теңдеу алынды:

$$\beta_{zs} = 3,17 \cdot \xi_L \cdot \frac{U_k^{13/10} \cdot \rho_{жк}^{2/5} \cdot V_z^{5/6}}{d_k^{1/10} \cdot \sigma^{2/5} \cdot D_z^{1/3}} \quad (12)$$

Барботаж жағдайында газ фазасындағы масса берілу коэффициенттерін есептеуге арналған теңдеу бетті жаңарту моделі негізінде алынды:

$$\beta_{zS} = 15,6 / (1 - \varphi_{ТФ}^{0,75}) \cdot \frac{h_{жк}^{3/4} \cdot g^{1/4} \cdot \psi_6^{1/4}}{d_n} \cdot D_z^{1/2} \quad (13)$$

Жылу беру коэффициенттері жылу мен массаны тасымалдау коэффициенттері (Льюис ұқсастығы) қатынасының тұрақтылығын сақтау шарттарынан есептеледі.

Төртінші бөлімде режимдік және конструктивтік параметрлерге байланысты аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппараттың шаң ұстау параметрлерін зерттеу нәтижелері келтірілген.

Қатты бөлшектердің турбулентті-диффузиялық шөгуінің математикалық моделіне негізделе отырып, турбулентті диффузия коэффициентін және шаң ұстау тиімділігін есептеу үшін теңдеу алынды:

$$D_T = 0,177 \cdot (\xi_L)^{1/3} \cdot (1 - \varepsilon_{обш})^{1/3} \cdot \left(\frac{H_{cm}}{d_{ш}} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{H}{t_B} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{жк}} \right)^{1/3} \cdot (h_0)^{-1/3} \cdot d_k^{4/3} \cdot u_r \cdot Stk \quad (14)$$

$$\eta = 3,0 \cdot \left(\frac{W_r \cdot d_k}{D_r} \right)^{-1/4} \quad (15)$$

Бесінші бөлімде аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар аппаратты жобалау және енгізу бойынша ұсыныстар берілген.

Жобалау бойынша ұсыныстар режимдік және құрылымдық параметрлерді таңдау туралы мәліметтерден тұрады.

Жүргізілген зерттеулер нәтижелері бойынша "Актюбинский завод хромовых соединений" АҚ-да натрий монохроматы өндірісінде шихтаны тотықтырып күйдіру процесінде газ шығарындыларын тазартудың технологиялық схемасына енгізілген, аралас тұрақты-қалықтамалы саптамасы бар өнеркәсіптік аппараттың конструкциясы әзірленді. Бұл ретте шаң шығарындыларының шоғырлануы төмендетілді және экономикалық залал 34,6 есеге азайтылды.

Қорытындыда диссертациялық зерттеулердің нәтижелері бойынша қысқаша қорытындылар берілді, қойылған міндеттердің толық шешілуіне баға берілді, нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы мәліметтер әзірленді, осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың техникалық-экономикалық тиімділігі мен ғылыми деңгейіне баға берілді.