

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

Торский Андрей Олеговичтің

«Масса алмасу және шаң ұстаудың аралас процестерін жүргізу үшін
циклонды-құйынды аппаратты әзірлеу және есептеу» тақырыбындағы
диссертациясының

АҢДАТПАСЫ

Диссертациялық зерттеудің өзектілігі. Ылғал типтегі аппараттар, соның ішінде қуыс саңылаулар, табақшалы және саптамалы аппараттар (стационарлық саптамамен), әртүрлі ротоклондар, Вентури скрубберлері әлсіз жабысатын шаңды ұстап, оңай еритін газдарды сіңіру үшін кеңінен қолданылады. Олар әдетте бір тізбекті суару жүйесіне ие. Алайда, жабысқақ шаңдары бар газдарды кешенді тазарту кезінде оларды қолдану шектеулі, өйткені ішкі құрылғылардың шөгінділермен толып кетуімен байланысты күрделі проблемалар туындайды, бұл құрылғының тиімділігі мен пайдалану сенімділігіне теріс әсер етеді.

Аралас үлгідегі аппараттар – жылжымалы (тұрақты) саптамасы бар инерциялық-турбуленттік (сұйықтық айнасымен газ ағынының соққы-инерциялық өзара әрекеттесетін аймағы және газ-тамшылармен өзара әрекеттесетін саптамасы бар аймағын қамтитын ИТЖС) бір контурлы суару жүйесін пайдалана отырып, сұйықтықтың ішкі циркуляциясы бар құрылғыларға жатады. Егер тазартылған газда еритін шаң болса, бір тізбекті суару жүйесі оңай еритін де, нашар еритін де газдардың сіңу дәрежесінің төмендеуіне әкеледі. Бұл суармалы ерітіндіде газдардың ерігіштігін төмендететін және тепе-теңдік константасының жоғарылауына әкелетін қосымша еріген компоненттің (сіңірілетін газбен әрекеттеспейтін) болуымен түсіндіріледі.

Бұл мәселе шөгінділердің пайда болуын болдырмауға және сіңіру процесінің қозғаушы күшін арттыруға мүмкіндік беретін автономды суару контурлары бар аралас аппараттың конструкциясында шешілді, әр аймақ үшін бөлек – соққылы-инерция және саптама. Сонымен қатар, жүргізілген зерттеулер суарудың автономды контурлары бар аралас аппараттың (олардың біреуі соққы механизмін пайдаланады) айтарлықтай гидравликалық кедергіге ие екендігін көрсетті.

Біз шаң ұстау және абсорбция процестерін бөлек жүргізу үшін автономды байланыс сатылары бар циклонды-құйынды аппарат конструкциясын әзірледік. Төменгі байланыс сатысында сұйықтықпен суланбаған кезде ортадан тепкіш шаңды ұстау механизмі қолданылады, ал жоғарғы байланыс сатысында шаң мен абсорбция процесі газ бен сұйықтықтың құйынды өзара әрекеттесу заңдылықтарын қолдана отырып жүзеге асырылады.

Сонымен қатар, тиісті зерттеулер мен ғылыми негізделген есептеу әдістерінің жоқтығы циклондық-құйынды әрекеттесетін аппаратты өнеркәсіпке енгізілуін тежейді.

Осыған байланысты, шаң тұту және масса алмасу процестеріне зерттеулер жүргізу, циклонды-құйынды әрекеттесетін аппараттарды есептеу және жобалау әдістемесін әзірлеу, оларды пайдалану бойынша ұсынымдар өзекті болып табылады.

Зерттеу тақырыбы гидродинамикалық заңдылықтар, шаң ұстау және масса алмасу параметрлері болды.

Жұмыс мақсаты: циклондық-құйынды әрекеттесетін аппаратта шаң ұстау және масса алмасу процестерінің ғылыми негіздерін әзірлеу, есептеу мен жобалаудың ғылыми негізделген әдісін жасау, тәжірибелік-өнеркәсіптік жағдайларда алынған нәтижелерді тексеру және өнеркәсіпке енгізу.

Зерттеудің ғылыми жаңашылдығы:

- газ ағынының спираль бойымен қозғалысының анықталған заңдылықтарына, тұрақты орналастырылған саптама көлеміндегі газ бен сұйықтық ағындарының құйынды өзара әрекеттесуіне сүйене отырып, циклондық және құйынды байланыс сатыларының гидравликалық кедергісін, олардың жалпы кедергісін, ұсталған сұйықтықтың мөлшерін және саптама аймағының қабатының газ құрамын есептеу үшін теңдеулер алынды;

- баланстық теңдеулерді, жергілікті изотропты турбуленттілік теориясын қолдана отырып және диссипативті тәсілді қолдана отырып, пластиналы саптама элементтерінің бетіндегі пленканың қалыңдығын, ағындардың диаметрін және тамшылардың орташа диаметрін анықтау үшін теңдеулер алынды;

- қатты бөлшектерді ұстап қалудың ортадан тепкіш-инерциялық механизмі негізінде түйісу сатысы мен шаң-газ қоспасының күйін сипаттайтын модификацияланған инерциялық параметрдің құрылымдық қатынастарын анықтау үшін теңдеулерге негізделген аппараттың циклондық сатысында бөлшектердің ортадан тепкіш және инерциялық шөгуінің математикалық моделі жасалды;

- сұйықтық тамшыларында қатты бөлшектерді аулаудың турбулентті-диффузиялық механизмін ескере отырып, турбулентті пульсациялармен әуестену дәрежесін ескере отырып, бөлшектердің турбулентті диффузия коэффициентін анықтауға арналған теңдеуге негізделген аппараттың саптама аймағындағы бөлшектердің турбулентті және диффузиялық шөгуінің математикалық сипаттамасы берілген;

- диссипативті тәсілді қолдана отырып, газ фазасындағы масса беру коэффициенттерін анықтау үшін есептелген тәуелділік алынды.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы газ ағынының спираль бойымен қозғалу заңдылықтарын теориялық және эксперименттік зерттеулер, тұрақты орналастырылған саптама көлеміндегі ағындардың құйынды өзара әрекеттесуі негізінде шаңды ұстап қалу және сіңіру процестерін жүргізу үшін циклонды-құйынды әрекеттесетін аппаратты есептеу әдістемесі ғылыми негізделген.

Практикалық құндылық. ҚР №33662 патентімен қорғалған циклонды-құйынды әрекеттесетін аппараттың конструкциясы әзірленді.

Шаң ұстау және абсорбция процестерін жүргізу үшін циклонды-құйынды әсер ететін аппараттарды жобалау және пайдалану бойынша есептеу әдістемелері, ұсынымдар әзірленді.

Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 10 мақала жарияланды, оның ішінде 6 мақала халықаралық конференциялар материалдарында, 1 мақала Scopus халықаралық ғылыми журналдар базасына кіретін басылымда (Engineering: General Engineering бағыты бойынша. Процентиль-31), ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған журналдарда 3 мақала, ҚР 1 патенті алынды.

Кіріспеде шешілетін ғылыми проблеманың 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, нысаны мен пәні, зерттеу міндеттері, әдіснамалық база, қорғауға шығарылатын ережелер, практикалық құндылық және практикалық нәтижелерді апробациялау берілген.

Бірінші бөлімде ағындардың ортадан тепкіш және құйынды өзара әрекеттесуін пайдалану кезінде газ тазарту жабдықтарының жұмысына, сондай-ақ оларды есептеу әдістеріне талдау жасалды. Жүргізілген талдау негізінде зерттеу міндеттерін белгілеу жүзеге асырылды.

Екінші бөлімде гидродинамикалық параметрлерді зерттеуге арналған эксперименттік қондырғының сипаттамасы, сондай-ақ эксперименттер жүргізу әдістері берілген.

Жүргізілетін зерттеулердегі режимдік параметрлердің өзгеру диапазоны: циклондық сатыға кіре берістегі газ жылдамдығы $w_T - 1 \div 5$ м/с, Бұл газ жылдамдығына сәйкес келеді $W_{вх} = 4,575 \div 22,875$ м/с; суару тығыздығы $L - 25 \div 100$ м³/м²·сағ.

Циклон мен құйынды байланыс сатыларының құрылымдық қатынасы берілді.

Құрылғының циклондық сатысының гидродинамикалық сипаттамаларына режимдік параметрлерді зерттеу нәтижелері келтірілген. Газ жылдамдығының жоғарылауымен гидравликалық кедергінің өсуі динамикалық қысымның жоғарылауымен және газдың қозғалыс бағытының өзгеруімен және үйкеліс жоғалуымен байланысты шығындармен байланысты екендігі атап өтілді.

Циклондық-құйынды әрекеттесетін аппараттың құйынды аймағындағы газ және сұйық фазалардың өзара әрекеттесу заңдылықтарын зерттеу үшін гидродинамикалық параметрлерді зерттеу (гидравликалық кедергі және ұсталынатын сұйықтық мөлшері), көзбен шолып бақылау және қабат құрылымын суретке түсіру жүргізілді.

Зерттеулер режимдік параметрлердің берілген диапазонында пластиналық саптаманың ($t_b/b=2$; $t_p/b=2$) өзгермеген конструктивтік параметрлері кезінде жүргізілді.

Газ ағынының жылдамдығы өзгерген кезде үш гидродинамикалық режимнің болуы байқалды: пленка-тамшылы, тамшылы және шашыратпаны аппараттан алып кету. Газ жылдамдығының жоғарылауымен динамикалық қысым жоғарылайды, бұл гидравликалық кедергінің жоғарылауына және саптама көлемінде сұйықтықтың көп болуына ықпал етеді, ал газ құрамының есептелген мәні төмендейді. Суару тығыздығының артуы ұсталыналатын сұйықтық мөлшерінің өсуіне және газ құрамының есептік мәндерінің төмендеуіне ықпал етеді.

Циклонды-күйінды аппараттың гидравликалық кедергісін есептеу үшін мына теңдеу ұсынылады:

$$\Delta P_{an} = \Delta P_{\psi} + \Delta P_L \quad (1)$$

Циклон сатысының гидравликалық кедергісі төмендегі теңдеу арқылы анықталады:

$$\Delta P_{\psi} = \Delta P_{ex} + \Delta P_{кольца} + \Delta P_{вых}, \quad (2)$$

Циклондық түйісу сатысын құрайтын гидравликалық кедергіні есептеу үшін ΔP_{ex} - кіру учаскесі; $\Delta P_{кольца}$ - сақиналы аймақ; $\Delta P_{вых}$ - шығыс учаскесінде классикалық есептеу тәуелділігі ұсынылады, онда төменгі индекстер ΔP , ξ и w есептелетін учаскенің атауына сәйкес келеді. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде кедергі коэффициенттерінің тәжірибелік мәндері алынды: $\xi_{вх} = 3,32$; $\xi_{кольца} = 4,1$; $\xi_{вых} = 5,7$.

Саптама аймағының гидравликалық кедергісі тұрақты жылжымалы саптамасы бар аппараттар үшін белгілі теңдеумен анықталады. Оған кіретін кедергі коэффициенті мына формула бойынша есептеледі:

$$\xi_L = 0,7 \cdot \theta_b \cdot \theta_p \cdot \frac{Re_{ж}^{0,25}}{Re_{г}^{0,1}}. \quad (3)$$

Ұсталынатын сұйықтық (ҰСМ) мөлшерін теңдеу бойынша анықтайды:

$$h_0 = (h_{пл} + h_k) \cdot \frac{H}{t_b}, \quad (4)$$

онда ҰСМ пленкасының құрамдас бөлігі:

$$h_{пл} = \frac{\delta_{пл} \cdot b^2}{t_p^2}. \quad (5)$$

(ҰСМ) тамшылы құрауышы:

$$h_k = 0,88 \cdot \xi_L \frac{\rho_r W_r^2}{2g\rho_{ж}} \cdot \frac{(2 - \varepsilon_0)(1 - \varepsilon_0^2)}{\varepsilon_0^2} \quad (6)$$

Газ құрамы мына формула бойынша есептеледі:

$$\varphi = \varepsilon - \frac{h_0}{H} \quad (7)$$

Циклондық-құйынды әрекеттесетін аппараттың саптама аймағы үшін алынған сұйық фазаның, $\delta_{пл}$, $U_{сmp}$, $d_{сmp}$ және d_k , құрылымдық компоненттеріне арналған өрнектер аппараттың режимдік және конструктивтік параметрлерінің ерекшеліктерін, сондай-ақ өзара әрекеттесетін ағындардың физикалық қасиеттерін ескереді.

Үшінші бөлімде шаң ұстау процесінің жалпы және фракциялық тиімділігін зерттеу әдістемесі және циклондық және құйынды түйісу сатыларындағы зерттеу нәтижелері келтірілген.

Циклондық (құрғақ) сатының тиімділігін есептеу үшін ортадан тепкіш – инерциялық модель ұсынылады, оған сәйкес:

$$\eta_c = 1 - \exp[-2(C_k \cdot \psi)^{1/(2n+2)}] \quad (8)$$

Құрғақ сатының конструкциялық қатынастарына байланысты C_k коэффициенті мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$C_k = \frac{\pi \cdot D_u^2}{a \cdot \sigma_1} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D_u} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{2 \cdot h_r}{D_u} - \frac{h_g}{D_u} \right) + \left[\left(\frac{d}{D_u} \right)^2 - \left(\frac{d_1}{D_u} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{4 \cdot H_u}{D_u} + \frac{4 \cdot H_k}{D_u} \right) \quad (9)$$

Шаң-газ қоспасының жай-күйін сипаттайтын модификацияланған инерциялық параметр:

$$\psi = \frac{d_u^2 \cdot \rho_u \cdot W_{вх}}{18\mu_r \cdot D_u} (n+1), \quad (10)$$

$$\text{Шамасы } n = 1 - (1 - 0,0165 \cdot D_u^{0,14}) \cdot \left(\frac{T_r}{283} \right)^{0,3}.$$

Аппараттың саптама аймағының тиімділігін есептеу үшін қатты бөлшектерді тұндырудың турбулентті-диффузиялық моделі жасалды:

$$\eta_m = 2,97 \cdot \left(\frac{W_r \cdot d_k}{D_r} \right)^{-1/4}. \quad (11)$$

Турбулентті диффузия коэффициенті:

$$D_T = B_T \cdot (\xi_L)^{1/3} \cdot (1 - \varepsilon_0)^{1/3} \cdot \left(\frac{H}{t_B}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{жк}}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1}{h_0}\right)^{1/3} \cdot d_k^{4/3} \cdot u_r \cdot Stk, \quad (12)$$

мұнда $B_T = 8,38 \cdot (1 - \varphi)$ - түзетуші коэффициент; $Stk = \frac{\rho_{ч} \cdot d_{ч}^2 \cdot u_{ч}}{18\mu_r \cdot d_k}$ – Стокс критеріі.

Құрғақ және дымқыл сатылардың тиімділігін ескере отырып, циклондық-құйынды аппараттың жалпы тиімділігін мынадай формула бойынша есептеуге болады:

$$\eta_{общ} = 1 - (1 - \eta_c)(1 - \eta_m). \quad (13)$$

Төртінші бөлімде режимдік параметрлерге байланысты циклондық-құйынды әрекеттесетін аппараттың масса алмасу сипаттамаларын зерттеу әдістері мен нәтижелері келтірілген. Оған қоса алынған қисықтардың гидродинамикалық параметрлер қисықтарымен өзгеру ұқсастығы байқалатыны атап көрсетілген.

Диссипативті тәсіл негізінде газ фазасындағы масса беру коэффициенттерін, жергілікті изотропты турбуленттілік теориясының негізгі ережелерін және Фик-тің бірінші заңын есептеу үшін теңдеу алынды:

$$\beta_{rs} = B_r \left[D_{\square}^2 \cdot \frac{\xi_L(1 - \varepsilon) \cdot U_{\square}^3}{\delta_{\square} \cdot \varphi_{\square} \cdot \nu_{\square}} \right]^{1/4}, \quad (14)$$

мұнда $B_r = 6,44 / (1 - \varepsilon)^{1/4}$ - тәжірибелік жолмен анықталған пропорционалдылық коэффициенті.

Бесінші бөлімде режимдік және конструктивтік параметрлерді таңдау туралы мәліметтерді, сондай-ақ циклондық-құйынды аппаратты сынау және енгізу нәтижелерін қамтитын жобалау жөніндегі ұсынымдар келтірілген.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша хром сульфаты өндірісінде КС кептіргіштен шығатын газдарды тазартудың технологиялық схемасында "Ақтөбе хром қосылыстары зауыты" АҚ-ға енгізілген өнеркәсіптік циклондық-құйынды аппараттың конструкциясы әзірленді. Бұл ретте шаң шығарындыларының концентрациясы $C_{цик.вихр} = 0,088 \text{ г/с}$ -ға дейін төмендеді, бұл нормативтік көрсеткіштерден 4,6 есе төмен.

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.