

В. МҰҚАМЕДЕНҚЫЗЫ, О. В. ФЕДОRENKO, М. К. ӘСЕМБАЕВА

## МАССАӨТКІЗБЕЙТИН ҚАБЫРҒАЛАРЫ БАР ЖАЗЫҚ ВЕРТИКАЛЬ КАНАЛДАҒЫ МОЛЕКУЛАЛЫҚ МАССАТАСЫМАЛДАУДЫҢ ШЕКАРАСЫН АНЫҚТАУ

*Массаөткізбейтін қабыргалары бар жазық вертикаль канал үшін изотермдік үшкұрамды газ қоспасындағы молекулалық массатасымалдаудың шекарасы сандық есептеу арқылы анықталды. Құыс канал үшін «диффузия-конвекция» ауысу режиміндегі Рэлейдің сынни саны анықталды. Орнықтылықтың сандық теориясы негізінде алғынган теориялық зерттеулердің тәжірибелік мәліметтермен сәйкестілігі көрсетілді.*

Көпқұрамды газ жүйелеріндегі массатасымалдауды зерттеу барысында жүйеде орын алатын диффузия немесе конвекция араласу режимдерінің қай түрі болатынын білу қажет. Сондықтан да араласу режимдерін зерттеу барысында негізгі мәселелердің бірі жүйенің орнықтылық күйден орнықсыздық күйге өту кезіндегі шекарасын анықтау болып табылады. Диффузиялық каналда тығыздық бойынша стратификацияланған аймақтардың пайда болуы ауысу режиміне алғып келеді [1]. Мұндай режимдерді тәжірибе немесе сандық есептеулер арқылы анықтауға болады. Алайда, тәжірибелік әдістердің күрделілігін және материалдық шығындарын ескере отырып, қажетті ақпаратты алуға мүмкіндік беретін сипатталады [1, 3].

Үшкомпонентті газ қоспаларының макроскоптық қозғалысы Навье-Стокс теңдеуі, қоспа бөлшектері мен компоненттерінің сандық сакталуы және күй теңдеулерінен тұратын гидродинамиканың жалпы теңдеуімен сипатталады [1, 3]:

$$\begin{aligned} \rho \left[ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} \right] &= -\nabla p + \eta \nabla^2 \vec{u} + \left( \frac{\eta}{3} + \xi \right) \nabla \operatorname{div} \vec{u} + \rho \vec{g}; \\ \frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div}(n \vec{v}) &= 0, \quad \frac{\partial c_i}{\partial t} + \vec{v} \nabla c_i = -\operatorname{div} \vec{j}_i; \\ \vec{j}_1 &= -(D_{11}^* \nabla c_1 + D_{12}^* \nabla c_2), \quad \vec{j}_2 = -(D_{21}^* \nabla c_1 + D_{22}^* \nabla c_2), \\ \rho &= \rho(c_1, c_2, p), \quad T = \operatorname{const}, \end{aligned} \tag{1}$$

Мұндағы  $\vec{u} = \frac{\rho_1 \vec{u}_1 + \rho_2 \vec{u}_2 + \rho_3 \vec{u}_3}{\rho}$ ,  $\vec{v} = \frac{n_1 \vec{u}_1 + n_2 \vec{u}_2 + n_3 \vec{u}_3}{n}$  – сәйкесінше үшкұрамды қоспаның ортамассалық және ортасандық жылдамдығы;  $\rho$  – тығыздық;  $p$  – қысым;  $\vec{g}$  – ауырлық күшінің үдеуі;  $\eta$  және  $\xi$  – ығысу және көлемдік тұтқырлық коэффициенттері;  $j_i$ ,  $c_i$  – диффузиялық ағын тығыздығы және  $i$ -ші компоненттің концентрациясы;  $D_{ij}^*$  – диффузияның практикалық коэффициенті.

Изотермдік жағдай үшін (1) теңдеулер жүйесін аз ұйытқулар әдісімен шешеміз. Мұнда шекаралық шарттарды газ қоспасын қоршап тұрған вертикаль қабат арқылы зат тасымалданбайды және жылдамдық нөлге тең болады деп қарастырамыз:

$$u = 0, \quad \frac{\partial c_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial c_2}{\partial x} = 0, \quad x = \pm 1, \tag{2}$$

Мұндағы  $u$  және  $c_i$  меншікті функцияларды мынадай түрде анықтауға болады:

$$\begin{aligned} u &= \frac{sh \gamma x}{sh \gamma} - \frac{\sin \gamma x}{\sin \gamma}, \quad c_i = -\frac{K_i}{\gamma^4} \left( \frac{sh \gamma x}{sh \gamma} + \frac{\sin \gamma x}{\sin \gamma} \right), \\ \gamma^4 &= K_1 R_1 \tau_{11} + K_2 R_2, \end{aligned} \tag{3}$$

$$K_1 = \frac{\left(1 - \frac{A_2}{A_1} \tau_{12}\right)}{\left(\tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}\right)}, \quad K_2 = \frac{\left(\tau_{11} - \frac{A_1}{A_2} \tau_{21}\right)}{\left(\tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}\right)}.$$

Мұндағы  $\tau_{ij} = \frac{D_{ij}^*}{D_{22}^*}$  – диффузияның практикалық коэффициенттерінің қатынасын анықтайтын параметр;  $A_i d$  –  $i$ -ші компоненттің концентрациясы;  $R_i = \frac{g\beta_i A_i d^4}{\nu D_{ii}^*}$  – Рэлейдің парциаль диффу-

зиялық саны және  $\gamma$  үйіткүү декрементін Рэлейдің парциаль сандары  $R_1$  және  $R_2$  арқылы мына тендеуден анықтауға болады:

$$cthy = -ctgy. \quad (4)$$

Сонымен Рэлейдің сини сандарының спектрі тақ мәндері үшін (4) тендеуден анықталады:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 2,365; \gamma_3 = 5,498; \gamma_5 = 8,639; \dots \\ R_1 &= 31,29; R_3 = 931,8; R_5 = 5570; \dots \end{aligned} \quad (5)$$

Орнықсыздықтың монотонды шекарасы ММ Рэлей сандар жазықтығында мынадай түрде анықталады:

$$\tau_{11} \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \tau_{12}\right) R_1 + \left(\tau_{11} - \frac{A_1}{A_2} \tau_{21}\right) R_2 = \gamma^4 (\tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}) \quad (6)$$

Бұл тендеу Рэлей сандар жазықтығын ( $R_1, R_2$ ) екі аймаққа бөлөтін  $MM$  сызығын береді, яғни өшетін (диффузия) және өсетін (конвекция) монотонды үйіткүү аймақтарын көрсетеді.

$MM$  сызығында диффузиялық үдерістің бұзылуы байқалады және каналдың жартысымен өтетін екі ағын пайда болады, мысалы, бір ағын жоғары, екіншісі төмен бағытталған.

Мысалы,  $0,21C_3H_8 + 0,79CO_2 - N_2O$  (концентрация мольдік үлеспен берілген) жүйесі үшін бұл тендеу суреттөн көрініп тұрғандай, Рэлей сандар жазықтығын диффузия – I (үйіткүү өшетін) және механикалық тепе-тендіктің орнықсызығына – II (үйіткүү өсетін) аймаққа бөледі. Рэлейдің сини парциал мәні теориялық табылған мәнге сәйкес келеді, яғни мынаган тең  $R_{kp} = 31,12$ .

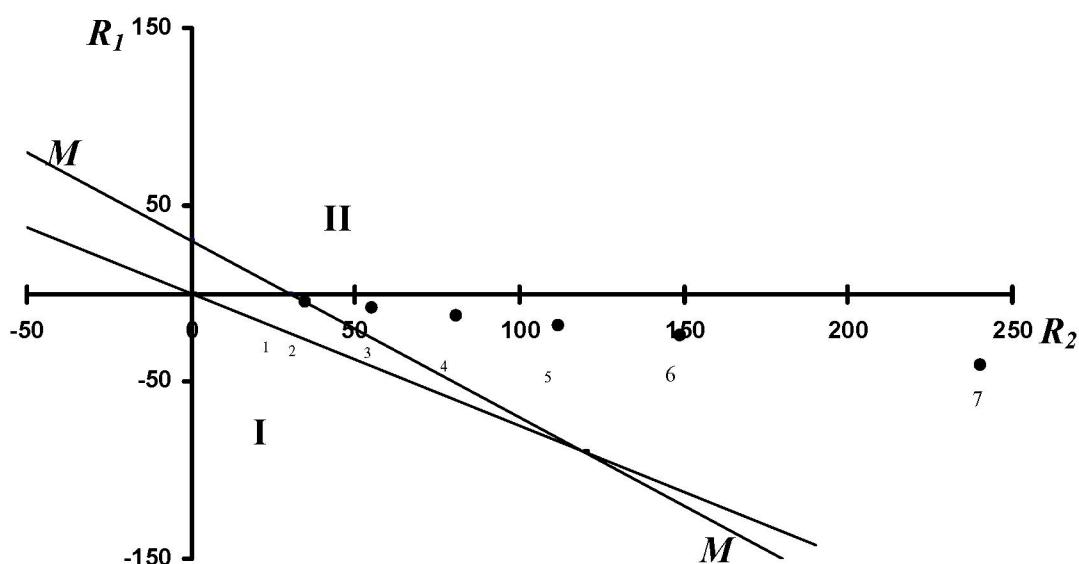
Алынған теориялық есептеулердің дұрыстығына көз жеткізу үшін екіколбалық әдіспен жасалған тәжірибе мәндерін қарастырайық [4, 5]. Тәжірибеде колбалар мынандай өлшемдегі  $(0,17 \cdot 0,05 \cdot 0,003) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$  жазық күйсі тәрізді диффузиялық каналмен жалғанған. Жүргізілген тәжірибе мәндері бойынша  $0,21C_3H_8 + 0,79CO_2 - N_2O$  жүйесі үшін  $p = 0,25 \text{ МПа}$  қысымда диффузиялық каналда араласу режимінің ауысуы байқалады. Бұл қысымнан төмен қысымдарда – диффузия, ал осы қысымнан жоғары қысымдарда – конвекция құбылысы өтеді.

Тәжірибе мәндерін Рэлей сандар жазықтығына мына формула арқылы енгізуге болады:

$$R_1 = \frac{gna^2 b^2 \Delta m_1}{\rho \nu D_{11}^*} \cdot \frac{\Delta c_1}{L}, \quad R_2 = \frac{gna^2 b^2 \Delta m_2}{\rho \nu D_{22}^*} \cdot \frac{\Delta c_2}{L}, \quad (7)$$

Мұндағы  $m_i$  –  $i$ -ші сортты молекуланың массасы (есептеулер үшін  $i = 1, 2, 3$  инкөрсеткіштерін қоспа компоненттерінің нөмірін белгілеу үшін қолдандық 1 –  $N_2O$ , 2 –  $CO_2$ , 3 –  $C_3H_8$ ,  $\Delta m_1 = m_1 - m_3$ ,  $\Delta m_2 = m_2 - m_3$ );  $a$  – канал қалындығы;  $b$  – канал ұзындығы.

Суретте жүргізілген сандық есептеулер мен тәжірибе нәтижелерінің салыстырылуы көрсетілген. Суреттөн көріп отырғандай  $p = 0,3 \text{ МПа}$  сәйкес келетін 2-ші нүктеде орнықтылық сызығында жатыр. Ал жоғары қысымдарға сәйкес келетін 3-ші және 7-ші нүктелер орнықсыздық аймағында жатыр.  $p = 0,3 \text{ МПа}$  қысым үшін есептелген 1-ші нүктеде массатасымалдаудың орнықтылық аймағында жатыр.



Нүктелер тәжірибелік мәндер, диффузия үшін – ○, конвекция үшін – ●.

Нүктелер астындағы сандар қысым мәндерін анықтайды:

1 –  $p = 0,2 \text{ МПа}$ ; 2 –  $p = 0,3 \text{ МПа}$ ; 3 –  $p = 0,4 \text{ МПа}$ ; 4 –  $p = 0,5 \text{ МПа}$ ; 5 –  $p = 0,6 \text{ МПа}$ ; 6 –  $p = 0,7 \text{ МПа}$ ; 7 –  $p = 0,9 \text{ МПа}$ .

$0,21\text{C}_3\text{H}_8 + 0,79\text{CO}_2 - \text{N}_2\text{O}$  жүйесі үшін диффузиялық және конвективтік араласу аймақтары

Сонымен диффузиялық каналдың өлшемдерін ескере отырып «диффузия-конвекция» араласу режимін сипаттайтын осы қарастырылып отырган математикалық үлгімен алынған сандық есептеудердің тәжірибелік нәтижелермен сәйкестігі растталды.

#### ӘДЕБИЕТ

1. Kosov V.N., Seleznev V.D., Zhavrin Yu.I. The diffusion instability of isothermal three-component gas mixtures // Thermophysics and Aeromechanics, 7 (1), 127-135, 2000.
2. Zhavrin Yu., Kosov N.D., Novosad Z.I. Effective diffusion coefficient method for studing description of nonstationary diffusion in multicomponent gas mixture // Zhurnal fizicheskoi khimii. – 1975. – V. 49, № 3. – P. 706-709.
3. Akylbekova G.A., Kossov V.N., Poyarkov I.V., Zhavrin Yu.I. Diffusion in isothermal ternary gas mixtures // 5<sup>th</sup> European Thermal-Sciences Conference, Eindhoven, Netherlands, May 18-22, 2008.
4. Zhavrin Yu.I., Mukamedenkyzy V., Poyarkov I.V. Diffusive and convective mixing of propane carbon dioxide binary mixture with pure nitrogen protoxide // Technical physics. – 2007. – V. 52, № 7. – P. 947-949.
5. Zhavrin Yu.I., Moldabekova M.S., Poyarkov I.V., Mukamedenkyzy V. Experimental study of diffusion instability in three-component gas mixture without density gradient // Technical Physics Letters. – 2011. – V. 37, № 8. – P. 721-723.

В. Мұқамеденқызы, О. В. Федоренко, М. К. Асембаева

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО МАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ ПЛОСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО КАНАЛА С МАССОНЕПРОНИЦАЕМЫМИ СТЕНКАМИ

V. Mukhamedkisi, O. V. Fedorenko, M. K. Asembayeva

#### DETERMINATION OF THE MOLECULAR MASS TRANSFER BOUNDARY FOR THE PLANE VERTICAL CHANNAL WITH THE MASS RESISTIBLE WALLS