

М. С. МОЛДАБЕКОВА<sup>1</sup>, М. Қ. ӘСЕМБАЕВА<sup>2</sup>, А. ЕРЖАНҚЫЗЫ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

## КӨПКOMPONENTТІ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ МАССАТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Көпкомпоненттік газ қоспасындағы диффузиялық араласу процесі  $430\text{C}_3\text{H}_8+0,570\text{He} - 0,420\text{C}_3\text{H}_8+0,580\text{CH}_4, 0,425\text{C}_3\text{H}_8+0,575\text{He} - 0,426\text{N}_2\text{O}+0,574\text{CH}_4$  екіқолбалық аппарат әдісімен қысымға байланысты зерттелді, осы көпкомпоненттік жүйедегі тығыздығы мен тасымалдану ерекшеліктері бір-біріне жақын екі компоненттің  $\text{C}_3\text{H}_8$  және  $\text{N}_2\text{O}$  диффундирлену ерекшеліктері бойынша зерттелді.

Әртүрлі көпкомпоненттік қоспаларға байланысты табиғи және технологиялық процестерді қарастырғанда, біз оның негізгі массатасымалдау ерекшеліктерін көрсететін параметрлерді білуіміз қажет. Нақты кездесетін заттар мен құбылыстар алуан түрлі, сондықтан олардың массатасымалдауын анықтайтын коэффициенттер мәндері де әртүрлі және олар әлі де терең зерттеулерді қажет етеді. Көпкомпоненттік изотермдік газ қоспасындағы диффузия процесін тәжірибе жүзінде зерттеу белгілі бір шарттарда конвективтік ағынның пайда болатынын көрсетті [1]. Газдың диффузиялық араласу процесінің бастапқы сатысында диффузиялық каналда қабаттасқан (стратификация) аймақ пайда болады, яғни ауыр қоспа жеңіл қоспаның үстінде болады, ол құрылымдар тудырады, олар канал бойымен қарсы бағытта орналасады, бұл құбылыс диффузиялық орнықсыздық (механикалық тепе-теңдіктің орнықсыздығы) деп аталады. Диффузиялық орнықсыздық концентрацияның немесе қысымның белгілі бір интервалында туындайды. Диффузия кезіндегі орнықсыздық режимінің ұзақтығы мен қарқындылығы диффузиялық каналдың төменгі және жоғарғы бөліктеріне қатысты қоспа компоненттерінің құрамына байланысты.

Массатасымалдау процесін сипаттау үшін диффузиялық және конвективтік заңдылықтардың есептеулері қажет. Массатасымалдау процесі тек молекулалық диффузиядан ғана құрылмайды, сонымен қатар компоненттердің тасымалдануы, яғни конвективті  $\vec{v}C$  ағын кезінде пайда болады, ол (1) заңына қатысты орындалады және диффузиялық ағынның жылдамдығын өзгертеді:

$$\vec{j} = -D\text{grad}C + \vec{v}C \quad (1)$$

бұл жерде  $j$  – диффузиялық ағын, яғни зат мөлшері (моль бойынша),  $C$  – диффундирленетін зат концентрациясы, бірлік бет арқылы уақыт бірлігінде тасымалданады,  $D$  – диффузия коэффициенті,  $v$  – қоспаның толық ағын ретінде қозғалысы, яғни конвективті қозғалыс.

Ескере кетейік, диффузия құбылысының сипатталуы жүйенің механикалық тепе-теңдігі кезінде жеңілдетіледі, яғни  $dv/dt$  үдеуі нөлге тең. Әдетте, үдеуі тек нөлге тең жүйелер зерттелмейді, сонымен қатар жылдамдық градиенттері өте аз, осыдан қысым тензоры да төмен болып келеді [2].

Бинарлық қоспалардағы диффузияға қарағанда көпкомпоненттік жүйені реттеуде гидродинамикалық тасымалдау меншікті диффузиялық компонент ағындарының қарапайым тенеуіне әкеледі. Реттеу нәтижесі диффундирленетін заттың қасиеттерімен қатар диффузиялық каналда концентрациялық таралуымен анықталады, яғни жүйенің барлық компоненттерінің градиенттеріне байланысты. Бұл жағдайда көпкомпоненттік диффузия процесі әсерлесуі мүмкін, олар өзара диффузия кезінде байқалмайды. Оларға «Тур эффектiсi» немесе «қарсы диффузия», «диффузиялық кедергі», «осмостық диффузия» жатады, сонымен қатар басқа да ерекшеліктердің пайда болуы белгілі жағдайларда күрделі конвективті ағын жүйесі ішінде механикалық тепе-теңдіктің орнықсыздығына әкеледі [3].

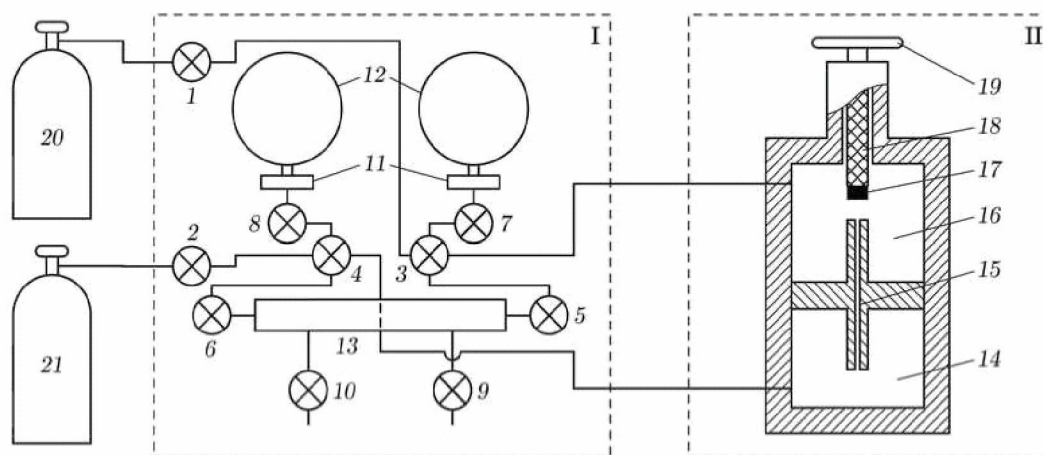
Осындай әсерлердің бірі болып келетін механикалық тепе-теңдіктің тұрақсыздығының гравитациялық концентрациялық конвекциясы ауырлық күш өрісінде пайда болады, бастапқы тұрақты қабаттасу (стратификация) тығыздығы кейбір жүйе үшін бақыланады [4]. Бастапқы объект ретінде газ қоспаларының газ-сұйылтқыш ортада диффундирлену зерттеуін қолдану, механикалық тепе-теңдік орнықсыздығының пайда болуына термодинамикалық және геометриялық параметрлердің әсерін анықтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар тәжірибе кезінде эволюция процесі бақыланады. Қоспа қозғалысының индикаторы болып келетін газ-сұйылтқыш арқылы барлық компоненттердің

тасымалын жоғары сапада бақылауға болады. Диффузиялық орнықсыздықты зерттеу кезінде балласты газ жүйелерінде екі негізгі диффундирленетін компоненттік тең пропорцияда бір балласты газбен сұйылтылған. Сол себепті газ-сұйылтқышты орнықсыздық процесі кезінде тасымалдауға пайдалану үшін негізгі диффундирлеуші газдарды бір емес, бір-біріне жақын қасиеттері бар екі компоненттермен бірдей пропорцияда қолдануға болады.

Зерттеу жүргізу үшін мынадай көпкомпоненттік  $430\text{C}_3\text{H}_8+0,570\text{He} - 0,420\text{C}_3\text{H}_8+0,580\text{CH}_4, 0,425\text{C}_3\text{H}_8+0,575\text{He} - 0,426\text{N}_2\text{O}+0,574\text{CH}_4$  газ жүйелері таңдап алынды. Эксперимент екіколбалық диффузиялық аппаратта жүргізілді [5], колбалардың көлемдері  $V_{\text{в}}=76,0\text{ см}^3$ ,  $V_{\text{н}}=79,0\text{ см}^3$ , ал диффузиялық канал ұзындығы және диаметрі сәйкесінше  $L=70,00\text{ мм}$  и  $d=4,00\text{ мм}$  тең. Температура  $T=298,0\text{ К}$  тұрақты болып қалды. Қысым мәндері тәжірибе кезінде  $p=0,4\text{ МПа}$  мен  $p=1,9\text{ МПа}$  аралығында өзгерді. Эксперименттің ұзақтығы барлық тәжірибелер үшін 60 минутты құрады. Тәжірибе жүргізілген қондырғы 1-суретте бейнеленген және екі бөліктен тұрады [6]. Бірінші бөлік – газ дайындау блогы, ал екінші бөлік – бұл термостатта орналасқан екіколбалық аппарат. Аппарат колбалары 14 және 16 цилиндр түрінде келтірілген, диффузиялық 15 каналмен біріктірілген. Қондырғы термостаттың жұмыс камерасында тігінен орналасқан. Каналды жабу үшін жоғарғы колбадағы фторопласты таблетканы 17 қолданамыз, ол штокта 18 орналасқан және тек тік бағытта қозғалады. Шток қозғалысын 19 тұтқа қамтамасыз етеді.

Диффузиялық қондырғының жұмыс істеу әдістемесі келесідегідей болып келеді: көлемдерді 14 және 16 зерттеліп отырған газдармен толтыру аппараттың берілген температуралық режимге өтуінен кейін басталады, сол кезде канал 15 жабық, яғни жоғарғы және төменгі колбалар ажыратылған. Осыдан кейін 14 және 16 колбалар бірнеше рет форвакуумды сорғышпен 20 және 21 баллондардан зерттелген газ қоспаларын үрлеп шығарады.

Колбадағы қысым үлгілі манометрмен 12 бақыланады, атмосфералық қысым – МБП манометр-барометрмен бақыланады. Әрбір колбаның толтырылуын шектелген жоғарғы қысымға (7-10% тәжірибе қысымынан) дейін көтеріп, содан кейін 5 және 6 шүмек арқылы қос колба теңестіруші сыйымдылықтар арқылы біріктірілген, бұл 14 және 16 диффузиялық колбаларда қысымды теңестіруге көмектеседі. Газ қалдықтары атмосфераға шығарылды.



1-сурет – Екіколбалық әдістің эксперименттік қондырғысы.

I және II – газ дайындайтын блок және екіколбалық аппарат сәйкесінше; 1-10 – шүмектер; 11 – мембранды ажыратқыш; 12 – үлгілі манометрлер; 13 – теңестіруші сыйымдылық; 14 – төменгі колба; 15 – диффузиялық канал; 16 – жоғарғы колба; 17 – фторопласты таблетка; 19 – тұтқа; 20 және 21 – газ толтырылған баллондар

14 және 16 колбаларда қысым теңестірілгеннен кейін диффузиялық канал 15 ашылады, осыдан кейін тәжірибенің басталуы бекітілді. Эксперимент аяқталғаннан кейін аппарат колбалары ажыратылды және араласу процесінің уақыты белгіленген. Қондырғының жоғарғы және төменгі колбаларының газ талдағыштары ХРОМ-4 хроматографында жүргізілді.

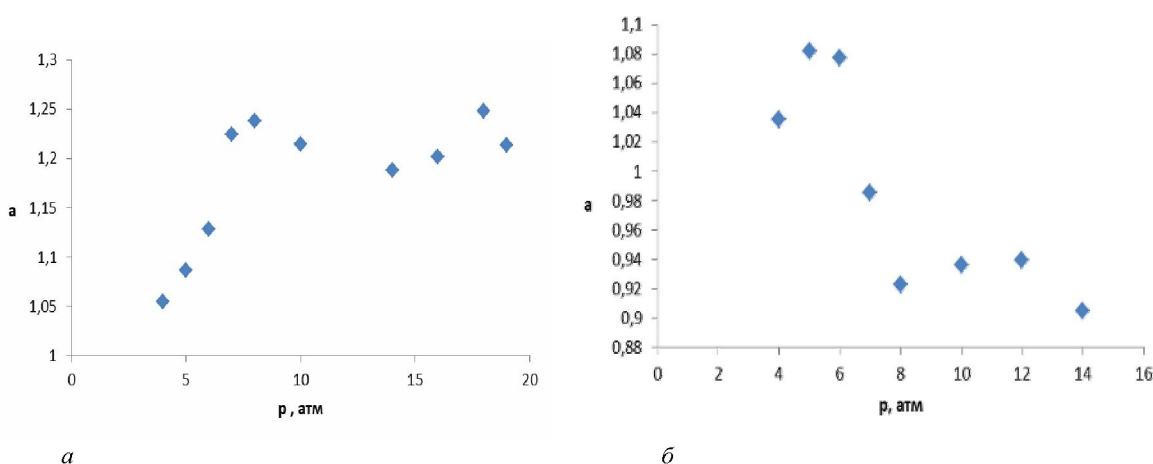
2-суреттерде көрініп тұрғандай, диффузиялық каналды ашқан кезде және газдардың араласуы басталғанда төменгі колбада  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  газ концентрацияларының артуы байқалады. Зерттеу

негізінде төменгі қолбадағы азот қостотығы мен пропан концентрациясының артуының 2 байқалуы бақыланды, яғни диффузиялық каналда конвективті газ ағындары пайда болады, бұл жүйеде диффузиялық орнықсыздықтың пайда болуын анықтайды. Концентрацияның осы өзгеруі Стефан-Максвелл теңдеуімен өрнектеледі,

$$\alpha_i = \frac{C_{iex}}{C_{ith}} \quad (2)$$

2-суреттегі  $\alpha$  парциалды параметрінің қысымнан тәуелділігі (2) өрнек бойынша есептелді, мұндағы  $C_{iex}$  -  $i$ -ші компоненттің концентрациясының эксперименттік мәндері, ал  $C_{ith}$  - Стефан-Максвелл теңдеуі бойынша концентрацияның ( $i = 1,2,3$ ) сәйкесінше, теориялық есептеу мәндері.

Төмендегі суретте газ-сұйылтқыштың диффузия кезіндегі газ концентрациясының қысымға байланысты өзгерісі көрсетілді.



2-сурет – диффузиялық аппараттың төменгі қолбасында  $a - 0,430C_3H_8 + 0,570He - 0,420C_3H_8 + 0,580CH_4$  және  $b - 0,425C_3H_8 + 0,575He - 0,426N_2O + 0,574CH_4$  газ жүйелеріндегі  $C_3H_8$ ,  $N_2O$  газдары концентрациясының қысымға байланысты өзгеруі

2-суретте көрініп тұрғандай,  $C_3H_8 + He - C_3H_8 + CH_4$ ,  $C_3H_8 + He - N_2O + CH_4$  азот қышқылы концентрациясының төмендеп келе жатып қайтадан ұлғаюын бақылауға болады, яғни балласты газының конвективті ағынының қарама-қарсы бағытқа қарай өзгеруін көруге болады. Бұл кескін үйлесімі потенциалды тұрақсыз болып келеді. Жоғарыдағы мәліметтерден байқайтынымыз, көпкомпоненттік жүйеде үдемелі және кемімелі ағындар пайда болады, яғни осы экспериментте бақыланды.

Сонымен,  $C_3H_8$  және  $N_2O$  газдарының ағын бағыты қысымға байланысты өзгеретіндігі дәлелденді. Бұл байланысты күрделі сипаттағы орнықсыз диффузиялық араласуы және араласушы газдардың нақты қасиеттерінің көрінуімен, сонымен қатар балласты газдардың  $C_3H_8$  және  $N_2O$  бірдей меншікті градиентті концентрациялары болуы мүмкін.

#### ӘДЕБИЕТ

- 1 Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Некоторые особенности динамики неустойчивого массопереноса в изотермических трехкомпонентных газовых смесях // Теплофизика и аэродинамика. – 1995. – Т. 2, № 2. – С. 145-151.
- 2 Miller L., Mason E.A. Oscillating instabilities in multicomponent diffusion // Phys. Fluids. – 1966. V.9, №4 – P. 711-721.
- 3 Асембаева М.К., Поярков И.В., Молдабекова М.С. Исследование неустойчивого диффузионного процесса четырехкомпонентной газовой смеси гелия – пропана – метана – закиси азота. Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2009. – № 6(268) – С. 16-18.
- 4 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Асембаева М.К., Поярков И.В., Федоренко О.В. Диффузионная неустойчивость и некоторое критические параметры, приводящие к ее возникновению. Вестник КазНУ, Серия физическая. 2011. – № 3(38) – С. 8-11.
- 5 Молдабекова М.С., Поярков И.В., Асембаева М.К., Бекетаева М. Экспериментальное исследование системы  $0,425C_3H_8 + 0,575He - 0,426N_2O + 0,574CH_4$ . Вестник КазНУ, Серия физическая. 2011. – № 2(37) – С. 3-6.

## **Резюме**

*М. С. Молдабекова, М. К. Асембаева, А. Ержанқызы*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ**

Был исследован процесс диффузионного смешения в многокомпонентной газовой смеси  $430\text{C}_3\text{H}_8+0,570\text{He} - 0,420\text{C}_3\text{H}_8+0,580\text{CH}_4, 0,425\text{C}_3\text{H}_8+0,575\text{He} - 0,426\text{N}_2\text{O}+0,574\text{CH}_4$  в зависимости от давления методом двухколбового аппарата. Также в данной многокомпонентной смеси близкие друг другу по плотности и особенностям переноса два компонента  $\text{C}_3\text{H}_8$  и  $\text{N}_2\text{O}$  были рассмотрены и исследованы по их диффундирующим особенностям.

## **Summary**

*M. S. Moldabekova, M. K. Asembaeva, A. Erzhanqyzy*

### **INVESTIGATION OF MASS TRANSFER PROCESSES IN MULTICOMPONENT GAS MIXTURES**

Was investigated a process of diffusion mixing in multicomponent gas mixture  $430\text{C}_3\text{H}_8+0,570\text{He} - 0,420\text{C}_3\text{H}_8+0,580\text{CH}_4, 0,425\text{C}_3\text{H}_8+0,575\text{He} - 0,426\text{N}_2\text{O}+0,574\text{CH}_4$  depending on the pressure by two flask apparatus method. Also in this multicomponent mixture close to each other in density and transfer features two components  $\text{C}_3\text{H}_8$  and  $\text{N}_2\text{O}$  were considered by their diffusing characteristics.