

МРНТИ 29.17.15  
УДК 533.15; 536.25

<https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.24>

Ұ.Д. Өтеуова<sup>1</sup>, А.Д. Алпеисова<sup>1</sup>, М.К. Асембаева<sup>1</sup>, А.З. Нурмуханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## ИЗОТЕРМДІК КӨПКОМПОНЕНТТІ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ ДИФФУЗИЯЛЫҚ АРАЛАСУ ПРОЦЕСІНЕ ТҰТҚЫРЛЫҚТЫҢ ӘСЕРІ

*Аңдатпа*

Бұл мақалада изотермдік көпкомпонентті газ қоспаларында тұтқырлықтың диффузиялық процестің араласуына әсері тәжірибелік зерттелінді.  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ CH}_4$  және  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4200 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5800 \text{ Ne}$  газ жүйелері үшін әртүрлі қысым жағдайындағы компоненттердің парциалды шығын мөлшерін есептеу нәтижелері келтірілді. Диффузияланған компоненттер мөлшерінің (парциалды шығындар) осы бастапқы құрамның қысымына тәуелділігі зерттелінді. Содан кейін бірдей уақыт аралықтарында әртүрлі тұтқырлығы бар жүйелер үшін массатасымалының сипаттамалары салыстырылды. Жүргізілген зерттеулер араласу процесінің сипатының сапалық өзгеруін көрсетті. Қоспаның тұтқырлығының жоғарылауы бір жағдайда қысымның жоғарылауымен, ал екінші жағдайда процестің өту уақытының жоғарылауымен диффузиялық процестің орнығуына алып келді. Алынған нәтижелерді талдау газдардың араласу процесінің диффузиялық орнықсыздығының сипатына тұтқырлықтың әсер ететіндігін көрсетті.

**Түйін сөздер:** диффузия, диффузиялық орнықсыздық, тұтқырлық, бинарлы қоспа, конвективті ағын.

*Аннотация*

Ұ.Д. Өтеуова<sup>1</sup>, А.Д. Алпеисова<sup>1</sup>, М.К. Асембаева<sup>1</sup>, А.З. Нурмуханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

## ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ НА ПРОЦЕСС ДИФфуЗИОННОГО СМЕШИВАНИЯ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ

В этой статье экспериментально изучено влияние вязкости на устойчивость диффузионного процесса в изотермических многокомпонентных газовых смесях. Для газовых систем  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ CH}_4$  и  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4200 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5800 \text{ Ne}$  приведены результаты расчета количества парциального расхода компонентов при различных давлениях. Изучалась зависимость количества продиффундировавших компонентов (парциальных расходов) от давления для данного начального состава. Затем проводилось сравнение характерных особенностей массопереноса для систем с различной вязкостью за одинаковые временные интервалы. Проведенные исследования показали качественное изменение характера процесса смешения. Увеличение вязкости смеси привело с повышением давления в одном случае и времени прохождения процесса в другом к стабилизации диффузионного процесса. Анализ полученных результатов показал, что вязкость влияет на характер диффузионной неустойчивости процесса смешения газов.

**Ключевые слова:** диффузия, диффузионная неустойчивость, вязкость, бинарная смесь, конвективный поток.

*Abstract*

## EFFECT OF VISCOSITY ON THE DIFFUSION MIXING PROCESS IN ISOTHERMAL MULTICOMPONENT GAS MIXTURES

Oteuova U.D.<sup>1</sup>, Alpeissova A.D.<sup>1</sup>, Asembaeva M.K.<sup>1</sup>, Nurmukhanova A.Z.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

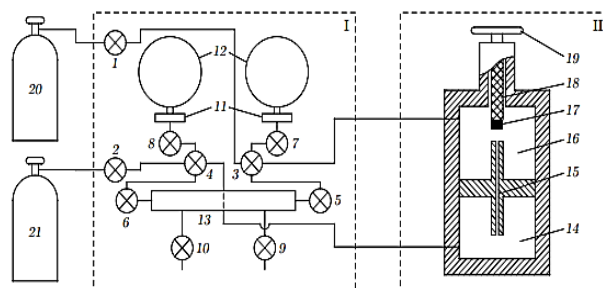
In this article, the influence of viscosity on the stability of the diffusion process in isothermal multicomponent gas mixtures is experimentally studied. For gas systems  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ CH}_4$  and  $0,4300 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5700 \text{ He}$  -  $0,4200 \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5800 \text{ Ne}$ , the results of calculating the number of partial losses of components at different pressures are given. The dependence of the amount of diffused components (partial expenses) on the pressure for this initial composition was studied. Then, the characteristic features of mass transfer for systems with different viscosities were compared over the same time intervals. Studies have shown a qualitative change in the nature of the mixing process. An increase in the viscosity of the mixture led to a stabilization of the diffusion process with an increase in the pressure in one case and the time of the process in the other. Analysis of the results showed that the viscosity affects the nature of the diffusion instability of the gas mixing process.

**Keywords:** diffusion, diffusion instability, viscosity, binary impurity, convective flow.

Жабық жүйелердегі диффузия кезінде компоненттердің жылулық жылдамдықтарының айырмашылығына байланысты диффузиялық жолдың басында және соңында қысым айырымы пайда

болады, бұл қоспаның гидродинамикалық ағынын тұтас етеді [1]. Егер бинарлы жүйелерде гидродинамикалық тасымалдаудың молекулалық тасымалдауға қабаттасуы компоненттер ағынының теңелуіне әкелсе, онда көпкомпонентті қоспаларда мұндай суперпозиция күрделі сипатқа ие болады. Компонент тасымалдануы концентрация градиенті болмаған жағдайда мүмкін, ал концентрация градиенті болған жағдайда компонент тасымалдануы болмайды. Үштік диффузия кезіндегі мұндай ауытқулар «Тур эффектісі» деп аталады [2]. Оны алғаш Тур үшкомпонентті қоспа үшін Стефан-Максвелл теңдеуін талдау кезінде анықтаған болатын. Егер компоненттің жиынтық тасымалдануын тасымалданудың диффузиялық және гидродинамикалық құраушыларының қосындысы ретінде болжауға болатын болса, онда бұл туындаған құбылыстың физикалық мағынасын түсінуге болады. Олардың математикалық сипаттамасы [2-4] мен физикалық интерпретациясы [5] диффузиялық массаалмасу жөніндегі дәстүрлі кинетикалық түсініктерге сәйкес келеді. Екінші жағынан, диффузия коэффициенттеріндегі айырмашылық (ауыр компоненттің белгілі бір концентрациясында және кейбір шектік жағдайларда) газдардың бөліну шекарасында тығыздығы бойынша қабаттасқан (стратификацияланған) аймақтардың туындауына алып келеді.

Архимед күшінің әсерінен олардың инверсиясы жүреді, концентрациялық конвекция да дамиды [6, 7]. Конвективті ағындардың молекулалық диффузиямен қабаттасуы диффузиялық орнықсыз процеске әкеледі. Бұл кезде компоненттердің тасымалдануы параметрлерге (қысым, температура, қоспаның бастапқы құрамы, диффузиялық каналдың геометриялық сипаттамалары және т.б.) байланысты монотонды емес сипатқа ие болады және күтілген нәтижеден айтарлықтай ерекшеленеді [6-9]. Диффузиялық орнықсыз процесті тұрақтандыруға көмектесетін параметрлерге газ қоспасының тұтқырлығын жатқызуға болады. Төменде тұтқырлықтың орнықсыз диффузиялық тасымалдануының қарқындылығына әсерін зерттеудің тәжірибелік нәтижелері келтірілген.



Сурет 1. Тәжірибелік қондырғының сызбасы: I – газды даярлау бөлігі, II – екіколбалы диффузиялық аппарат; 1-8 – шүмектер (крандар); 9 – форвакуумды сорғымен байланысқан кран; 10 – интерферометр немесе хроматографпен байланысқан кран; 11 – мембраналық ажыратқыштар; 12 – үлгілі манометрлер; 13 – реттеуші ыдыс; 14 – төменгі колба; 15 – диффузиялық канал; 16 – жоғарғы колба; 17 – фторопластық таблетка; 18 – шток; 19 – сермер (маховик); 20, 21 – газы бар баллондар

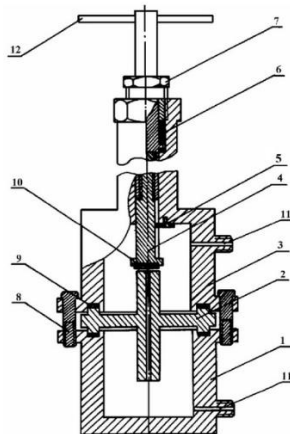
Тұтқырлықтың рөлін анықтау мәселесін шешу үшін концентрациялық конвекцияның туындауына әсер ететін физика-химиялық қасиеттері (тығыздық, диффузиялық қасиеттері және т.б.) бойынша шамалас, бірақ тұтқырлықтары әртүрлі газдар таңдалынды. Негізгі газдар ретінде гелий (He) және метан (CH<sub>4</sub>), ал басқа жағдайда пропанмен (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) бірдей дәрежеде сұйылтылған неон (Ne) және гелий (He) алынды.

Зерттеу үшін келесі қоспалар дайындалды: 0,4300C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5700He-0,4300C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5700CH<sub>4</sub>, 0,4300C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5700He-0,4200C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5800Ne (компоненттердің концентрациясы мольдік үлесте берілген). Тәжірибе ұзындығы  $L=(63,10\pm 0,05)\cdot 10^{-2}$  және диаметрі  $d=(4,00\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$  м диффузиялық каналмен байланысқан колбалардың көлемдері  $V_0=V_n=(62,0\pm 0,6)\cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> болатын екіколбалы диффузиялық аппаратта жүргізілді. 0,4300C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5700He бинарлы қоспасы аппараттың жоғарғы колбасында, ал 0,4300C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0,5700CH<sub>4</sub> қоспасы аппараттың төменгі колбасында орналастырылды.

Барлық тәжірибенің өту уақыты мен температурасы, сәйкесінше 60 минутты және T=298,0 К құрады. Қысым 0,4-тен 0,7 МПа-ға дейін өзгерді. Қысымның жоғарғы шегі пропан газ фазасында болған жағдайға сәйкес келді. Төменгі шек хроматографта талдау жасау үшін бірнеше сынама алу мүмкіндігімен анықталды. Диффузияға дейінгі газ қоспаларын талдау ИТР-1 интерферометрінде жүргізілді, ал диффузиядан кейінгі газ қоспаларын талдау хроматографиялық әдіспен жүзеге асты. Талдау қателігі интерферометрлік әдіс үшін 1%-ды, ал хроматографиялық әдіс үшін 3%-ды құрады.

Тәжірибелер жүргізілген тәжірибелік қондырғы екі бөліктен тұрды. Бірінші бөлік – газдармен толтырылған 20 және 21 баллондардан, 1–10 крандардан, 11–мембраналық ажыратқыштардан, 12–үлгілі манометрлерден, 13–реттеуші ыдыстан тұратын газдарды дайындау бөлігі.

Екінші негізгі бөлік–термостатқа орналастырылған екіколбалы аппарат (2-сурет) [10]. Біздің зерттеулерімізде қолданылған тәжірибелік қондырғының сызбасы 1-суретте бейнеленген.



Сурет 2. Екіколбалы диффузиялық аппарат сызбасы: 1 – төменгі колбаның корпусы; 2 - капилляр; 3 - жоғарғы колбаның корпусы; 4 – шток; 5 – бекіткіш; 6 – фторопластикалықтығыздауыш; 7 – гайка; 8 – бұрандама; 9 – фторопластық төсем; 10 – фторопластық таблетка; 11 – штуцер; 12 – бұранда

14 және 16 диффузиялық колбалар 15 каналымен байланысқан цилиндрлік ыдыстар түрінде жасалады. Каналдың ұштары колбалардың ортасына орналастырылған, бұл жағдайда біз диффузиялық компоненттердің концентрациясының таралуы көлемнің центріне қатысты сфералық симметриялы деп санаймыз. Құрылғы термостаттың жұмыс камерасында тігінен орналастырылды. Арнаны жабу жоғарғы колбада 17 фторопластикалық таблеткасымен жүзеге асырылады, ол болтқа бекітіледі және тек тік бағытта қозғалады. Болтты жылжыту түтікте орналасқан 19 бұрағышты қамтамасыз етеді. Қабаттасатын құрылғының конструкциясы тәжірибенің басында және соңында (ашылу және жабылу кезінде) диффузиялық камералар көлемінің тұрақтылығын бұзбайды, әртүрлі температура мен қысым кезінде сенімді және ыңғайлы жұмыс істейді.

Диффузиялық қондырғыда жұмыс істеу әдістемесі келесідей болды: 14 және 16 колбаларды зерттелетін газдармен толтыру (1-сурет) диффузиялық құрылғыда тәжірибенің өту температурасын қойғаннан кейін ғана басталады, бұл кезде 15 капилляр жабық күйде болады, яғни 14 және 16 колбалар ажыратылған. 14 және 16 колбаларды толтырар алдында форвакуумдық сорғы арқылы 20 және 21 баллондарындағы зерттелетін газ қоспаларымен бірнеше рет шайылады.

Колбалардағы қысым 12 үлгілі манометрлермен, атмосфералық қысым – МБП манометр – барометрімен бақыланады. Әр колбаны толтыру шамадан тыс қысымға дейін жүргізілді (тәжірибе қысымының 7-10%), содан кейін 5 және 6 шүмектер арқылы екі колба да 14 және 16 диффузиялық колбалардағы қысымды теңестіруге мүмкіндік беретін ыдысқа қосылды. Артық газдар атмосфераға шығарылды. Жеткізу түтіктері мен теңестіру көлемі газдардың бір колбадан екіншісіне өтуін толығымен қамтамасыз етеді. 14 және 16 колбаларындағы қысымды мұқият теңестіргеннен кейін, 17 фторопластикалық таблеткамен 15 диффузиялық каналдың ашылу сәті тәжірибенің басталуын белгіледі және секундомер бір уақытта қосылды. Эксперимент аяқталғаннан кейін құрылғының колбалары қайтадан ажыратылып, процестің уақыты белгіленді. Диффузиялық процестің соңында құрылғының жоғарғы және төменгі колбасынан газдарды талдау ХРОМ-4 хроматографта жүргізілді.

Диффузияланған компоненттер мөлшерінің (парциалды шығындар) осы бастапқы құрамның қысымына тәуелділігі зерттелді. Содан кейін бірдей уақыт аралықтарында әртүрлі тұтқырлығы бар жүйелер үшін массатасымалының сипаттамаларын салыстыру жүргізілді.

Қарастырылып отырған жүйелерде  $0,4300\text{C}_3\text{H}_8+0,5700\text{He}-0,4200\text{C}_3\text{H}_8+0,5800\text{Ne}$  және  $0,4300\text{C}_3\text{H}_8+0,5700\text{He}-0,4300\text{C}_3\text{H}_8+0,5700\text{CH}_4$  негізгі компоненттер (метан және неон) динамикалық тұтқырлық мөлшерімен 3 есе айырмашылық жасайды, ал өзара диффузия коэффициенттері келесі мәндерге ие:  $(D_0)_{\text{He}-\text{CH}_4}=0,680\cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек,  $(D_0)_{\text{He}-\text{C}_3\text{H}_8}=0,409\cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек,  $(D_0)_{\text{CH}_4-\text{C}_3\text{H}_8}=0,158\cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек,  $(D_0)_{\text{He}-\text{Ne}}=1,101\cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек,  $(D_0)_{\text{Ne}-\text{C}_3\text{H}_8}=0,710\cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек (P=0,101 МПа және T=298 К кезінде).

3-суретте негізгі газдар-неон және метан үшін  $\alpha$  қысымның парциалды параметрінің қысымға тәуелділігі көрсетілген.  $\alpha$  параметрі келесі қатынас бойынша есептелді:

$$\alpha_i = \frac{C_{iex}}{C_{ith}}$$

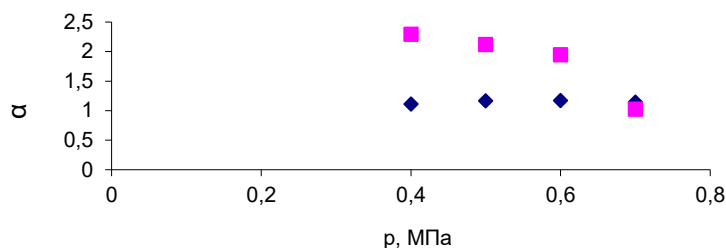
мұндағы  $C_{iex}$  –  $i$ -ші компонент концентрациясының эксперименттік мәні;  $C_{ith}$  – ( $i=1,2,3$ ) диффузия болжамындағы Стефан-Максвелл теңдеулері бойынша концентрацияларды есептеу.

Егер барлық газдар үшін  $\alpha=1$  болса, онда компоненттердің ауысуы молекулалық диффузия заңдарына сәйкес жүреді, ал кем дегенде бір компонент үшін  $\alpha>1$  болса конвективті ағындар болады.

3-суретте көрсетілгендей, барлық қысымдардағы неон жүйесі үшін  $\alpha$  параметрі 1-ге тең, бұл  $0,4300C_3H_8+0,5700Ne-0,4200C_3H_8+0,5800Ne$  жүйесінде диффузиялық процестің орнықты өтетіндігін көрсетеді.  $0,4300C_3H_8+0,5700Ne-0,4300C_3H_8+0,5700CH_4$  жүйесіндегі метан үшін  $\alpha$  параметрінің шамасы процестің орнықсыз өтуін көрсетеді.

Тәжірибедегі қысымның жоғарылауымен процестің қарқындылығы төмендейді және оның тұрақтануы басталады. Бұрын тұтқырлықтың механикалық тепе-теңдік орнықтылығына әсері бойынша келесі қоспалар үшін уақытқа байланысты  $0,5118H_2+0,4882N_2O-0,5129CH_4+0,4871N_2O$  және  $0,5155H_2+0,4845C_3H_8-0,5163CH_4+0,4837C_3H_8$  [11] зерттеулер жүргізілген.

Бұл жүйелерде еріткіш газдар шамалас тығыздыққа ие және негізгі диффузиялық компоненттер бірдей диффузиялық коэффициенттерге ие, бірақ динамикалық тұтқырлықтың мөлшері шамамен 2 есе ерекшеленеді. Біздің зерттеулеріміздің нәтижелері 3-суретте және 1-кестеде көрсетілген және олар ұсынылған мәліметтермен [11] жақсы үйлеседі. Ұқсас көрініс сонымен қатар үштік газ қоспаларының  $0,4700H_2+0,5300N_2-CH_4$  және  $0,4700H_2+0,5300N_2-Ne$  диффузиясында байқалады. Метан жүйесінде  $\alpha>1$ , бұл конвективті ағындардың болуын көрсетеді. Неон жүйесі үшін араластырудың молекулалық түрі жүзеге асырылады.



Сурет 3. Әр түрлі қысымдағы компоненттердің парциалды шығындары. 1)  $0,4300C_3H_8+0,5700Ne-0,4200C_3H_8+0,5800Ne$  жүйесі; 2)  $T=298,0$  К кезіндегі  $0,4300C_3H_8+0,5700Ne-0,4300C_3H_8+0,5700CH_4$  жүйесі. Қоспаларға сәйкес келетін эксперименттік мәліметтер: 1 - ■ – метан, 2 - ◇ - неон.

1-кесте.  $P=1,5$  МПа және  $T=323,0$  К [12] кезіндегі диффузиялық орнықсыз жүйелер үшін компоненттердің концентрациялары

$\tau$ , с/ағ	Компоненттер концентрациясы, мольдік үлес					
	Эксперименттік			Стефан-Максвелл теңдеулеріне сәйкес есептелген		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1. $0,4700H_2(1) + 0,5300N_2(2) - CH_4(3)$ жүйесі						
1	0,0817	0,1368	0,2185	0,0173	0,0035	0,0209
3	0,1020	0,1643	0,2643	0,0482	0,0113	0,0595
5	0,1300	0,1713	0,3001	0,0747	0,0195	0,0942
2. $0,4700H_2(1) + 0,5300N_2(2) - Ne(3)$ жүйесі						
1	0,0198	0,0045	0,0243	0,0222	0,0055	0,0277
3	0,0660	0,0165	0,0765	0,0606	0,1700	0,0776
5	0,0900	0,0240	0,1190	0,0922	0,0289	0,1211

Жүргізілген зерттеулер араласу процесінің сипатының сапалық өзгеруін көрсетеді. Орныксыздық процесінің қарқындылығына айтарлықтай әсерді газ қоспасының тұтқырлығы береді. Оны дұрыс таңдай отырып, жүйенің күйін сапалы түрде өзгертуге болады. Қоспаның тұтқырлығының жоғарылауы бір жағдайда қысымның жоғарылауымен, ал екінші жағдайда процестің өту уақытының жоғарылауымен диффузиялық процестің орнығуына алып келеді. Осылайша, зерттеулер көрсеткендей,  $\text{CH}_4$  негізгі газын тұтқырлық коэффициенті жоғары  $\text{Ne}$ -ға ауыстыру орныксыз диффузиялық процестің тұрақтануына әкеледі.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М., Тарасов С.Б. Влияние давления на устойчивость диффузии в некоторых трехкомпонентных газовых смесях // ЖТФ. - 1984. – Т.54, №5. – С. 943-947.
- 2 Косов В.Н., Селезнев В.Д., Жаврин Ю.И. О диффузионной неустойчивости в трехкомпонентных газовых смесях// Теплофизика и аэромеханика. 2000 Суетин П.Е., Волобуев П.В. Бароэффект при взаимной диффузии газов// ЖТФ. – 1964. – Т. 34, № 6. – С. 1107-1114.
- 3 Toor H.L. Diffusion in three-component gas mixture // A. I. Ch. E. Journal. – 1957. – Vol. 3, № 2. – P. 198-207.
- 4 Адибаев Б.М. Экспериментальное исследование концентрационной зависимости величины диффузионного бароэффекта некоторых газов: дисс. ...канд.физ.-мат. наук. - Алма-Ата, 1975.-139с.
- 5 Селезнев В.Д., Смирнов В.Г. Диффузия в трехкомпонентной смеси газов в системе двух колб. // ЖТФ. - 1981. – Т. 51, №4. – С. 795-800.
- 6 Косов Н.Д., Новосад З.И. Определение количества газа, переносимого гидродинамическим потоком при взаимной диффузии // ЖТФ. - 1969. - Т. 39. № 3. - С.582-586.
- 7 Miller L., Mason E. A. Oscillating instabilities in multicomponent diffusion // Phys. Fluids. – 1966. – Vol. 9, N 4. – P. 711 - 721.
- 8 Косов В.Н., Жаврин Ю.И. (2000) Экспериментальное исследование на диффузионную устойчивость некоторых изотермических трехкомпонентных газовых систем [On diffusion instability in three-component gas mixtures. Thermophysics and Aeromechanics. Suetin P. E., P. V. Volobuev Breaffast when interdiffusion of ga]. Изв. АНКазССР, сер. физ.-мат. 1990., № 2, 66-69.
- 9 Молдабекова М.С., Поярков И.В., Асембаева М.К., Бекетаева М. Экспериментальное исследование системы  $0,425\text{C}_3\text{H}_8 + 0,575\text{He} - 0,426\text{N}_2\text{O} + 0,574\text{CH}_4$ . Вестник КазНУ, Серия физическая. 2011. № 2(37) С. 3-6.
- 10 Жаврин Ю.И., Айтқожаев А.З., Косов В.Н., Красиков С.А. Влияние вязкости на устойчивость диффузионного массопереноса в изотермических трехкомпонентных газовых смесях // Письма в ЖТФ. – 1995. – Т. 21, вып. 6. – С. 7-12.
- 11 Жаврин Ю.И., Косов В.Н. (1990) Влияние вязкости смеси на процесс диффузионной неустойчивости в изотермических трехкомпонентных газовых системах. Теплофизика релаксирующих систем. Тез. X Всесоюзной теплофиз. школы. Тамбов, 74-75.

References

- 1 Zhavrin Ju.I., Kosov N.D., Belov S.M., Tarasov S.B. (1984) Vliyanie davlenija na ustojchivost' diffuzii v nekotoryh trehkomponentnyh gazovyh smesjah [Influence of pressure on the stability of diffusion in some three-component gas mixtures] ZhTF., T.54, №5, 943-947. (In Russian)
- 2 Kosov V.N., Seleznev V.D., Zhavrin Ju.I. (2000) O diffuzionnoj neustojchivosti v trehkomponentnyh gazovyh smesjah [On diffusion instability in three-component gas mixture]. Teplofizika i aeromehanika. 2000 Suetin P.E., Volobuev P.V. Baroeffekt pri vzaimnoj diffuzii gazov// ZhTF. T. 34, № 6, 1107-1114. (In Russian)
- 3 Toor H.L. ( 1957) Diffusion in three-component gas mixture. A. I. Ch. E. Journal. Vol. 3, № 2, 198-207. (In English)
- 4 Adibaev B.M. (1975) Jeksperimental'noe issledovanie koncentracionnoj zavisimosti velichiny diffuzionnogo baroeffekta nekotoryh gazov [Experimental study of the concentration dependence of the diffusion baroeffekt of some gases]: diss. ...kand.fiz.-mat. nauk. Alma-Ata, 139. (In Russian)
- 5 Seleznev V.D., Smirnov V.G. (1981) Diffuzija v trehkomponentnoj smesi gazov v sisteme dvuh kolb [Diffusion in a three-component mixture of gases in a system of two flasks]. ZhTF T. 51, №4, 795-800. (In Russian)
- 6 Kosov N.D., Novosad Z.I. (1969) Opredelenie kolichestva gaza, perenosimogo gidrodinamicheskim potokom pri vzaimnoj diffuzii [Determination of the amount of gas carried by a hydrodynamic flow during mutual diffusion]. ZhTF. T. 39, № 3, 582-586. (In Russian)
- 7 Miller L., Mason E. A. (1966) Oscillating instabilities in multicomponent diffusion. Phys. Fluids. Vol. 9, N 4. 711 - 721. (In English)
- 8 Kosov V.N., Zhavrin Ju.I. (2000) Jeksperimental'noe issledovanie na diffuzionnuju ustojchivost' nekotoryh izotermicheskikh trehkomponentnyh gazovyh sistem [Experimental study on the diffusion resistance of some isothermal ternary gas systems]. Izv. ANKazSSR, ser. fiz.-mat. № 2, 66-69. (In Russian)

9 Moldabekova M.S., Pojarkov I.V., Asembaeva M.K., Beketaeva M. (2011) *Jeksperimental'noe issledovanie sistemy  $0,425C_3H_8 + 0,575He - 0,426N_2O + 0,574SN_4$  [Experimental study of the system  $0,425C_3H_8 + 0,575 He - 0,426N_2O + 0,574CH_4$ ]. Vestnik KazNU, Serija fizicheskaja. № 2(37) S. 3-6. (In Russian)*

10 Zhavrin Ju.I., Ajtkozhaev A.Z., Kosov V.N., Krasikov S.A. (1995) *Vlijanie vjazkosti na ustojchivost' diffuzionnogo massoperenosa v izotermicheskikh trehkomponentnyh gazovyh smesjah [The Influence of viscosity on the stability of diffusion mass transfer in isothermal ternary gas mixtures]. Pis'ma v ZhTF. T. 21, vyp. 6,7-12. (In Russian)*

11 Zhavrin Ju.I., Kosov V.N. (1990) *Vlijanie vjazkosti smesi na process diffuzionnoj neustojchivosti v izotermicheskikh trehkomponentnyh gazovyh sistemah. Teplofizika relaksirujushhih sistem. Tez. H Vsesojuznoj teplofiz. Shkoly, Tambov, 74-75. (In Russian)*