

Нурмаханов Н., Қалиахмет А.Б.,
Иқласова С., Әсембаева М.Қ.

**H₂-N₂ + CH₄ газ жүйесіндегі
метанның эффективтік
диффузия коэффициентінің
температуралық және
концентрациялық тәуелділігі**

Температурасы 298 – 1000 К аралығында құрамында әртүрлі концентрациялы метан бар газ жүйесінің ЭДК температуралық және концентрациялық тәуелділігі есептелді. Метанның ЭДК әртүрлі концентрацияда Стефан-Максвелл теориясы негізінде есептелді. Бинарлы диффузияда мұндай қатынас тәжірибелердің жеткілікті болуынан мүмкін болып отыр, ал көпкомпонентті массатасымалдауда мұндай салыстырулар жүргізу тәжірибелік мәндердің жетіспеушілігінен қиындық туғызады. Бұл жұмыста әртүрлі концентрацияда H₂-N₂+CH₄ газ жүйесі үшін таза газ ретінде метан алынды, сонымен қатар стационарлық, МБД және екіколбалық әдіспен алынған эффективтік диффузия коэффициенттеріне салыстырулар жүргізілді. Сондай-ақ массаалмасуды сипаттаудағы ЭДК артықшылықтары да көрсетілді.

Түйін сөздер: диффузия, ЭДК, бинарлық диффузия, барозф-фект, массатасымалдау, балласты газ.

Nurmahanov N., Kaliakhmet A.B.,
Iklasova S., Asembaeva M.K.

**Temperature and concentration
dependence of the effective
diffusion coefficient of methane in
the gas system H₂-N₂ + CH₄**

Designed temperature and concentration dependence of the ECD of gas of which consists of methane at different concentrations, and in the temperature range 298 - 1000 K. ECD methane calculated on the basis of the theory of Stefan-Maxwell in different concentrations. In binary diffusion, such a comparison is possible, since enough of the experiment, when a multicomponent mass transfer is more difficult to do because of the lack of experimental data. This work was carried out to compare the efficacy of the diffusion coefficients obtained stationary, MDB and dvuhkolbovym method for system gas H₂-N₂+CH₄ in different concentrations, which is used as a pure methane gas. Just use the advantages of efficient mass transfer coefficients in the description.

Key words: diffusion, EDC, binary diffusion, thermal effect, masstransfer, ballast gas.

Нурмаханов Н., Қалиахмет А.Б.,
Иқласова С., Әсембаева М.Қ.

**Температурная и
концентрационная зависимость
эффективного коэффициента
диффузии метана в системе газа
H₂-N₂ + CH₄**

Рассчитан температурная и концентрационная зависимость ЭКД системы газа в составе которого присутствует метан в разных концентрациях и в интервале температур 298 – 1000 К. ЭКД метана рассчитывалась на основе теории Стефана-Максвелла в разных концентрациях. В бинарной диффузии такое сопоставление возможно, так как достаточно эксперимента, при многокомпонентном массопереносе это сделать сложнее из-за отсутствия опытных данных. В этой работе производилось сравнение эффективных коэффициентов диффузии полученных стационарным, МБД и двухколбовым методом для системы газа H₂-N₂+CH₄ в разных концентрациях, где использовалась метан в виде чистого газа. Так же показаны преимущества применения эффективных коэффициентов при описании массопереноса.

Ключевые слова: диффузия, ЭКД, бинарная диффузия, барозф-фект, массаперенос, балластный газ.

**H₂-N₂ + CH₄ ГАЗ
ЖҮЙЕСІНДЕГІ
МЕТАННЫҢ
ЭФФЕКТИВТІК
ДИФФУЗИЯ
КОЭФФИЦИЕНТІНІҢ
ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ
ЖӘНЕ
КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ
ТӘУЕЛДІЛІГІ**

Кіріспе

Көпкомпонентті жүйедегі газ диффузиясының эффективті коэффициентінің температураға тәуелділігі қазіргі таңда ешбір анықтамалық әдебиеттерде айтылмайды, ал бұл тақырыптағы мақалалар саны айтарлықтай шектелген. Мысал ретінде, табиғи газдағы аммиактың синтезін, газ тәрізді отынның жануын және т.б. құбылыстарды айтуға болатын мұндай ақпарат қажет және маңызды болып табылады, яғни құбылыстың мағынасын ашуға және өндіру жұмыстарын шынайы құбылыстарға негізделуіне жағдай жасайды.

Өртүрлі әдістермен алынған эффективтік диффузия коэффициенттерін (ЭДК) салыстыру өте маңызды. Бинарлық диффузияда мұндай сәйкестендірулер оңай жүргізіледі, өйткені эксперименттік материалдар өте көп, олар [1, 2] жұмыста келтірілген. Осындай салыстырулардың мақсаты қарастырып отырған әдістерді негіздеу, сонымен қатар, сәйкестендірулер арқылы кейінгі эффективтік диффузия коэффициенттерінің артықшылықтарын (немесе кемшіліктерін) анықтау болып табылады.

Концентрациялары әртүрлі H₂-N₂+CH₄ газ жүйесі үшін (мәндері [3, 4, 5] жұмыстарда келтірілген) негізгі зерттеу компоненті ретінде алынған метанның стационарлық және екіқолбалық әдіспен алынған эффективтік диффузия коэффициенттеріне салыстырулар жүргізілді. Алынған нәтижелер төмендегі 1 және 2 суреттерде көрсетілген. Максвелл Больцман-Джинс (МБД) теориясы бойынша есептелген нәтижелер де осында келтірілген [6, 7]

$$D_i = \frac{D_{ii}}{x_i + \alpha_{ij}x_j + \alpha_{ik}x_k},$$

$$D_{ii} = \frac{1.051\sqrt{8kT/\pi m_i}}{3\pi\sqrt{2n_i\sigma_{ii}^2(1-\omega_{ii})}}, \quad (1)$$

$$\alpha_{ij} = \left(\frac{\sigma_{ii} + \sigma_{jj}}{2\sigma_{ij}} \right)^2 * \frac{1 - \omega_{ij}}{1 - \omega_{ii}} \sqrt{\frac{m_i + m_j}{2m_j}},$$

мұндағы D_{ii} – i -ші компоненттің өздікдиффузия коэффициенті; ω_{ij} – жылдамдықтың персистенциясы; $\omega_{ij} = 0,406$; $\alpha_{ij} = 1$ және Стефан-Максвелл [8, 9]

$$D_1^{эф} = \frac{D_{21} [D_{31} + y_1 (D_{32} - D_{31})]}{y_1 D_{23} + y_2 D_{31} + y_3 D_{12}}, \quad (2)$$

$$D_2^{эф} = \frac{D_{21} [D_{23} + y_2 (D_{31} - D_{23})]}{y_1 D_{23} + y_2 D_{31} + y_3 D_{12}}.$$

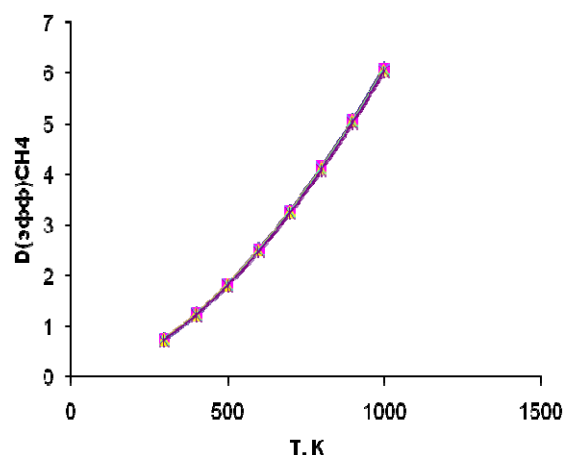
1-суретте біріншіден, жүйедегі метанның эффективтік диффузиялық коэффициентінің температуралық тәуелділігінің анықтамалық мәнін қолдана отырып, 298,0 нен 1000,0 К аралығындағы интервалы 100,0 К болатын температураға сәйкес эффективтік диффузиялық коэффициентін анықтау. Зерттеулер нәтижесінен метанның эффективтік диффузия коэффициенттерінің температуралық тәуелділігінің теориялық және эксперимент мәндерімен өзара жоғары сәйкестігі көрсетілді.

Үшкомпоненттік жүйелер үшін осындай салыстырулар жүргізілді монографияларда олар [10, 11] келтірілген. Бұл қатынастар қоспа құрамының өзара екі тәуелсіз ағындарының (біздің жағдайда жеңіл компоненттер) диагональ және қиылысатын матрицалық диффузия коэффициенттерімен байланысты екендігін көрсетеді және ол эксперимент түрінде әлі толық дәлелденбеген келтірілген [12, 13].

Сонымен қатынас мынадай түрге келеді:

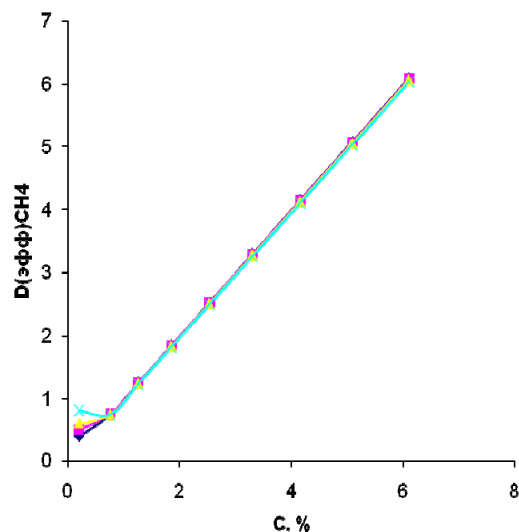
$$y_2 y_1 (D_{22}^* - D_{11}^*) = y_1 (1 - y_1) D_{21}^* - y_2 (1 - y_2) D_{12}^*$$

мұндағы y_i – i компонентінің мольдік үлесі.



Нүктелер – екіколбалық әдіспен эксперимент жүзінде алынған. Түзу сызықтар – Стефан-Максвелл теңдеуі негізінде есептелген.

1-сурет – H₂-N₂+CH₄ газ жүйесі үшін метанның эффективтік диффузия коэффициенттерін орташақөлемдік жүйеде есептеу әртүрлі әдіспен температурадан тәуелді алынған



Нүктелер – екіколбалық әдіспен эксперимент жүзінде алынған. Түзу сызықтар – Стефан-Максвелл теңдеуі негізінде есептелген

2-сурет – Концентрациялары 0,2 ÷ 0,8 (мольдік бөлік) аралығында алынған H₂-N₂+CH₄ газ жүйесі үшін эффективтік диффузия коэффициенттерін орташақөлемдік жүйеде есептеу әртүрлі әдіспен метанның бастапқы концентрациясынан тәуелділігі алынған.

2-суретте $H_2-N_2+CH_4$ газ жүйесіндегі газдардың жеке концентрациялары үшін теорияның екіколбалық әдіспен эксперимент жүзінде мәндерімен өзара сәйкестігі келтірілген. Бұрыннан белгілі болғандай, қанағаттанарлықсыз сәйкестік жүйеде жеңіл компонент (мысалы, сутегі) болғанда орындалады. Біздің қарастырып отырған жүйемізде осыған ұқсас жағдайлар байқалады. Әсіресе, сәйкестіктер салыстырмалы түрдегі ауыр компонент метан үшін орындалады. Бұл эффективтік диффузия коэффициенттерін қорытып шығару кезінде осы жүйелер үшін газсұйылтқыштардың тасымалдануы кезінде жүйеде орташа көлемдік есепте концентрацияның тасымалы өзгеріссіз қалуымен байланысты. Сонымен қатар, сутегі газы үшін молекула-кинетикалық параметрлерді есептеуді де қажет етеді

және оларды әдебиеттердегі мәндермен салыстырғанда үлкен айырмашылықтар бар. Сондықтан эксперименттер өте мұқият орындауды қажет етеді және қателіктердің аз болуы қадағаланады [14, 15].

Сонымен әртүрлі эксперименттік әдістермен алынған эффективтік диффузия коэффициенттеріне салыстырулар жүргізілді. Көпкомпоненттік диффузияны сипаттау кезінде жүргізілген әртүрлі талдаулардан ЭДК әдісі, Максвелл Больцман-Джинс теориясы, екіколбалық аппарат әдісі және Стефан-Максвелл теорияларының барлығы да дұрыс орындалатындығы анықталды. Осы теориялардың кез келгенін қолдану күрделі масса алмасу есептерінің соңғы нәтижелеріне қойылған талаптардың дәлдігінен тәуелді болып табылады.

Әдебиеттер

- 1 Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов: Пер. с нем. – М.: Мир, 1967. – 544 с.
- 2 Marrero T.R., Mason E.A. Gaseous diffusion coefficient // J. Phys. Chem. Ref. Date. – 1972. – Vol. 1. – № 1. – P. 1-118.
- 3 Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
- 4 Кульжанов Д.У. Экспериментальное исследование диффузии некоторых трехкомпонентных газовых смесей в различных системах отсчета: дис... канд. физ.-мат. наук. – Алма-Ата, 1982. – 150 с.
- 5 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. Изучение диффузии в трехкомпонентной газовой смеси гелий – аргон – азот // Физика (сб. статей аспирантов и соискателей). – Алма-Ата, 1969. – Вып. 4. – С. 50-54.
- 6 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. Эффективные коэффициенты диффузии тройной системы водород-гелий-аргон // Физика (сб. статей аспирантов и соискателей). – Алма-Ата, 1972. – Вып. 6, часть 1. – С. 112-115.
- 7 Больцман Л., Лекции по теории газов: Пер. с нем. – М.: ГИТТЛ, 1956. – 554 с.
- 8 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии некоторых трехкомпонентных газовых смесей в различных системах отсчета // Диффузия и конвективный теплообмен. – Алма-Ата, 1981. – С. 3-14.
- 9 Stefan J. Uber das Gleichgewicht und die Bewegung, insbesondere die Diffusion von Gasgemengen // Wien. Akad. Sitzungsberichte. – 1881. – Bd. 63. – S. 63 – 124.
- 10 Новосад З.И., Косов Н.Д., Эффективные коэффициенты диффузии трехкомпонентных смесей гелия, аргона и углекислого газа // ЖТФ. – 1970. – Т. 40, №11. – С. 2368-2375.
- 11 Айткожаев А.З., Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Курмакаев Ф.З. (Водород + аммиак) – азот. Водород – (азот + аммиак). Водород – азот – метан – аммиак - аргон. Эффективные коэффициенты диффузии в диапазоне давлений 0,2 ... 1,0 МПа при температуре 298 К // Таблицы РСД зарегистрированы во Всесоюзном научно-исследовательском центре по материалам и веществам Госстандарта 28 апреля 1992 г. под № ГСССД Р 429-92.
- 12 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. и др. Исследование диффузии в газовых смесях, содержащих компоненты синтеза аммиака // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 2. – С.133-136.
- 13 Бычков А.Г., Жаврин Ю.И. Температурная зависимость эффективных коэффициентов диффузии некоторых смесей в изотермических и неизотермических условиях // НИИ ЭТФ Каз.ун-т. – Алма-Ата, 1993. – 10 с. Деп. В КазНИИКИ. 15.01.93. № 3985. Ка-93.
- 14 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М., Семидоцкая Н.И. О применении метода эффективных коэффициентов диффузии к диффузии в многокомпонентных газовых смесях при повышенных давлениях // Теплоперенос в жидкостях и газах. – Алма-Ата, 1982. – С. 3.
- 15 Косов Н.Д., Солоницын Б.П. Температурная зависимость коэффициентов самодиффузии и взаимной диффузии газов // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во Стандартов, 1982. – Вып. 17. – С. 4-24.

References

- 1 Haazze R. Termodinamika neobratimiyh oprocessov: Per. s nem. – М.: Mir, 1967. – 544 p. (in Russ).
- 2 Marrero T.R., Mason E.A. J. Phys. Chem. Ref. Date. Vol. 1, № 1. (1972). P. 1-118.
- 3 De Groot S., Mazur P. Neravnovesnaya termodinamika: Per. s ang.–М.: Mir, 1964. -456 p. (in Russ).
- 4 Kulzhanov D.U. Experimentalnoe issledovanie diffuzii nekotoryh trehkomponentnyh gazovyh smesei v razlichnyh sistemah otsheta: dis... kand. phys.- mat. nauk. - Alma-Ata, 1982. - 150 p. (in Russ).

- 5 Zhavrin Yu. I., Kosov N.D., Novosad Z.I. Izuchenie diffuzii v trehkomponentnoi gazovoi smesi gelii-argon-azot // Fizika (sb. Statei aspirantov I soiskatelei). - Alma-Ata, 1969. - Vyp. 4. - P. 50-54. (in Russ).
- 6 Zhavrin Yu. I., Novosad Z.I. Effectivnye koefitsienty diffuzii troinoi sistemy vodorod-gelii argon // Fizika (sb. Statei aspirantov I soiskatelei). - Alma-Ata, 1972. - Vyp. 6, chast 1. - P. 112-115. (in Russ).
- 7 Bolcman L., Lekcii po teorii gazov: Per. S nm. –M.: GITTL, 1956. -554 p. (in Russ).
- 8 Zhavrin Yu. I., Kosov N.D., Kulzhanov D.U. Diffiuziya I konvektivnyi teploobmen. – Alma-Ata, (1981), 3-14. (in Russ).
- 9 Stefan J. Uber das Gleichgewicht und die Bewegung, insbesondere die Diffusion von Gasgemengen // Wien. Akad. Sitzungsberichte. -1881. –Bd. 63. –S. 63 – 124.
- 10 Novosad Z.I., Kosov N.D. ZhTF. T. 40, №11.(1970). 2368-2375. (in Russ).
- 11 Aitkozhaev A.Z. Zhavrin Yu. I., Kosov N.D., Kurmakaev F.Z. Tablicy RSD zaregistrovany vo Vsesoiuznom nauchno-issledovatelskom centre po materialam I veshstvam Gosstandarta 28 aprelya 1992 g. pod № GSSSD R 429-92. (in Russ).
- 12 Zhavrin Yu. I., Kosov N.D., Kulzhanov D.U. i dr. Issledovanie diffuzii v gazovyh smesyah, sodержashih komponenty sinteza ammiyaka // IFZh. T. 74, № 2. (2001). 133-136. (in Russ).
- 13 Bychkov A.G., Zhavrin Yu.I. Temperaturnaya zavisimost effektivnyh koefitsientov diffuzii nekotoryh smesei v izotermicheskikh i neizotermicheskikh usloviyah // NII ETF Kaz.un-t. – Alma-Ata, 1993. – 10 p. Dep. V KazNIIKI. 15.01.93. № 3985. Ka-93. (in Russ).
- 14 Zhavrin Yu. I., Kosov N.D., Belov S.M., Semidockaya N.I. O primeneniі metoda effektivnyh koefitsientov diffuzii k diffuzii v mnogokomponentnyh gazovyh smesyah pri povyshennyh davleniyah // Teplomassoperenos v zhidkostyah i gazah. - Alma-Ata, 1982. - P. 3. (in Russ).
- 15 Kosov N.D., Slonicyn B.P. Temperaturnaiya zavisimost koefitsientov samodiffuzii I vzaimnoi diffuzii gazov // Teplofizicheskie svoystva veshstv i materialov. – M.: Izd-vo Standartov, 1982. – Vyp. 17. – P. 4-24. (in Russ).