

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ _____

_____ **ВЕСТНИК КазНУТУ**

VESTNIK KazNRTU _____

№1 (125)

метода Лобачевского и классических теорем Вейерштрасса о кратности корней, Лиувилля о целых функциях, Руше о числе корней регулярной функции можно найти корни целой функции. Разумеется, при нахождении корней приходится делать разумные допущения, но полученные корни являются хорошими приближениями. Точность корней зависит от количества членов разложения целой функции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лобачевский Н.И. Полное собрание сочинений. IV.-М.-Л.: Гостехиздат, 1948
[2] Беланов А.А. Решение алгебраических уравнений методом Лобачевского, М., Наука, 1989

Мұстафин М.А., Касинов А. Н.

Теңдеулерді шешудің Лобачевский әдісі жайлы.

Түйіндеме. Мақаланың мақсаты - түбірлері бүтін функцияларды Лобачевский әдісімен табудың қолдану мүмкіндіктерін көрсету.

Негізгі сөздер: Лобачевский әдісі, көпмүше, бүтін функция.

Mustafin M.A., Kasinov A.N.

About Lobachevski method of solving equations

Summary. The goal of this article is to show opportunity of Lobachevski method for finding of roots for the entire functions.

Key words. Lobachevski method, polynomial, entire function.

УДК 533.15; 536.25

**Ю.И. Жаврин, М.С. Молдабекова, М.К. Асембаева
В. Мукамеденкызы, А.З. Нурмуханова**
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Алматы, Республика Казахстан)

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ СМЕСИ НЕКОТОРЫХ
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ВОДОРОД**

Аннотация. В статье рассматриваются экспериментальные и численные методы описания многокомпонентного массопереноса для газовой смеси метана, этана, пропана и н-бутана в водород при $T = 298,0$ К и $P = 0,101$ МПа. Определены эффективные коэффициенты диффузии и матричные коэффициенты многокомпонентной диффузии для двух случаев: первого, когда исходными данными служат эксперименты и второго, когда такие же данные, но полученные расчетом. Проведено сравнение полученных результатов. Показаны преимущества применения эффективных коэффициентов диффузии при описании многокомпонентного массопереноса. Вычисленные значения ЭКД по предложенному методу могут быть использованы в качестве справочных данных.

Ключевые слова: диффузионный процесс; многокомпонентный массоперенос; газовой смеси.

Введение

С вопросами переноса газов приходится сталкиваться разработчикам массообменных аппаратов, вакуумных агрегатов и др. при проектировании многих видов промышленного оборудования, транспортировки газов, так и при решении различных технологических задач, связанных с тепломассобменом. Разработка подобных технологий требует детального описания поведения газов и их смесей в сложных условиях, определяемых задачами технологического процесса. В Республике Казахстан на сегодняшнем этапе развития предполагается значительно увеличить добычу природного газа с дальнейшей его транспортировкой по магистральным трубопроводам на большие расстояния.

При расчетах параметров технологического оборудования использует кинетические коэффициенты вязкости, теплопроводности, диффузии как феноменологические, то есть взятые из предварительно проведенных опытов. Однако, в большинстве справочников и руководств, приведена очень краткая (либо вообще отсутствует [1]) информация о массообменных свойствах компонентов сложных газовых смесей, например, природных углеводородных газов.

В настоящей статье представлены исследования диффузии в многокомпонентных газовых смесях, проводимые в Научно-исследовательском институте экспериментальной и теоретической физики (НИИ ЭТФ) при Казахском национальном университете им. Аль-Фараби [2-5]. На сегодняшний день природный газ одно из наиболее дешевых и экологически чистых видов топлива. Также он служит исходным сырьем для производства различных веществ и материалов. Как правило, от места добычи газа до пункта назначения для его транспортировки используются трубопроводные сети, безопасная эксплуатация которых должна обеспечиваться полной информацией о теплофизических свойствах природных газов в широком интервале температур и давлений. Это утверждение также относится к использованию природных газов в технологических процессах, связанных с тепломассообменом.

Тем не менее, реализовать на практике (имеется в виду проведение экспериментальных исследований с их тщательной обработкой) во многих случаях такую задачу довольно сложно. Поэтому для решения данного вопроса и получения исчерпывающей информации о переносных и других свойствах газов и их смесей в компактной форме в виде функциональных зависимостей, необходим обзор и анализ экспериментальных исследований и сопоставление результатов с теоретическими моделями описания массопереноса в газовых смесях. Это позволит обеспечить выбор оптимальных режимов работы оборудования и технологических процессов. Такой подход значительно снижает затраты на весь производственный цикл.

Основной целью данной работы является описание диффузии в многокомпонентных газовых смесях и нахождение диффузионных констант методом эффективного коэффициента диффузии (ЭКД), как к одному из достаточно точных методов. Процедура введения ЭКД, его свойства, физический смысл и т.д. приведены в соответствующей литературе (см., например, [6-9]).

Методы исследования

Метод ЭКД основан на том предположении, что процесс многокомпонентного массопереноса, описанный эффективным коэффициентом в случае бинарной системы будет тождественно равен обычному коэффициенту взаимной диффузии (КВД). Формально это утверждение для одномерного случая записывается в виде первого закона Фика

$$j_i = -D_i^{y\phi} \frac{dc_i}{dx}, \quad (1)$$

где j_i, c_i – плотность диффузионного потока и концентрация i -го компонента соответственно.

Таким образом, поток i – го компонента в n – компонентной газовой смеси определяется только градиентом данного компонента и его ЭКД.

При изучении многокомпонентного массопереноса наряду с экспериментальными исследованиями разрабатывались методы расчета многокомпонентной диффузии, основу которых составляли уравнения Стефана-Максвелла. Апробация этого метода на наших экспериментальных данных показала, что он физически правильно описывает диффузионный процесс с достаточной для практики точностью и кроме того эффективен в использовании [10-12].

В наших исследованиях в отличие от имеющихся в литературе [10-12] выражений для ЭКД, применяется предложенное в работах [9,13] определение, которое легко проверяется в диффузионных экспериментах в следующем виде:

$$D_i^{y\phi} = D_{ii}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} D_{ij}^* \frac{dc_j}{dc_i}, \quad (2)$$

где $D_{ii}^*, D_{ij}^* = f(D_{ij}, y_i, y_j)$ – главные и перекрестные «практические» коэффициенты диффузии (ПКД) или их иногда называют матричными коэффициентами многокомпонентной диффузии (МКМД); dc_j / dc_i – отношение, связывающее изменение концентрации j -го компонента с изменением концентрации i -го компонента; D_{ij} – КВД пары газов i и j ; y_i, y_j – мольные доли компонентов i и j .

Однако уравнение (2) в локальных величинах достаточно сложно для применения, поэтому его упрощают, переходя к приближенному вычислению интегрального (усредненному по всему диффузионному слою) ЭКД i – го компонента в n компонентной смеси. Величины D_{ii}^* , D_{ij}^* рассчитываются для усредненных (среднее арифметическое) мольных долей, а отношение градиентов заменяют отношением разностей концентраций компонентов между точками θ и L на границах диффузионного слоя. Тогда выражение (2) примет вид:

$$\bar{D}_i^{\text{эф}} = \bar{D}_{ii}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} \bar{D}_{ij}^* \left(\frac{c_j^L - c_j^0}{c_i^L - c_i^0} \right) \quad (3)$$

Из (3) следует, что от распределения компонентов внутри многокомпонентной системы зависит знак ЭКД, который может быть, как положительный, так и отрицательный. Для простейшей многокомпонентной системы – тройной смеси – выражение для расчета ЭКД можно записать следующим образом:

$$\bar{D}_i^{y\theta} = \frac{(1 - \bar{y}_i) D_{ij} D_{ik} + \bar{y}_i D_{jk} D_{ik} + \bar{y}_i (D_{ik} D_{jk} - D_{ij} D_{jk}) \left(\frac{c_j^L - c_j^0}{c_i^L - c_i^0} \right)}{\bar{y}_i D_{jk} + \bar{y}_j D_{ik} + \bar{y}_k D_{ij}}, \quad i, j, k = 1, 2, 3 \quad (4)$$

где $\bar{y}_i, \bar{y}_j, \bar{y}_k$ – усредненные (среднее арифметическое) мольные доли компонентов.

При измерении ЭКД в большинстве задач нами использовался метод двухколбового диффузионного прибора [14]. Конструкция диффузионного аппарата, приборов и узлов, входящих в экспериментальную установку, а также методика работы детально описаны в [15]. Один из аппаратов, который использовался в работе, имел следующие параметры: объемы верхней и нижней колб – $V_e = V_n = 76,9 \text{ см}^3$; длина и диаметр диффузионного канала $L = 7,055 \text{ см}$ и $d = 0,4 \text{ см}$ соответственно. Для данного аппарата комплекс геометрических размеров $B = L \cdot V_a \cdot V_i / S \cdot (V_a + V_i)$ (постоянная прибора, где S – площадь поперечного сечения канала) был равен 2261 см^2 . Для имеющихся у нас аппаратов, геометрические характеристики могли незначительно отличаться, а их постоянные находились в пределах от 2100 до 2600 см^2 .

Для сравнения полученных нами экспериментальных данных с предложенной выше методикой численного эксперимента мы использовали геометрические параметры диффузионного аппарата, постоянная которого была равна 2500 см^2 .

Для численного эксперимента была рассмотрена диффузия водорода в равномолярную смесь четырех углеводородных газов (метана, этана, пропана и *n*-бутана) при $T = 298,0 \text{ К}$ и $P = 0,101 \text{ МПа}$. Такой выбор диффундирующей смеси газов обуславливался следующим: во-первых, используемые при расчетах ЭКД коэффициенты взаимной диффузии газов определены, во-вторых, концентрации газов, диффундирующих в водород не были «следовыми». (В этом случае молекулы данного газа не испытывают соударений между собой, а сталкиваются только с молекулами других газов. В количественном отношении это может достигаться при 5-7 %).

Для анализа была выбрана система H_2 (1) – $0,25 \text{ C}_2\text{H}_6$ (2) + $0,25 \text{ C}_2\text{H}_6$ (3) + $0,25 \text{ C}_3\text{H}_8$ (4) + $0,25 \text{ n-C}_4\text{H}_{10}$ (5), в которой концентрации компонентов приведены в мольных долях (отметим, что в дальнейшем для удобства будут использоваться не химические символы газов, а их цифровая нумерация, приведенная после них): 1,2,3,4 и 5.

Результаты исследований

Ниже приведены значения КВД (экспериментальные и теоретически вычисленные), которые использовались в наших вычислениях.

Экспериментальные значения КВД: $D_{12} = 0,705$; $D_{13} = 0,577$; $D_{14} = 0,448$; $D_{15} = 0,378$; $D_{23} = 0,154$; $D_{24} = 0,125$; $D_{25} = 0,106$; $D_{34} = 0,077$; $D_{35} = 0,060$; $D_{45} = 0,050 \text{ см}^2/\text{с}$.

Теоретически вычисленные значения КВД [16]: $D_{12} = 0,720$; $D_{13} = 0,554$; $D_{14} = 0,456$; $D_{15} = 0,432$; $D_{23} = 0,151$; $D_{24} = 0,121$; $D_{25} = 0,107$; $D_{34} = 0,077$; $D_{35} = 0,060$; $D_{45} = 0,050 \text{ см}^2/\text{с}$.

Ниже приведены вычисленные значения ЭКД и МКМД для начального распределения концентраций компонентов при использовании экспериментальных и расчетных значений КВД при $T = 298,0 \text{ K}$, $P = 0,101 \text{ МПа}$.

Экспериментальные данные:

ЭКД компонентов: 1 – 0,503; 2 – 0,562; 3 – 0,511; 4 – 0,478; 5 – 0,460 см²/с.

МКМД для независимых потоков и градиентов (первые четыре компонента):

$D(1,1) = 0,4811$; $D(1,2) = -0,0510$; $D(1,3) = -0,0258$; $D(1,4) = -0,0090$; $D(2,1) = -0,0877$; $D(2,2) = 0,2180$; $D(2,3) = -0,0051$; $D(2,4) = -0,0021$; $D(3,1) = -0,0993$; $D(3,2) = -0,0230$; $D(3,3) = 0,1416$; $D(3,4) = 0,0046$; $D(4,1) = -0,0972$; $D(4,2) = -0,0221$; $D(4,3) = -0,0068$; $D(4,4) = 0,1175 \text{ см}^2/\text{с}$.

Теоретические данные:

ЭКД компонентов: 1 – 0,5226; 2 – 0,5794; 3 – 0,5222; 4 – 0,4964; 5 – 0,4923 см²/с.

МКМД системы II для независимых потоков и градиентов (первые семь компонентов):

$D(1,1) = 0,5074$; $D(1,2) = -0,0436$; $D(1,3) = -0,0150$; $D(1,4) = -0,0021$; $D(2,1) = -0,0931$; $D(2,2) = 0,2156$; $D(2,3) = -0,0064$; $D(2,4) = -0,0024$; $D(3,1) = -0,1035$; $D(3,2) = -0,0238$; $D(3,3) = 0,1383$; $D(3,4) = -0,0062$; $D(4,1) = -0,1031$; $D(4,2) = -0,0227$; $D(4,3) = -0,0090$; $D(4,4) = 0,1158 \text{ см}^2/\text{с}$.

Так как диффузионный процесс в двухколбовом аппарате является нестационарным, то естественно представляет интерес поведение коэффициентов диффузии компонентов с течением времени. В качестве примера такая зависимость для наших экспериментальных данных, полученных двухколбовым методом, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Текст файла отчета с результатами вычислений для системы H_2 (1) – 0,25 CH_4 (2)+ 0,25 C_2H_6 (3) + 0,25 C_3H_8 (4) + 0,25 n- C_4H_{10} (5). $T = 298,0 \text{ K}$ и $P = 0,101 \text{ МПа}$ [12].

имя газа	концентрации компонентов, мольные доли	разность концен., мольные доли	мгновен. значения	интегр. значения
	-----доли	коэфф.	коэфф.	
	верхняя нижняя колба		диффузии, диффузии, см ² /с	
t = 0 мин				
H2	1,00000 0,00000	1,00000	0,50255	0,50255
CH4	0,00000 0,25000	-0,25000	0,56166	0,56166
C2H6	0,00000 0,25000	-0,25000	0,51130	0,51130
C3H8	0,00000 0,25000	-0,25000	0,47760	0,47760
n-C4H10	0,00000 0,25000	-0,25000	0,45965	0,45965
t = 60 мин				
H2	0,74271 0,25729	0,48541	0,50118	0,50192
CH4	0,07077 0,17923	-0,10847	0,60249	0,57987
C2H6	0,06550 0,18450	-0,11900	0,52088	0,51550
C3H8	0,06160 0,18840	-0,12680	0,46450	0,47142
n-C4H10	0,05943 0,19057	-0,13114	0,43495	0,44805
t = 120 мин				
H2	0,61811 0,38189	0,23622	0,49900	0,50104
CH4	0,10340 0,14660	-0,04320	0,68793	0,60962
C2H6	0,09725 0,15275	-0,05550	0,54099	0,52260
C3H8	0,09212 0,15788	-0,06576	0,44659	0,46370
n-C4H10	0,08912 0,16088	-0,07176	0,40081	0,43337
t = 180 мин				
H2	0,55770 0,44230	0,11541	0,49556	0,49983
CH4	0,11801 0,13199	-0,01398	0,92781	0,66754
C2H6	0,11261 0,13739	-0,02478	0,58465	0,53503
C3H8	0,10744 0,14256	-0,03513	0,42344	0,45428
n-C4H10	0,10424 0,14576	-0,04152	0,35785	0,41557

$t = 240$ мин

H2	0,52837	0,47163	0,05674	0,49017	0,49814
CH4	0,12420	0,12580	-0,00160	3,27880	0,87741
C2H6	0,11999	0,13001	-0,01001	0,69193	0,55865
C3H8	0,11527	0,13473	-0,01947	0,39566	0,44318
n-C4H10	0,11217	0,13783	-0,02567	0,30973	0,39517

$t = 300$ мин

H2	0,51409	0,48591	0,02818	0,48154	0,49573
CH4	0,12663	0,12337	0,00326	-0,52933	0,60293
C2H6	0,12350	0,12650	-0,00300	1,08220	0,61430
C3H8	0,11938	0,13062	-0,01125	0,36569	0,43071
n-C4H10	0,11649	0,13351	-0,01702	0,26160	0,37318

$t = 360$ мин

H2	0,50710	0,49290	0,01421	0,46840	0,49237
CH4	0,12726	0,12274	0,00452	-0,05515	0,46449
C2H6	0,12521	0,12479	0,00042	-3,37870	0,73907
C3H8	0,12161	0,12839	-0,00679	0,33617	0,41737
n-C4H10	0,11898	0,13102	-0,01205	0,21896	0,35100

$t = 420$ мин

H2	0,50367	0,49633	0,00733	0,44946	0,48767
CH4	0,12720	0,12280	0,00440	0,07181	0,40077
C2H6	0,12589	0,12411	0,00177	-0,31473	0,49090
C3H8	0,12287	0,12713	-0,00427	0,31032	0,40387
n-C4H10	0,12050	0,12950	-0,00900	0,18686	0,32973

$t = 480$ мин

H2	0,50195	0,49805	0,00391	0,42306	0,48133
CH4	0,12690	0,12310	0,00380	0,12622	0,36346
C2H6	0,12612	0,12388	0,00224	-0,06458	0,40916
C3H8	0,12362	0,12638	-0,00277	0,29057	0,39087
n-C4H10	0,12150	0,12850	-0,00700	0,16395	0,31035

$t = 540$ мин

H2	0,50109	0,49891	0,00218	0,38882	0,47302
CH4	0,12655	0,12345	0,00310	0,15381	0,33879
C2H6	0,12615	0,12385	0,00230	0,02020	0,36190
C3H8	0,12408	0,12592	-0,00184	0,27819	0,37896
n-C4H10	0,12220	0,12780	-0,00560	0,14843	0,29317

$t = 600$ мин

H2	0,50064	0,49936	0,00128	0,34832	0,46262
CH4	0,12623	0,12377	0,00245	0,16878	0,32112
C2H6	0,12608	0,12392	0,00216	0,05941	0,32991
C3H8	0,12438	0,12562	-0,00124	0,27365	0,36859
n-C4H10	0,12272	0,12728	-0,00455	0,13817	0,27814

$t = 660$ мин

H2	0,50040	0,49960	0,00080	0,30534	0,45027
CH4	0,12596	0,12404	0,00191	0,17700	0,30768
C2H6	0,12598	0,12402	0,00195	0,08044	0,30637
C3H8	0,12458	0,12542	-0,00083	0,27732	0,36006
n-C4H10	0,12312	0,12688	-0,00375	0,13141	0,26509

$t = 720$ мин

H2	0,50027	0,49973	0,00053	0,26464	0,43647
CH4	0,12574	0,12426	0,00148	0,18128	0,29699
C2H6	0,12586	0,12414	0,00172	0,09282	0,28810
C3H8	0,12472	0,12528	-0,00055	0,29043	0,35364
n-C4H10	0,12344	0,12656	-0,00312	0,12689	0,25375

Отметим очень важный момент в использовании ЭКД и МКМД при вычислениях диффузионных потоков компонентов в системах. В данном случае при использовании ЭКД их необходимо всего 5, а МКМД для независимых потоков – 16. Естественно, отсюда следует, что по числу необходимых коэффициентов описать многокомпонентную диффузию легче и проще, используя ЭКД, чем МКМД.

Заключение

Таким образом, вычисленные коэффициенты диффузии (ЭКД и МКМД) для диффузионных процессов природных углеводородных газовых систем в водород могут служить в качестве справочной информации в практических приложениях.

Работа выполнялась в рамках проекта Комитета Науки Министерства Образования и Науки Республики Казахстан №3482/ГФ, государственная регистрация 0115RK01033.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Айткожаев А.З., Бычков А.Г., Жаврин Ю.И. и др. Исследование диффузии в системе (водород+метан) – воздух при различных давлениях и концентрациях компонентов бинарной смеси / Каз. ун-т, НИИ ЭТФ. – Алма-Ата, 1993. – 22 с. – Деп. В КазНИИНКИ 15.01.93, № 3984. Ка-93.
- [2] Кульжанов Д.У., Сериков Т.П., Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Исследование диффузии бинарной смеси водорода с метаном в воздух // Нефть и газ. – 2001. – № 2. – С. 66-72.
- [3] Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У., Каратаева К.К. Исследование массопереноса в некоторых углеводородсодержащих газовых смесях // Теплофизика и аэромеханика. – 2001. – Т. 8, № 2. – С. 245-249.
- [4] Жаврин Ю.И., Поярков И.В., Егорова М.А., Котелевская Е.А., Торопыгина А.В. Диффузия некоторых многокомпонентных углеводородных газовых смесей в воздух // Вестник КазНУ. Сер.физ. – Алматы, 2007. – № 2(24). – С. 8-12.
- [5] Теплотехнические расчеты процессов транспорта и регазификации природных газов. Справочное пособие / Загорученко В.А., Бикчентай Р.Н., Вассерман А.А. и др. – М.: Недра, 1980. – 320 с.
- [6] Тирский Г.А. Вычисление эффективных коэффициентов диффузии в ламинарном диссоциированном многокомпонентном пограничном слое // ПММ. – 1969. – Вып. 1. – С. 180-182.
- [7] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. Описание нестационарной диффузии в многокомпонентных газовых смесях методом эффективных коэффициентов // ЖФХ. – 1975. – Т. 49, № 3. – С. 706-709.
- [8] Незовитина М.А. Зависимость коэффициентов взаимной диффузии системы метан-н-бутан от давления / М.А. Незовитина // Сб. тр. XIV МНТК «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». –2008. –Т.3. –С. 21-22.
- [9] Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Новосад З.И. Диффузия в многокомпонентных газовых смесях // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – Вып. 17. – С. 86-112.
- [10] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. Расчет эквивалентной диффузии в многокомпонентных газовых смесях методом эффективных коэффициентов // Диффузия в газах и жидкостях. – Алма-Ата: МВ и ССО КазССР, 1974. – С. 12-19.
- [11] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. и др. Расчет диффузионного процесса в двухколбовом аппарате для случая многокомпонентной газовой смеси / Каз. ун-т, НИИ ЭТФ. – Алматы, 1995. – 26 с. Деп. В КазгосИНТИ 05.07.95. № 6239. Ка-95.
- [12] Жаврин Ю.И., Жаврин В.Ю., Косов В.Н., Поярков И.В. Расчет многокомпонентного массопереноса в двухколбовом аппарате с применением языка программирования DELPHI // Вестник КазНУ. Сер.физ. – Алматы, 2006. – № 2 (22). – С. 73-79.
- [13] Новосад З.И., Косов Н.Д. Эффективные коэффициенты диффузии трехкомпонентных газовых смесей гелия, аргона и углекислого газа // ЖТФ. – 1970. – Т. 40, № 11. – С. 2368-2375.
- [14] Andrew S.P.S. A simple Method of Measuring Gaseous Diffusion Coefficient // Chem. Eng. Sci. – 1955. – V. 4. – P. 269-272.
- [15] Незовитина М.А. Зависимость коэффициентов взаимной диффузии от давления и температуры для некоторых систем газов / М.А. Незовитина // Энергетика, информатика, инновации -2013: сб. тр. МНТК. –2013. –Т.1. –С. 143-147.

Жаврин Ю.И., Молдабекова М.С., Асембаева М.К., Мукамеденкызы В., Нурмуханова А.З.

Кейбір кәмірсутекті газдар қоспасындағы сутегінің диффузия процесін зерттеу

Түйіндемe. Мақалада көпкомпонентті газ қоспасы метан, этан, пропан, н-бутан сутек үшін $T = 298,0$ К және $P = 0,101$ МПа кезіндегі эксперименттік және сандық сипаттау әдістері қарастырылды. Эффективті диффузия коэффициенттері және матрицалық коэффициенттері көпқұрамды диффузия үшін екі жағдай үшін: бірінші кезде, деректер қызметін атқарады эксперименттер және екінші жағдайда сияқты деректер, есептеулер негізінде алынған. Анықталған нәтижелерге салыстыру жүргізілді. Көпкомпонентті массатасымалдауды

сипаттау кезінде эффективті диффузия коэффициенттерін колданудың артықшылықтары көрсетілген. Ұсынылған ЭДК есептеу әдістерінің мәндері анықтамалық деректер ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: диффузиялық процесс; көпкомпонентті массатасымалдау; газ қоспасы.

Zhavrin Yu.I., Moldabekova M.S., Asembaeva M.K., Mukamedenkyzy V., Nurmukhanova A.Z.

The study of the diffusion process for mixture of certain hydrocarbon gases into hydrogen

Summary. In the article experimental and numerical methods for the description of multicomponent mass transfer of a gas mixture of methane, ethane, propane and n-butane into hydrogen at $T = 298.0$ K and $P = 0.101$ MPa are considered. The effective diffusion coefficients and matrix coefficients of multicomponent diffusion for two cases have been determined. First case, when the initial data have been experiments and second, when the same data have been obtained by calculation. A comparison of the obtained result has been carried out. The application advantages of the effective diffusion coefficients in the description of multicomponent mass transfer are shown. The calculated values of EDC by the proposed method can be used as reference data.

Key words: diffusion process; multicomponent mass transfer; gas mixture.

УДК 519.63; 519.684

А.А. Исахов, А.А. Шайбекова

(Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
e-mail: alibek.issakhov@gmail.com, aliya.shaybekova@gmail.com)

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЯ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ В ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Численно исследуется эффективность разработанных параллельных алгоритмов для моделирования обтекания препятствия сложной геометрической конфигурации в вязкой несжимаемой среде для высокопроизводительных систем. Для моделирования обтекания препятствия сложной геометрической конфигурации используется система уравнений Навье – Стокса. В статье были представлены ключевые определения и теории, связанные с увеличением вычислительной производительности посредством технологии распараллеливания MPI и минимизацией времени выполнения MPI-программы. В качестве тестовой задачи приводится программная реализация параллельного численного алгоритма решения двумерного уравнения Пуассона с использованием параллельной технологии MPI. Было проведено исследование эффективности и полученного ускорения параллельной программы для разного количества вычислительных узлов, а также оценивается коммуникационное время передачи сообщения между двумя процессорами. В настоящей статье исследованы две теории, оптимизирующие метод распараллеливания: закон Амдала и закон Густафсона-Барсиса. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с теоретическими данными, основанные на законах Амдала и Густафсона-Барсиса.

Ключевые слова: система уравнений Навье-Стокса, параллельная технология MPI, закон Амдала и закон Густафсона-Барсиса, эффективность и ускорение параллельной программы, время коммуникации.

Введение

В настоящее время использование высокопроизводительных параллельных вычислительных систем является одним из широко распространенных направлений развития информационных технологий, в связи с необходимостью ускорения работы с большим объемом данных, их обработки и анализа. Чтобы максимально ускорить процесс анализа полученных данных необходимо использование таких супер-вычислителей, как многоядерных машин, кластеров, грид-систем, а в процессах обработки, моделирования и визуализации как исходных, так и преобразованных данных используются параллельные алгоритмы.

Моделирование реальных физических задач, описываемых системами уравнений в частных производных, приводит к необходимости использования параллельных технологий. Одной из основных проблем механики является изучение течений вязкой несжимаемой среды. Задачи взаимодействия различных строительных построений с потоком воздуха широко распространены во многих областях науки (машиностроение, архитектура, медицина, промышленность, биомеханика). Особое внимание вопросу аэродинамической устойчивости построений стали уделять после некоторых несчастных происшествий, таких как обрушение всячего моста через реку Такома (США,