

УДК 536.71

**А.А. Вассерман, А.Г. Слынько**

Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029

e-mail: avas@paco.net

**ОПИСАНИЕ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ, СОДЕРЖАЩИХ РЕДКИЕ ГАЗЫ, АЗОТ ЛИБО КИСЛОРОД**

*Составлены уравнения для расчёта фазового равновесия в смесях, содержащих два редких газа либо один из них и азот или кислород. Уравнения представляют давление жидкой либо паровой фаз как функцию температуры и состава. Их коэффициенты определены по экспериментальным  $p, T, x$ - и  $p, T, y$ -данным для смесей аргон-азот при температурах 77...120 К, аргон-кислород при 80...120 К, аргон-гелий при 91...115 К, аргон-неон при 100...120 К, криптон-кислород при 95...150 К и криптон-ксенон при 150...170 К. Уравнения описывают опытные значения давлений жидкой фазы со средними квадратическими отклонениями 0,4...2,4 % и паровой фазы с отклонениями 0,5...3,8 %. Они позволяют также определять состав фаз при заданных значениях давления и температуры либо температуру фаз при заданных значениях давления и состава.*

**Ключевые слова:** Бинарные смеси. Фазовые равновесия. Гелий. Аргон. Криптон. Ксенон. Азот. Кислород. Уравнения для расчета давления.

**A.A. Vasserman, A.G. Slyn'ko****DESCRIPTION OF PHASE EQUILIBRIUM IN BINARY MIXTURES CONTAINING RARE GASES, NITROGEN OR OXYGEN**

*Equations for calculation of phase equilibrium in binary mixtures containing two rare gases or one rare gas and nitrogen or oxygen were composed. Equations describe the pressure of liquid or vapor phases as function of temperature and composition. Their coefficients were determined on the basis of experimental  $p, T, x$ - and  $p, T, y$ -data for mixtures argon-nitrogen at temperatures 77...120 K, argon-oxygen at 80...120 K, argon-helium at 91...115 K, argon-neon at 100...120 K, krypton-oxygen at 95...150 K and krypton-xenon at 150...170 K. Equations describe experimental values of pressure of liquid phase with root mean square deviations 0,4...2,4 % and of vapor phase with deviations 0,5...3,8 %. They allow also to determine composition of phases at given values of pressure and temperature or temperature of phases at given values of pressure and composition.*

**Keywords:** Binary mixtures. Phase equilibriums. Helium. Argon. Krypton. Xenon. Nitrogen. Oxygen. Equations for calculation of pressure.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Украина производит и поставляет на международный рынок значительную часть мирового потребления редких газов. Они применяются в светотехнике, электронике, сварке, востребованы также в медицине, космонавтике, лазерной технике и производстве плазменных телеэкранов. Основные источники редких газов — крупные воздухоразделительные установки, используемые в металлургии. Однако при обогащении смесей и очистке газов теряется больше половины продуктов, поэтому необходимо разработать новые эффективные технологии получения редких га-

зов. Для этого требуются надёжные данные о фазовом равновесии в смесях, содержащих редкие газы.

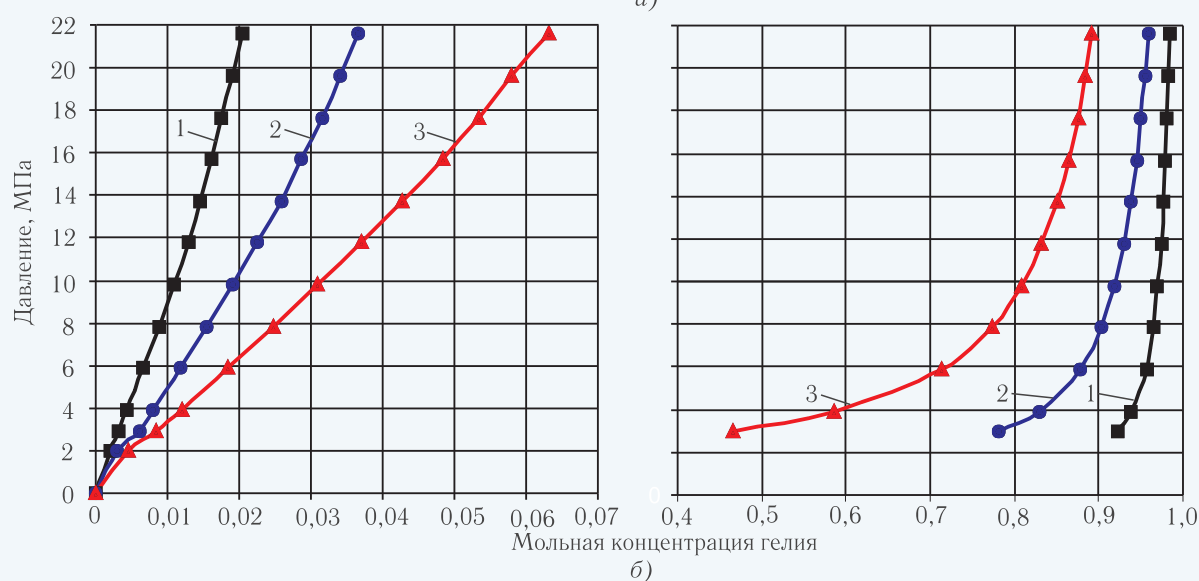
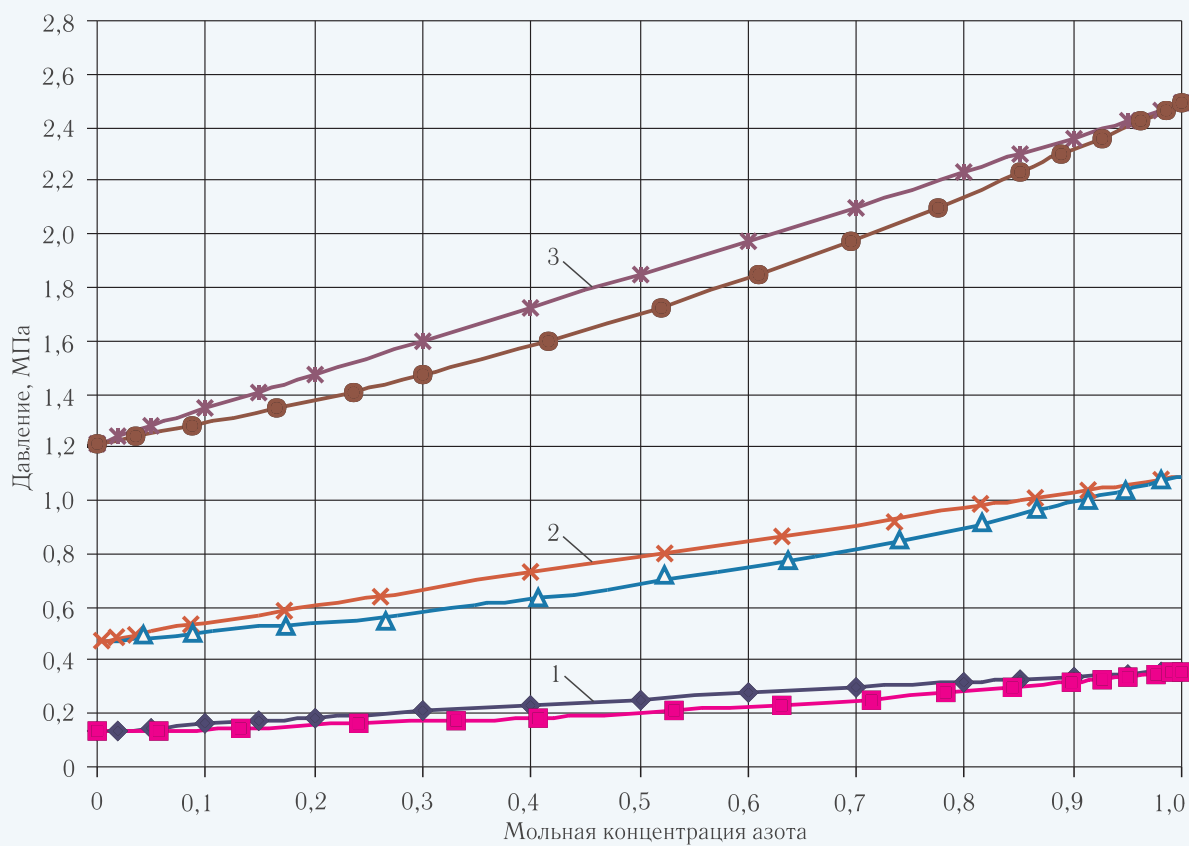
Равновесие жидкость-пар в смесях азот-аргон, кислород-аргон, азот-кислород-аргон изучали многие авторы. В частности, Г.Б. Наринский [1,2] получил экспериментальные данные и составил уравнения для расчёта давления сосуществующих фаз, а также рассчитал таблицы и построил диаграммы равновесия жидкость-пар для указанных смесей (и естественно для смеси азот-кислород). Часть этих надёжных данных приведена в ряде монографий и справочников [3-6].

Для смесей других редких газов между собой, а также с азотом либо кислородом (за исключением

смеси азот-гелий) данные о фазовом равновесии менее подробны, а уравнения для расчёта равновесия фаз в большинстве случаев отсутствуют. Такие уравнения необходимы при многовариантных расчётах с помощью ЭВМ процессов разделения смесей. Поэтому в настоящей работе выполнено аналитическое описание экспериментальных данных о фазовом равновесии в бинарных смесях, содержащих два редких газа либо один из них и азот либо кислород.

## 2. УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ В СМЕСЯХ

Зависимость давления сосуществующих фаз бинарной смеси от состава и температуры имеет сложный характер. К тому же она различна для случая, когда температура смеси ниже критических температур обоих компонентов, и для случая, когда она выше критической температуры низкокипящего компонен-



**Рис. 1.** Диаграммы равновесия жидкость-пар в системах аргон-азот (а) и аргон-гелий (б): а) 1 —  $T=90\text{ K}$ ; 2 —  $T=105\text{ K}$ ; 3 —  $T=120\text{ K}$ ; б) 1 —  $T=90,67\text{ K}$ ; 2 —  $T=102,95\text{ K}$ ; 3 —  $T=115,09\text{ K}$

**Таблица 1.** Данные, использованные при составлении уравнений для расчёта фазового равновесия жидкость-пар в смесях редких газов

Смесь	Год	Автор и источник	Колич. точек	Интервал параметров			
				T, К	p, МПа	x	y
Ar-N <sub>2</sub>	1967	Наринский [1]	142	77...120	0,05...2,46	0,02...0,98	0,04...0,99
Ar-O <sub>2</sub>	1967	Наринский [1]	131	80...120	0,03...1,21	0,02...0,98	0,03...0,98
Ar-He	1978	Скрипка [7]	63*	91...115	1,96...21,6	0,002...0,06	0,46...0,98
Ar-Ne	1978	Скрипка [7]	31 <sup>+</sup>	100...120	0,98...10,8	0,01...0,15	0,54...0,90
Kr-O <sub>2</sub>	1956	Фастовский [8]	60	95...150	0,15...0,69	0,01...0,90	0,07...0,99
Kr-Xe	1977	Мастера [9]	32	150...170	0,15...1,06	0,04...0,67	0,41...0,96

**Примечание:** \*) Для паровой фазы — 60 точек в интервале 2,94...21,6 МПа; <sup>+</sup>) Для паровой фазы — 23 точки в интервале 3,92...10,8 МПа.

та. Это иллюстрирует рис. 1, на котором представлены изотермы смесей аргон-азот по данным Г.Б. Наринского [1] и аргон-гелий по данным В.Г. Скрипки и Н.Н. Лобановой [7]. Для смеси аргон-азот характерен умеренный рост давления с повышением концентрации низкокипящего компонента, а для смеси аргон-гелий — чрезвычайно резкий рост давления.

Отмеченные обстоятельства существенно усложняют задачу выбора эффективной формы уравнения для аналитического описания экспериментальных данных о фазовом равновесии конкретной смеси. Не случайно Г.Б. Наринский в работе [1] аппроксимировал зависимость  $p=f(T)$  отдельно для каждого состава исследованных им смесей и полученные коэффициенты представил в таблицах, а в монографии [2] при аппроксимации своих данных составил самостоятельные уравнения для трёх интервалов температуры.

Уравнения для расчёта давления жидкости и пара в состоянии фазового равновесия в бинарных смесях редких газов составлены нами на основании данных, перечисленных в табл. 1. Эти уравнения имеют форму

**Таблица 2.** Коэффициенты  $N'_k$  и  $N''_k$  уравнений (1) и (2) для расчёта давления жидкости и пара при фазовом равновесии в бинарных смесях

k	$N'_k$	$i_k$	$j_k$	$N''_k$	$i_k$	$j_k$	$N'_k$	$i_k$	$j_k$	$N''_k$	$i_k$	$j_k$
	Смесь Ar-N <sub>2</sub>						Смесь Ar-O <sub>2</sub>					
1	$5,0615 \cdot 10^1$	0,5	-1	$6,7688 \cdot 10^1$	0,5	-1	$8,6096 \cdot 10^1$	0,5	-1	$6,8045 \cdot 10^1$	0,5	-1
2	$-1,7968 \cdot 10^{-1}$	0,5	0	$-1,7664 \cdot 10^0$	0,5	0	$-1,3838 \cdot 10^0$	0,5	0	$-1,1620 \cdot 10^0$	0,5	0
3	$-1,7833 \cdot 10^{-3}$	0,5	1	$-1,0512 \cdot 10^{-2}$	0,5	1	$5,3629 \cdot 10^{-3}$	0,5	1	$4,1209 \cdot 10^{-3}$	0,5	1
4	$1,0644 \cdot 10^2$	1	-1	$6,6933 \cdot 10^1$	1	-1	$3,8723 \cdot 10^{-1}$	1	0	$4,9057 \cdot 10^{-1}$	1	0
5	$-2,2630 \cdot 10^{-1}$	2	0,5	$1,9309 \cdot 10^{-1}$	2	0,5	$-1,6309 \cdot 10^{-3}$	2	1	$-1,8164 \cdot 10^{-3}$	2	1
6	$1,9123 \cdot 10^{-2}$	2	1	$-1,6763 \cdot 10^{-2}$	2	1						
Смесь Ar-He						Смесь Ar-Ne						
1	$4,8029 \cdot 10^3$	0,2	-1	$4,6412 \cdot 10^2$	1	-1	$6,5931 \cdot 10^1$	0,1	-1	$1,9108 \cdot 10^4$	1	-1
2	$-5,0326 \cdot 10^1$	0,2	0	$1,6396 \cdot 10^0$	1	0	$-9,9883 \cdot 10^0$	0,1	0	$-2,9803 \cdot 10^2$	1	0
3	$5,0621 \cdot 10^{-3}$	0,2	1	$-2,6404 \cdot 10^{-2}$	1	1	$1,9960 \cdot 10^{-2}$	0,1	1	$1,1698 \cdot 10^0$	1	1
4	$-2,3824 \cdot 10^3$	0,4	-1	$-1,4930 \cdot 10^3$	4	-1	$1,5646 \cdot 10^3$	0,2	-1	$-8,7314 \cdot 10^3$	4	-1
5	$5,5842 \cdot 10^0$	0,4	0,5	$1,0536 \cdot 10^0$	4	0,5	$-1,6619 \cdot 10^{-2}$	0,4	1	$6,9344 \cdot 10^0$	4	0,5
6	$-2,3756 \cdot 10^{-1}$	0,6	1	$4,0567 \cdot 10^{-1}$	7	0,5				$2,2165 \cdot 10^{-1}$	12	1
7				$1,9248 \cdot 10^3$	14	-1						
8				$-1,7182 \cdot 10^1$	14	0						
Смесь Kr-O <sub>2</sub>						Смесь Kr-Xe						
1	$3,9585 \cdot 10^2$	0,5	-1	$1,7369 \cdot 10^3$	1	-1	$6,1856 \cdot 10^3$	1	-1	$2,8903 \cdot 10^3$	2	-1
2	$1,9567 \cdot 10^0$	0,5	0	$-3,3596 \cdot 10^1$	1	0	$-3,8159 \cdot 10^1$	1	0	$-3,0170 \cdot 10^1$	2	0
3	$-3,1852 \cdot 10^{-1}$	0,5	0,5	$1,8748 \cdot 10^0$	1	0,5	$9,1538 \cdot 10^{-2}$	1	1	$9,4073 \cdot 10^{-2}$	2	1
4	$-3,5569 \cdot 10^1$	1	-1	$-1,0122 \cdot 10^3$	3	-1	$-3,9109 \cdot 10^3$	1,5	-1	$-2,4881 \cdot 10^2$	4	-1
5	$1,9509 \cdot 10^{-2}$	1	1	$6,9057 \cdot 10^{-1}$	3	0,5	$1,2405 \cdot 10^1$	2	0	$1,3103 \cdot 10^0$	8	0
6	$-1,5179 \cdot 10^0$	1,5	0	$1,2299 \cdot 10^1$	5	0						
7				$-8,7930 \cdot 10^{-2}$	5	1						

$$\ln p' = \ln p'_{\min} + \sum_{k=1}^m N'_k x^{ik} T^{jk}; \quad (1)$$

$$\ln p'' = \ln p''_{\min} + \sum_{k=1}^n N''_k y^{ik} T^{jk}, \quad (2)$$

где  $p'$  и  $p''$  — давления жидкости и пара в состоянии фазового равновесия;  $p_{\min}$  — давление высококипящего компонента смеси;  $x$  и  $y$  — мольная концентрация низкокипящего компонента в жидкой и паровой фазах;  $T$  — абсолютная температура;  $N'_k$  и  $N''_k$  — коэффициенты уравнений.

Принятая нами форма уравнений удовлетворяет предельному условию:  $p=p_{\min}$  при  $x=0$  и  $y=0$ . При выборе степеней температуры учитывалось, что зависимость логарифма давления на кривых начала кипения и конденсации для смеси постоянного состава от величины  $1/T$  в широком интервале изменения температуры (за исключением критической области) близка к линейной. Для чистого вещества при низких и умеренных давлениях такая зависимость может быть обоснована с помощью известного уравнения Клапейрона-Клаузиуса для теплоты парообразования.

Коэффициенты уравнений (1) и (2), приведенные в табл. 2, определены методом сингулярного разложения [10]. Вес значений  $\ln p$  принимался одинаковым, что обеспечивало одинаковую относительную погрешность аппроксимации данных о давлении. Значения давлений  $p_{\min}$  рассчитывались по точным уравнениям кривых парообразования компонентов, приведенным в монографиях [11, 12]. При аналитическом описании данных [1, 8] для смесей Ar-N<sub>2</sub>, Ar-O<sub>2</sub> и Kr-O<sub>2</sub> для более точного удовлетворения второму предельному условию ( $p=p_{\max}$  при  $x=1$  и  $y=1$ ) принимались значения давления низкокипящего компонента  $p_{\max}$  при заданных температурах, рассчитанные по указанным уравнениям.

Для оценки точности составленных уравнений выполнено подробное сравнение рассчитанных по ним значений давления насыщенных жидкости  $p'$  и пара  $p''$  с данными, использованными при составлении уравнений. В табл. 3 представлены средние квадратические относительные отклонения  $\delta p'$  и  $\delta p''$  исходных данных от расчётных. Из таблицы видно вполне удовлетворительное согласование обеих групп данных. Средние квадратические отклонения значений давления аргона, кислорода и азота при  $x=1$  от рассчитанных по уравнениям для смесей Ar-O<sub>2</sub> и Kr-O<sub>2</sub> лежат в пределах 0,04...0,50 %, а для смеси Ar-N<sub>2</sub> — в пределах 0,81...1,02 %.

Расчёты показали, что точность аналитиче-

ского описания экспериментальных данных о фазовом равновесии в смеси зависит как от точности этих данных, так и от соотношения температур характерных точек на кривых парообразования компонентов. Так, сглаженные экспериментальные данные Г.Б. Наринского [1] для смеси Ar-O<sub>2</sub>, компоненты которой имеют близкие значения температуры нормального кипения и критической, аппроксимированы с высокой точностью ( $\delta p'=0,38$  %,  $\delta p''=0,49$  %). В то же время для данных Мастера [9] по смеси Kr-Xe, которым свойственны разброс и большие различия температур в характерных точках, значения  $\delta p'$  и  $\delta p''$  существенно выше, чем для данных [1], и составляют 2,36 % и 3,03 % соответственно.

Сравнительно высокие отклонения  $\delta p'$  для данных В.Г. Скрипки и Н.Н. Лобановой [7] по смесям Ar-He и Ar-Ne (3,3 и 3,8 %) обусловлены крутым ходом изотерм в координатах давление-состав (рис. 1), в связи с чем малой погрешности по составу соответствует большая погрешность по давлению.

На рис. 2 представлены гистограммы отклонений опытных значений давления жидкости и пара от рассчитанных по уравнениям фазового равновесия для смесей аргон-азот и аргон-кислород. Распределение отклонений достаточно близко к нормальному. На гистограммах показаны средние квадратические отклонения исходных значений давления от расчётных для соответствующих массивов данных.

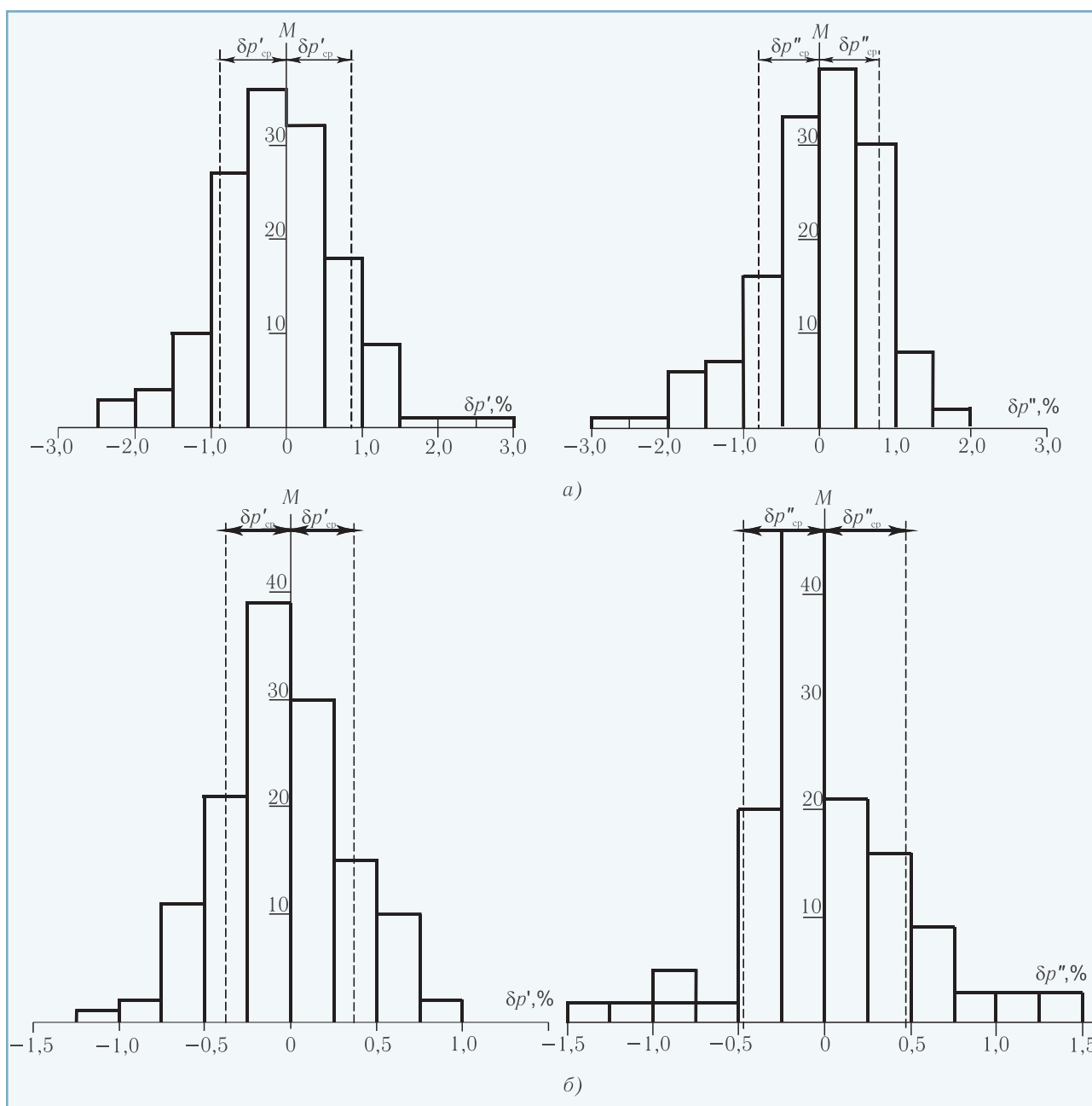
Уравнения (1) и (2) позволяют определять состав фаз при заданных значениях давления и температуры смеси и температуру фаз при заданных значениях давления и состава известными машинными методами математических вычислений [10]. Проведенные с помощью программы ZEROIN по данным, перечисленным в табл. 1, расчёты состава и температуры сосуществующих фаз показали хорошее согласование рассчитанных значений  $x$ ,  $y$ ,  $T'$  и  $T''$  с опытными данными. Это подтверждают приведенные в табл. 3 средние квадратические абсолютные отклонения  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta T'$  и  $\Delta T''$  опытных данных от расчётных.

Как видно из табл. 3, для смесей аргон-гелий и аргон-неон, несмотря на сравнительно большие от-

**Таблица 3.** Средние квадратические относительные и абсолютные отклонения  $\delta p'$ ,  $\delta p''$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta T'$  и  $\Delta T''$  опытных значений давления, состава и температуры от рассчитанных

Смесь	Год	Автор и источник	Колич. точек	$\delta p'$ , %	$\delta p''$ , %	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta T'$ , К	$\Delta T''$ , К
Ar-N <sub>2</sub>	1967	Наринский [1]	142	0,84	0,79	0,0091	0,0082	0,103	0,095
Ar-O <sub>2</sub>	1967	Наринский [1]	131	0,38	0,49	0,0169	0,0190	0,044	0,064
Ar-He	1978	Скрипка [7]	63*	2,19	3,30	0,0003	0,0028	0,603	0,364
Ar-Ne	1978	Скрипка [7]	31+	1,73	3,81	0,0010	0,0026	1,095*	0,264
Kr-O <sub>2</sub>	1956	Фастовский [8]	60	2,41	2,67	0,0097	0,0113	0,473	0,499
Kr-Xe	1977	Мастера [9]	32	2,36	3,03	0,0107	0,0072	0,605	0,665

**Примечание:** \*) Для паровой фазы — 60 точек в интервале 2,94...21,6 МПа. †) Для паровой фазы — 23 точки в интервале 3,92...10,8 МПа. ‡) За исключением 12 точек при давлениях 2,94...5,88 МПа, где изотермы по данным [7] пересекаются, в связи с чем температура по уравнению (1) определяется неточно.



**Рис. 2.** Гистограммы отклонений экспериментальных значений давления жидкости и пара [1] от рассчитанных по уравнениям (1) и (2) для смесей: а — аргон-азот; б — аргон-кислород

клонения по давлению, точность определения состава оказалась наиболее высокой. Это объясняется большой крутизной изотерм указанных смесей в координатах давление-состав.

Заметим, что для смесей аргон-азот и аргон-кислород, у которых давление на изотермах в зависимости от состава возрастает умеренно, температура по уравнениям (1) и (2) определяется более точно. Для остальных смесей точность определения температуры ниже, поэтому для них при необходимости следует составлять отдельные уравнения, описывающие зависимость температуры от давления и состава.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании экспериментальных  $p, T, x$ - и

$p, T, y$ -данных для бинарных смесей аргон-азот при температурах 77...120 К, аргон-кислород при 80...120 К, аргон-гелий при 91...115 К, аргон-неон при 100...120 К, криптон-кислород при 95...150 К и криптон-ксенон при 150...170 К составлены уравнения для расчёта давления жидкости и пара в состоянии фазового равновесия. Уравнения отображают зависимость давления сосуществующих фаз от температуры и состава смеси. Они описывают опытные значения давления жидкой фазы со средними квадратическими отклонениями 0,4...2,4 % и паровой фазы с отклонениями 0,5...3,8 %, т.е. с приемлемой для практики точностью.

Уравнения позволяют также определять состав фаз при заданных значениях температуры и давления либо температуру фаз при заданных значениях

давления и состава. Они могут быть полезны при разработке новых технологий получения редких газов и при расчётах с помощью ЭВМ процессов разделения смесей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наринский Г.Б. Равновесие жидкость-пар в системах кислород-азот, кислород-аргон и аргон-азот// Труды ВНИИКИ-МАШ. — М.: Машиностроение, 1967. — № 11. — С.3-45.
2. Наринский Г.Б. Ректификация воздуха. — М.: Машиностроение, 1978. — 248 с.
3. Фастовский В.Г., Ровинский А.Е., Петровский Ю.В. Инертные газы. — М.: Атомиздат, 1972. — 360 с.
4. Головкин Г.А. Криогенное производство инертных газов. — Л.: Машиностроение, 1983. — 416 с.
5. Справочник по физико-техническим основам криогеники// М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков; под ред. М.П. Малкова. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 432 с.
6. Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М. Криогенные технологии извлечения редких газов. — Одесса: ПО «Издательский центр», 2009. — 232 с.
7. Скрипка В.Г., Лобанова Н.Н. Экспериментальное исследование растворимости гелия и неона в жидких кислороде, азоте и аргоне// Труды ВНИИКРИОГЕНМАШ. — М.: Машиностроение, 1978. — № 13. — С.90-103.
8. Фастовский В.Г., Петровский Ю.В. Исследование равновесия жидкости и пара в системе  $O_2$ -Kr// Журнал физической химии. — 1956. — Т. 30. — № 3. — С. 589-592.
9. Mاستера S.-G. J. Dampf-Fluessig-Gleichgewichtsdaten der Systeme Ar-N<sub>2</sub>, Kr-Ar, Kr-N<sub>2</sub> und Xe-Kr sowie Loslichkeitsgrenzen des festen Xenons und des festen Kryptons in fluessigen Lueftkomponenten// Berichten Kernforschungsanlage Julich GmbH. — 1977. — V.114. — S.1380-1437.
10. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. — М.: Мир, 1980. — 280 с.
11. Вассерман А.А., Казавчинский Я.З., Рабинович В.А. Теплофизические свойства воздуха и его компонентов. — М.: Наука, 1966. — 348 с.
12. Теплофизические свойства неона, аргона, криптона и ксенона// В.А. Рабинович, А.А. Вассерман, В.И. Недоступ, Л.С. Векслер; под ред. В.А. Рабиновича. — М.: Изд. стандартов, 1976. — 560 с.

ВСЕ О НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗАХ И ПРОДУКТАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА — В ОДНОМ ЖУРНАЛЕ!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# “ТЕХНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ”

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ — УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ “УА-СИГМА”  
СОУЧРЕДИТЕЛЬ — ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА  
ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН В МИНИСТЕРСТВЕ ЮСТИЦИИ УКРАИНЫ —  
СВИДЕТЕЛЬСТВО КВ № 16526-4998ПР ОТ 19.04.2010 Г.  
С 2005 Г. — ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ ВАК УКРАИНЫ.  
ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗДАНИЯ — 6 ВЫПУСКОВ В ГОД.  
ОБЪЕМ КАЖДОГО ВЫПУСКА — 72 СТР.  
ПУБЛИКУЕМЫЕ СТАТЬИ РЕФЕРИРУЮТСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЖУРНАЛАХ  
И БАЗАХ ДАННЫХ ВАНИТИ РАН (Г. МОСКВА)

ЖУРНАЛ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СОЗДАНИЕМ,  
ИЗГОТОВЛЕНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ХОЛОДИЛЬНЫХ И КРИОГЕННЫХ УСТАНОВОК,  
СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ (ГЕЛИЯ, ВОДОРОДА,  
ОКСИДА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА, СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И ДР.),  
ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА, А ТАКЖЕ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ И СТУДЕНТОВ

## РУБРИКИ ЖУРНАЛА

- ПРОБЛЕМЫ КРИОГЕННОГО, КИСЛОРОДНОГО, КОМПРЕССОРНОГО И УГЛЕКИСЛОТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
- ПРОЦЕССЫ ЦИКЛЫ, СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ И КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ
- УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА, КОМПРИМИРОВАННОГО И СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА, ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ДР. ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ
- ТЕХНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ
- ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ И ИХ СМЕСЕЙ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ
- ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ
- ПРАКТИКА. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ

Приглашаем к сотрудничеству производителей, учёных, аспирантов и докторантов

Для оформления подписки и размещения рекламы нужно связаться с редакцией журнала по телефону или e-mail.

Адрес редакции: а/я 188, г. Одесса-26, Украина, 65026

Тел./факс: +380 (48) 777-00-87; e-mail: uasigma@paco.net; web: www.uasigma.odessa.ua