



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2006139839/28, 14.11.2006**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**14.11.2006**(45) Опубликовано: **20.05.2008 Бюл. № 14**(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **SU 868507 A, 30.09.1981. SU 1226229 A,  
23.04.1986. SU 1753382 A1, 07.08.1992. DE  
102004051972 B3, 03.08.2006.**Адрес для переписки:  
**121433, Москва, ул. Звенигородская, 8,  
корп.2, кв.45, М.Ю. Савинову**

(72) Автор(ы):

**Савинов Михаил Юрьевич (RU),  
Позняк Владимир Емельянович (RU),  
Колпаков Михаил Юрьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Савинов Михаил Юрьевич (RU)**

## (54) СПОСОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРОВИДКОСТНОГО РАВНОВЕСИЯ

(57) Реферат:

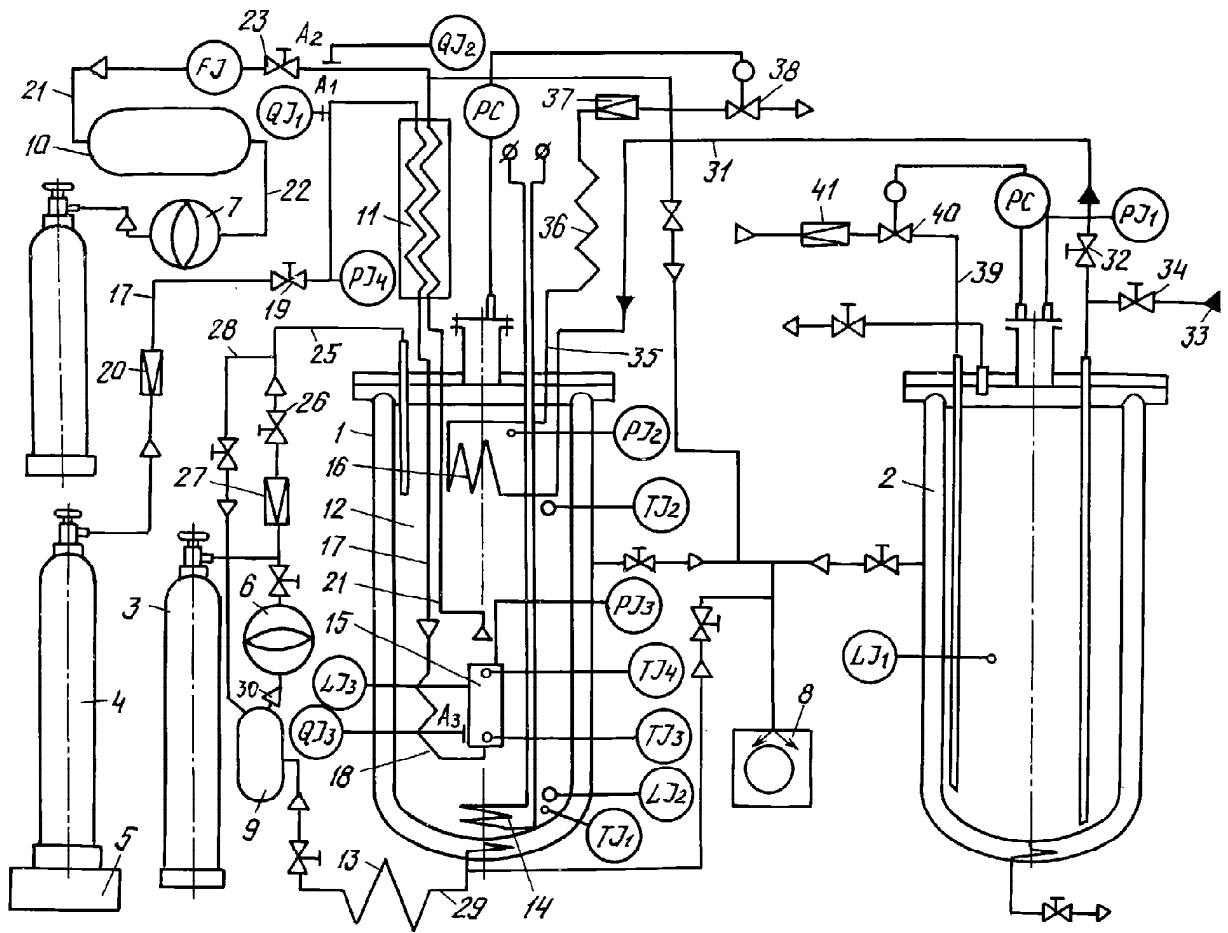
Изобретение относится к криогенной технике. Термостатирование сосуда равновесия с находящимися внутри жидкой и паровой фазами исследуемой смеси осуществляют в замкнутой полости, заполняемой неизменной в опыте массой кипящего теплоносителя. Требуемую температуру теплоносителя поддерживают (или изменяют) изменением тепловой мощности размещенных в этой же замкнутой полости испарителя и/или конденсатора, охлаждаемого хладоагентом. Для

взаимодействия с жидкой фазой паровую фазу постоянного и известного состава в сосуд равновесия подают прямококом, а наступление паровидкостного равновесия определяют по достижению равенства молярного состава смеси на выходе из сосуда равновесия составу подаваемой смеси. Технический результат - повышение точности экспериментальных данных о фазовом равновесии при низких температурах, сокращение времени проведения опыта и уменьшение потребности в хладоагенте. 1 ил.

RU 2 3 2 4 9 2 4 C 1

RU 2 3 2 4 9 2 4 C 1

RU 2324924 C1



RU 2324924 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006139839/28, 14.11.2006**

(24) Effective date for property rights: **14.11.2006**

(45) Date of publication: **20.05.2008 Bull. 14**

Mail address:  
**121433, Moskva, ul. Zvenigorodskaja, 8,  
korp.2, kv.45, M.Ju. Savinovu**

(72) Inventor(s):  
**Savinov Mikhail Jur'evich (RU),  
Poznjak Vladimir Emelj'janovich (RU),  
Kolpakov Mikhail Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**Savinov Mikhail Jur'evich (RU)**

(54) **METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF VAPOUR LIQUID EQUILIBRIUM**

(57) Abstract:

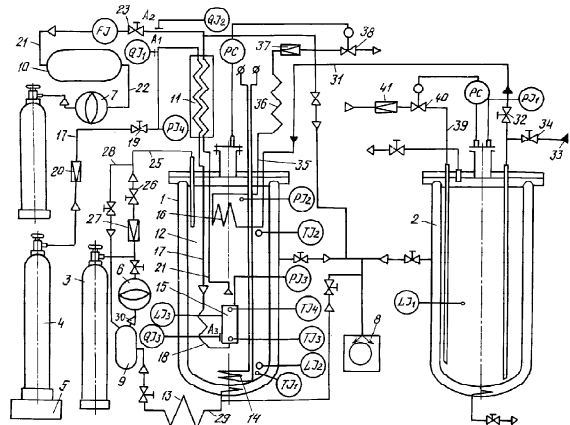
FIELD: cryogenic equipment.

SUBSTANCE: equilibrium vessel with liquid and vapour phases of the mixture under research is placed into a closed cavity filled with boiling heating medium with a weight constant throughout the experiment in order to maintain constant temperature of the vessel. The required temperature of the heating medium is maintained (or changed) by changing the heating power of an evaporator and/or a condenser cooled with coolant, which are placed in the same closed cavity. For interaction with the liquid phase, the vapour phase of a constant known composition is applied to the equilibrium vessel in a direct flow, and the vapour liquid equilibrium is considered attained when the molar percentages of the mixture at the equilibrium vessel output and the applied mixture become equal.

EFFECT: increase in accuracy of experimental

data about phase equilibrium at low temperatures, decrease in time required for experiment, and decrease in coolant quantity required.

1 dwg  
rsid3350642 1 dwg



RU 2 3 2 4 9 2 4 C 1

RU 2 3 2 4 9 2 4 C 1

Известен способ исследования парожидкостного равновесия в системе кислород-аргон-азот (см. Г.Б.Наринский. Установка для исследования равновесия жидкость-пар в системе кислород-аргон-азот. Журнал физической химии, т. XXXIX, №8, 1965 г., стр.2009-2014).

Согласно известному способу приготовленную для исследования смесь в газообразном виде в необходимом количестве подают в сосуд равновесия, помещенный в криостат с жидким хладагентом, где ее конденсируют, устанавливая и поддерживают требуемую температуру конденсата путем регулирования давления хладагента, выпуская образовавшиеся при испарении пары хладагента в атмосферу. Затем приготовленной смесью заполняют циркуляционный контур, который кроме сосуда равновесия включает рекуперативный теплообменник, ресивер, побудитель расхода (насос) и трубопроводы, снабженные отсечными и регулирующими клапанами, и включают побудитель расхода, обеспечивая циркуляцию пара по контуру и ее контакт с жидкой фазой в сосуде равновесия. При этом о достижении состояния парожидкостного равновесия судят по изменению температуры и давления, а также по времени работы циркуляционного контура, которое определяют в дополнительных тарировочных опытах.

Недостатком известного способа является низкая точность полученных результатов. Во-первых, во время проведения опыта не достигаются стационарные условия, так как при выпаривании жидкого хладагента в криостате изменяется высота заглубления сосуда равновесия в жидком хладагенте, что приводит к изменению гидростатического давления в зоне расположения сосуда равновесия, изменению температуры хладагента, изменению теплоотдачи от сосуда равновесия к хладагенту и температуры рабочей среды в сосуде равновесия. Во-вторых, достижение парожидкостного равновесия в части постоянства содержания компонентов смеси в жидкой и паровой фазах констатируют по косвенному признаку - времени циркуляции, которое определяют к тому же в дополнительных опытах, требующих материальных и временных затрат.

Целью изобретения является получение достоверных данных о парожидкостном равновесии, особенно в области разбавленных растворов, и сокращение времени проведения экспериментов (опытов).

Поставленная цель достигается тем, что в способе экспериментального исследования парожидкостного равновесия смеси, включающем получение в сосуде равновесия жидкой и паровой фаз, его термостатирование с использованием хладагента, определение в каждой фазе молярного содержания компонентов, отличительной особенностью является то, что сосуд равновесия помещают в замкнутую полость, дополнительно содержащую испаритель и конденсатор, заполняемую неизменной во время эксперимента массой кипящего теплоносителя, при термостатировании поддерживают постоянное давление (температуру) теплоносителя, а изменение давления (температуры) теплоносителя осуществляют изменением тепловой мощности испарителя и/или конденсатора, охлаждаемого хладагентом, прямоотком выполняют подачу в сосуд равновесия смеси с постоянным заранее известным молярным содержанием компонентов, при этом во время эксперимента измеряют молярное содержание компонентов в газе на выходе из сосуда равновесия, наступление парожидкостного равновесия определяют по достижению равенства молярного содержания компонентов газа на выходе из сосуда равновесия молярному содержанию компонентов в подаваемой смеси, а перед измерением состава жидкой фазы осуществляют кратковременную продувку аналитического и всех импульсных трубопроводов, выходящих из сосуда равновесия.

Заявленный способ экспериментального исследования парожидкостного равновесия может быть реализован, например, в устройстве, схематично показанном на чертеже, на примере исследования парожидкостного равновесия смеси ксенон (Xe) - гексафторэтан ( $C_2F_6$ ).

Устройство (стенд) содержит криостат 1 с многослойной экранно-вакуумной изоляцией, емкость 2 хладагента, баллон (рампу с баллонами) 3 теплоносителя, баллон (рампу с баллонами) 4 исследуемой смеси, установленной на весы 5, побудители расхода 6, 7, вакуумный насос 8, сборники газа 9, 10, теплообменники 11, 13, 36, соединенные

трубопроводами, снабженные регулирующей и запорной арматурой. Во внутреннюю полость 12 криостата 1 в нижней части установлены испаритель 14 и сосуд равновесия 15, а в верхней части - конденсатор 16.

5 Сосуд равновесия 15 линией 17 прямого потока смеси через погружной теплообменник 18, теплообменник 11, клапан 19, регулятор давления 20 соединен с баллоном 4 исследуемой смеси, а линией 21 обратного потока смеси через теплообменник 11, регулирующий клапан 23, расходомер FJ - со сборником газа 10 и далее линией 22 через побудитель расхода 7 - с баллоном (рампой с баллонами) 24. Линия 17 прямого потока смеси, линия 21 обратного потока смеси и сосуд равновесия 15 в нижней части снабжены  
10 соответственно пробоотборниками A1, A2, A3. Внутренняя полость 12 в верхней части линией 25 подачи теплоносителя через регулирующий клапан 26 и регулятор давления 27 соединена с баллоном 3 теплоносителя, а линией 28, снабженной клапаном, - со сборником газа 9. Нижняя часть внутренней полости 12 линией 29 через теплообменник 13 также соединена со сборником газа 9 и далее линией 30 через побудитель расхода 6 - с  
15 баллоном 3 теплоносителя.

Входной штуцер конденсатора 16 линией 31 подачи хладагента через клапан 32 соединен с емкостью 2 хладагента, которая в свою очередь линией 33 заправки хладагента через клапан 34 соединена с хранилищем хладагента (на схеме не показан). Выходной штуцер конденсатора 16 линией 35 через змеевик воздушного теплообменника  
20 36, регулятор давления 37 и регулирующий клапан 38 соединен с выходом из устройства. Емкость 2 хладагента линией 39 подачи газообразного хладагента через регулирующий клапан 40, регулятор давления 41 соединена с источником газообразного хладагента высокого давления (на схеме не показан). Устройство оснащено приборами для измерения расхода FJ, давления  $P_{J1} \div P_{J1}$ , уровня  $L_{J1} \div L_{J3}$ , температуры  $T_{J1} \div T_{J4}$ , состава  $Q_{J1} \div Q_{J3}$ .

25 Заявляемый способ экспериментального исследования равновесия осуществляют следующим образом. По линии 33 заправки хладагента из хранилища через клапан 34 заполняют по показаниям уровнемера  $L_{J1}$  емкость хладагента 2 требуемым количеством жидкого хладагента, например жидкого азота. Подавая в емкость хладагента 2 по линии  
30 39 через регулятор давления 41 и регулирующий клапан 40 газообразный хладагент (например, газообразный азот), по манометру  $P_{J1}$  устанавливают, а затем регулирующим клапаном 40 автоматически поддерживают в емкости хладагента необходимое давление. В предварительно откачанные вакуумным насосом 8 до глубокого вакуума внутреннюю полость 12 криостата 1 и линию 25 подачи теплоносителя из баллона 3 подают  
35 теплоноситель, например криптон, устанавливая регулятором давления 27 по манометру  $P_{J2}$  во внутренней полости 12 требуемое давление. Открывая клапан 32 на линии 31 подачи хладагента, в конденсатор 16 подают жидкий хладагент, который, испаряясь за счет конденсации теплоносителя и нагреваясь в змеевике воздушного теплообменника 36 по линии 35, через регулятор давления 37 и регулирующий клапан 38 выходит из устройства. При накоплении по уровнемеру  $L_{J2}$  в нижней части внутренней полости 12  
40 жидкого теплоносителя, достаточного для полного погружения в него сосуда равновесия 15, клапан 26 закрывают и полость 12 после этого становится замкнутой, а количество теплоносителя, находящегося в ней, неизменным. Дальнейшее изменение давления теплоносителя и связанную с ним температуру термостатирования, измеряемую при помощи термопреобразователей  $T_{J1}$  - в жидкой и  $T_{J2}$  - в паровой фазах теплоносителя,  
45 можно менять тепловой мощностью испарителя 14 и/или тепловой мощностью конденсатора 16. При этом минимальное значение тепловой мощности испарителя устанавливают такое, чтобы на теплообменной поверхности испарителя достичь режима пузырькового кипения, при котором обеспечивается хорошее перемешивание теплоносителя. В качестве испарителя может быть использован, например,  
50 тепловыделяющий электрический нагреватель. После установления во внутренней полости 12 требуемого давления в дальнейшем давление поддерживают автоматически преимущественно регулирующим клапаном 38 путем изменения расхода хладагента и тепловой мощности конденсатора 16.

Исследуемую смесь в сосуд равновесия 15 подают по предварительно вакуумированной линии 17 из баллона 4. Вначале при закрытом клапане 23 в сосуде равновесия конденсируют необходимое количество смеси, устанавливая регулятором давления 20 по манометру  $PJ_3$  в сосуде равновесия такое давление, при котором температура насыщения смеси несколько превышала бы (например, на 4-6 К) температуру теплоносителя, определяемую по прибору  $TJ_1$ . При накоплении в сосуде равновесия необходимого количества жидкой фазы, определяемого по уровнемеру  $LJ_3$ , клапан 19 закрывают, а в сосуде равновесия путем изменения давления (и температуры) теплоносителя устанавливают давление, которое требуется в соответствии с планом экспериментов. Затем регулятором давления 20 перед клапаном 19 по манометру  $PJ_4$  устанавливают давление смеси, равное давлению  $PJ_3$  в сосуде равновесия, открывают клапан 19 и регулирующим клапаном 23 по расходомеру  $FJ$  устанавливают требуемый расход смеси. По весам 5 контролируют массу смеси в баллоне. Из баллона 4 исследуемую смесь по линии 17 прямого потока смеси через регулятор давления 20, запорный клапан 19 направляют в теплообменник 11, где охлаждают обратным потоком смеси, доохлаждают в погружном теплообменнике 18 и уже в виде пара подают в нижнюю часть сосуда равновесия 15. В сосуде равновесия паровую фазу взаимодействуют с жидкой фазой, сепарируют от капельной влаги, а затем отводят из верхней части сосуда равновесия в линию 21 обратного потока смеси, нагревают в теплообменнике 11 за счет охлаждения прямого потока и после измерения мольного содержания компонентов смеси, отбираемой для анализа из пробоотборника  $A2$  в газоанализатор  $QJ_2$ , через регулирующийся клапан 23 направляют в сборник газа 10. Из сборника газа 10 побудителем расхода 7 по линии 22 смесь может быть закачана в баллон 24 для последующего использования.

В сосуде равновесия 15 взаимодействие паровой фазы смеси с жидкой фазой приводит вначале к изменению содержания компонентов как в жидкой фазе, так и в паровой фазе, выходящей из сосуда равновесия. Однако по истечении некоторого времени состав жидкой фазы уже не изменяется, а состав паровой фазы смеси на выходе из сосуда равновесия становится равным составу на входе, что является признаком достижения парожидкостного равновесия.

При достижении парожидкостного равновесия осуществляют кратковременную продувку анализной и всех импульсных линий, выходящих из сосуда равновесия, и производят измерения состава жидкой фазы, отбираемой из пробоотборника  $A3$  в газоанализатор  $QJ_3$ , а также температуры  $TJ_3$  в жидкой и температуры  $TJ_4$  в паровой фазах и давления  $PJ_3$ . Состав паровой фазы известен изначально. Совокупность таких данных для каждого состава подаваемой смеси является целью проведения экспериментального исследования.

При исследовании парожидкостного равновесия, например, разбавленного раствора гексафторэтана в ксеноне при давлении в сосуде равновесия 0,2 МПа, давление криптона, используемого в качестве теплоносителя, должно составлять ~2,05 МПа, а давление жидкого азота, используемого в качестве хладагента, ~2,0±2,05 МПа.

По окончании опытов теплоноситель из внутренней полости 12 криостата 1 по линиям 28 и 29 перепускают в сборник газа 9 и далее по линии 30 побудителем расхода 6 сжимают и направляют в баллон 3 для последующего использования.

Предложенный способ экспериментального исследования парожидкостного равновесия позволяет получить достоверные экспериментальные данные, сократить время проведения опытов и уменьшить потребность в хладагенте.

#### Формула изобретения

Способ экспериментального исследования парожидкостного равновесия смеси, включающий получение в сосуде равновесия жидкой и паровой фаз смеси, его термостатирование с использованием хладагента, определение в каждой фазе молярного содержания компонентов, отличающийся тем, что сосуд равновесия помещают в замкнутую полость, дополнительно содержащую испаритель и конденсатор, заполняемую неизменной во время эксперимента массой кипящего теплоносителя, при термостатировании

поддерживают постоянное давление (температуру) теплоносителя, а изменение давления (температуры) теплоносителя осуществляют изменением тепловой мощности испарителя и/или конденсатора, охлаждаемого хладагентом, прямотоком выполняют подачу в сосуд равновесия смеси с постоянным заранее известным молярным содержанием компонентов, при этом во время эксперимента измеряют молярное содержание компонентов в газе на выходе из сосуда равновесия, наступление парожидкостного равновесия определяют по достижению равенства молярного содержания компонентов газа молярному содержанию компонентов подаваемой смеси, а перед измерением состава жидкой фазы осуществляют кратковременную продувку анализного и всех импульсных трубопроводов, выходящих из сосуда равновесия.

15

20

25

30

35

40

45

50