

Жаврин Ю.И., Косов В.Н.,
Красиков С.А., Федоренко О.В.

**Опытное трехступенчатое
устройство, осуществляющее
очистку углеводородных
газовых смесей от тяжелых
примесей**

Zhavrin Yu.I., Kosov V.N.,
Krassikov S.A., Fedorenko O.V.

**Experimental three-stage device
realizing the hydrocarbon
gaseous mixtures cleaning from
heavy impurities**

Жаврин Ю.И., Косов В.Н.,
Красиков С.А., Федоренко О.В.

**Газ қоспаларды ауыр
қоспалардан артықшылықтар
мен бөлудің тәжірибелік
үш сатылы қондырғысы
сипатталды**

Описано опытное трехступенчатое устройство, осуществляющее очистку углеводородных газовых смесей от тяжелых примесей. Описан механизм работы многоступенчатого устройства для разделения углеводородных газов. Показаны возможности сборки различных рабочих схем для исследования режимов разделения углеводородных газовых смесей. Представлена возможность проведения работ по оптимизации конструктивных параметров (размеров каналов подачи углеводородного газа и канала подачи технологического газа, характерного размера диффузионных каналов, уточнения размеров между диффузионными каналами и подбора скоростей подачи газов) с целью получения максимальной производительности при конкурентных параметрах по разделению газов.

Ключевые слова: газы, диффузия, смеси, конвекция, разделение, лабораторное устройство разделения, сменные модули типовых диффузионных каналов.

Experimental three-stage device that performs the purification of hydrocarbon gas mixtures of heavy impurities is described. The action of multistage device for the separation of hydrocarbon gases is specified. The possibilities of the various working schemes assembly for the separation study of hydrocarbon gas mixtures are shown. The opportunity to work on the optimization of design parameters (dimensions of the hydrocarbon gas supply channels and process gas supply channel, the characteristic size of the diffusion channel, the specification of sizes between diffusion channels and the fitting of gas supply rates) in order to obtain maximum productivity with the competitive parameters for the separation of gases is given.

Key words: Gases, diffusion, mixtures, convection, separation, separation laboratory device, plug-in modules of standard diffusion channels.

Көмірсутекті газ қоспаларды ауыр қоспалардан артықшылықтар мен бөлудің тәжірибелік үш сатылы қондырғысы сипатталды. Көмірсутекті газдарды бөліп алуға арналған көпсатылы қондырғының жұмыс механизмі сипатталды. Көмірсутекті газ қоспаларын бөліп алу режимдерін зерттеуге түрлі жұмыс схемаларды жинастырудың мүмкіндіктері көрсетілді. Конструктивті параметрлер (технологиялық газдың каналда өтуі мен каналда көмірсутекті газдың өту өлшемдері, диффузиялық каналдың сипаттамалық өлшемдері, газдың өту жылдамдығын таңдау мен диффузиялық канал арасындағы өлшемдерді анықтау) мақсатында газды бөліп алудың бәсекелік параметрмен максимал өнімділікте алудың оптимизациясы бойынша жұмыс жүргізу мүмкіндіктері келтірілді.

Түйін сөздер: Газдар, диффузия, қоспа, конвекция, бөліну, лабораторлық бөлу қондырғысы, типтік диффузиялық каналдың ауыспалы модулі.

**ОПЫТНОЕ
ТРЕХСТУПЕНЧАТОЕ
УСТРОЙСТВО,
ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЕ
ОЧИСТКУ
УГЛЕВОДОРОДНЫХ
ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ОТ
ТЯЖЕЛЫХ ПРИМЕСЕЙ**

Введение

Работы по созданию перспективного промышленного метода разделения углеводородных газов, основанного на эффекте конвективной диффузии, привели к созданию проекта опытного образца трехступенчатого устройства разделения углеводородных газов, как ступени на пути создания опытно-промышленной установки. Проведенные теоретические и экспериментальные работы по изучению изотермического массопереноса в многокомпонентных газовых системах показали, что при конвективной диффузии возникают условия связанные с преимущественным переносом самого тяжелого по плотности компонента смеси [1-14]. Эта особенность отсутствует при диффузионном смешении [15,16], поскольку физический перенос, разделяемых газов в предлагаемом способе, происходит в конвективных структурных формированиях, а диффузионные процессы только формируют их.

Проведенные в углеводородных газовых смесях исследования [17-20] по изучению характерных особенностей конвективного массопереноса позволили разработать комплекс инновационных подходов, обеспечивающих преимущественный перенос самого тяжелого по плотности компонента смеси [21-24]. Однако применяемые в нефтегазовой промышленности абсорбционные методы очистки природных газов [25] обладают характеристиками, превосходящими возможности одной ступени разделения методом конвективной диффузии. Поэтому для повышения степени разделения процесс преимущественного переноса самого тяжелого по плотности компонента можно проводить в несколько этапов с использованием предлагаемого устройства, описанного в [21,22], на каждой ступени. Опытные данные по изучению степени селективного переноса фреона 12 в зависимости, от его содержания в исходной газовой смеси в режиме непрерывного разделения в условиях диффузионного моста, приведенные на рис. 1, подтверждают такую возможность [18,19]. Действительно, в случае смешения бинарной смеси $0,7 \text{ He} + 0,3 \text{ R12}$ с аргоном почти 50% фреона-12 от своего исходного состава поступает в газовую магистраль с технологическим газом. Если предположить, что на следующую ступень раз-

деления подается уже исходная смесь $0,85 \text{ He} + 0,15 \text{ R12}$, которая смешивается с аргоном, то, как показывают данные рис. 1, величина преимущественного разделения R12 также соответствует значению 50% от исходного состава. Наконец подаваемая на третью ступень смесь $0,925 \text{ He} + 0,075 \text{ R12}$ при смешении с аргоном также позволяет отделить практически 50% фреона-12 от своего исходного состава (рис. 1). Следовательно, применение только трех этапов разделения позволяет уменьшить содержание самого тяжелого по плотности компонента приблизительно в 10 раз. Таким образом, при трехступенчатом процессе разделения газов можно получить степень отделения тяжелых компонентов порядка 90%, что является вполне конкурентным показателем в сравнении с промышленными методами разделения. Аналогичная ситуация наблюдалась и при смешении многокомпонентных систем $\text{CH}_4 + \text{R12} - n\text{-C}_4\text{H}_{10}$, $\text{N}_2 + \text{R12} - n\text{-C}_4\text{H}_{10}$.

Устройство для разделения газов

Предлагаемая схема разделения может быть реализована на трехступенчатом устройстве для разделения газов, схема которого приведена на рис. 2. Процесс разделения происходит следующим образом. В канал 4 подается смесь углеводородных газов, состоящая из тяжелых и

легких компонентов. В нижний канал 5 подается технологический (буферный) газ. Для предотвращения гидродинамических течений давление в каналах 4 и 5 устанавливается одинаковыми. Тогда, если характерный размер диффузионного канала 1 превышает критический, определяемый в рамках теории устойчивости [18], реализуется конвективный режим, где за счет различия в коэффициентах диффузии компонентов, возникают условия для преимущественного переноса самого тяжелого по плотности компонента в нижний канал 5, где происходит смешение с технологическим газом. В свою очередь, очищенная от тяжелых примесей газовая смесь с более легким технологическим газом попадет в верхнюю емкость 4. Таким образом, в разделяемой смеси происходит отделение тяжелого газа и замещение его более легким технологическим газом [21], т.е. нижний канал 5 обогащается тяжелой составляющей смеси, а верхний 4 – легкой, которые далее перемещаются к зоне диффузионного канала 2. В зоне канала 2 (и аналогично 3), если характерный размер превышает критический, происходят процессы аналогичные каналу 1. Следует обратить внимание на то, что по мере прохождения смесей по каналам меняются концентрации смесей, и характерные размеры каждого последующего канала могут увеличиваться.

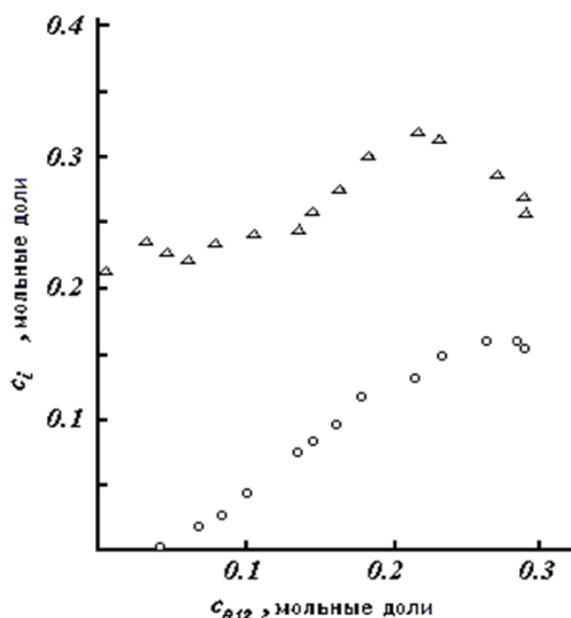


Рисунок 1 – Селективное разделение фреона-12 в зависимости от его содержания в исходной газовой смеси $\text{He} + \text{R12} - \text{Ar}$. Точки \circ , Δ – опытные данные для фреона-12 и гелия. $P = 0,092 \text{ МПа}$, $T = 298,0 \text{ К}$

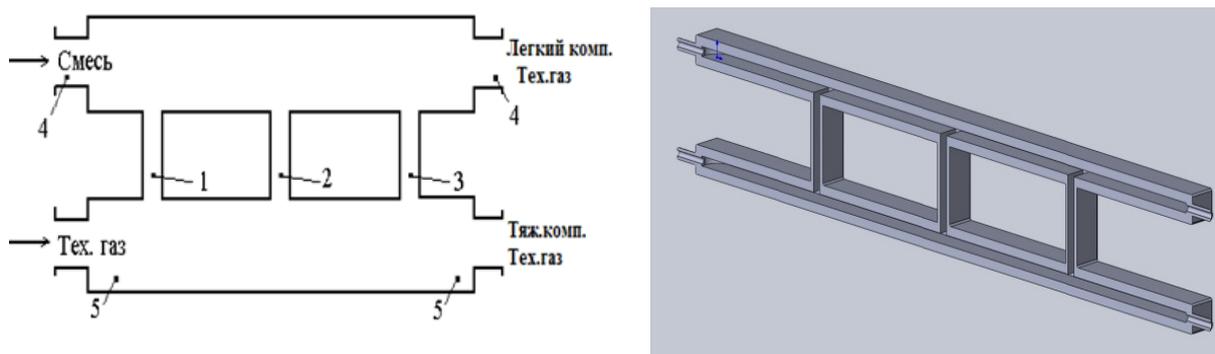


Рисунок 2 – Схема устройства для разделения газов в режиме диффузионной неустойчивости. 1, 2, 3 – диффузионные каналы, 4 – канал углеводородных газов, 5 – канал технического (буферного) газа

По мере протекания смеси газов по каналу 4 более 90% тяжелого компонента будет удалено в нижний канал 5 и заменено технологическим газом. Указанная величина отделения тяжелых компонентов является конкурентной для создания промышленных методов разделения. Для окончательного разделения проводят (если это необходимо) отделение технологического газа.

Для проведения опытно-экспериментальных работ по отработке процессов разделения углеводородных газов был создан проект специального трехступенчатого разделительного устройства, схема которого приведена на рис. 3, реализующий схему, приведенную на рис. 2.

Разделительное устройство, изображенное на рис. 3 состоит из:

1 – диффузионные каналы; 2 – канал смеси углеводородных газов, состоящий из образующей 4 и крышки 5; 3 – канал технологического газа, состоящий из образующей 4 и крышки 5; 6 – патрубок подачи смеси углеводородных газов; 7 – патрубок подачи технологического газа; 8 – патрубок отвода смеси углеводородных газов с удаленным тяжелым компонентом (очищенный газ); 9 – патрубок отвода технологического газа с отделенным тяжелым углеводородным компонентом; 10 – штуцера замера давления; 11 – резиновые шнуры герметизации внутренних полостей установки; 12 – болты М8; 13 – опоры диффузионного канала; 14 – вкладыши проточного канала углеводородных газов и буферного газа; 15 – крепеж вкладыша проточного канала; 16 – ниппель.

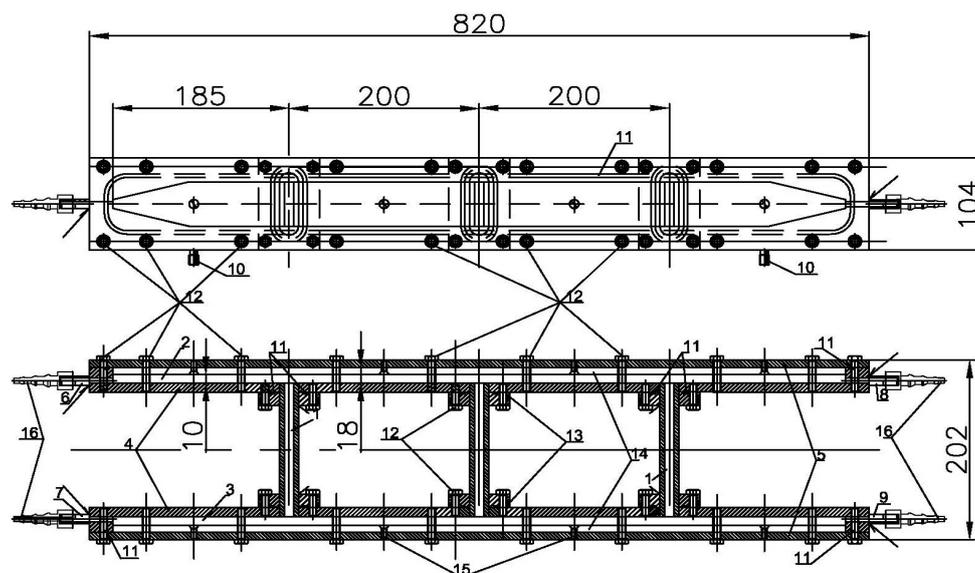


Рисунок 3 – Опытная трехступенчатая установка по разделению газов содержащих углеводородные компоненты

Характерной особенностью разделительного устройства (рис. 3) является возможность исследовать схемы работы с одним, двумя и тремя диффузионными каналами, с различными характерными размерами диффузионных каналов, что

показано на рис. 4, различными размерами сечений каналов углеводородных газов и буферных газов и различными расстояниями между диффузионными каналами. Диапазон рабочих давлений до 0,7 МПа.

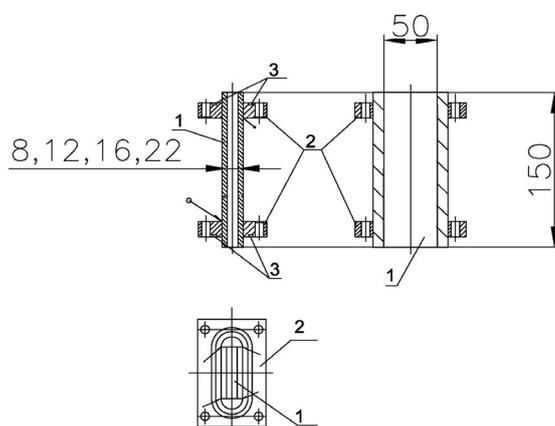


Рисунок 4 – Диффузионный канал опытной установки по разделению газов, содержащих углеводородные компоненты

Диффузионный канал опытной установки по разделению газосодержащих углеводородные компоненты (рис. 4) состоит из: 1 – диффузионный канал, 2 – опоры диффузионного канала, 3 – каналы для установки резинового уплотнения.

Для сборки разделительного устройства в варианте с числом диффузионных каналов меньше

трех предназначены имитаторы диффузионных каналов (рис. 5). Для изучения структурированных движений в режиме конвективной диффузии предусматривается вариант сборки с двумя имитаторами и одним диффузионным каналом с прозрачными стенками для оптических приборов (рис. 5).

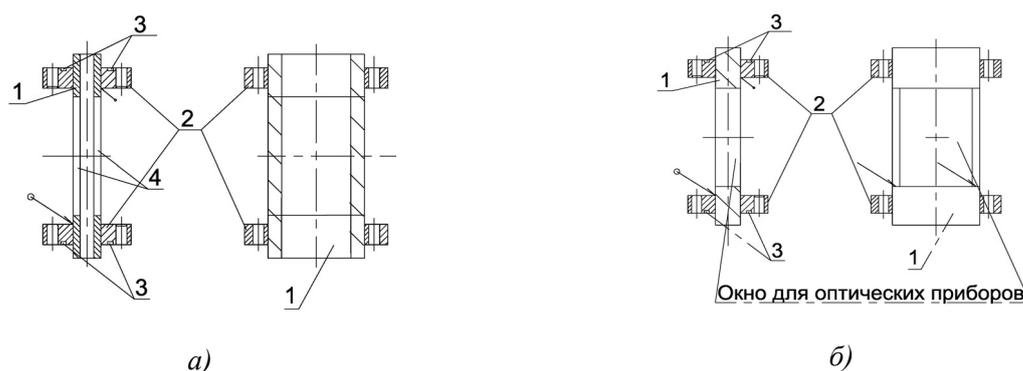


Рисунок 5 – Диффузионный канал опытной установки по разделению газов содержащих углеводородные компоненты с прозрачными стенками для оптических приборов (а), имитатор диффузионного канала (б). 1 – диффузионный канал (имитатор – б), 2 – опоры диффузионного канала, 3 – каналы для установки резинового уплотнения, 4 – стеклянные стенки

Заключение

С помощью разработанного трехступенчатого разделительного устройства будут проведены работы по оптимизации конструктивных параметров (размеров каналов подачи углеводородного газа и канала подачи технологического газа, характерно-го размера диффузионных каналов, уточнения раз-

меров между диффузионными каналами и подбора скоростей подачи газов) с целью получения максимальной производительности при конкурентных параметрах по разделению газов. Методика проведения эксперимента описана в [19].

Работы планируются к выполнению при финансовой поддержке гранта Комитета Науки МОН РК № 3482/ГФ4.

Литература

- 1 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М., Тарасов С.Б. Влияние давления на устойчивость диффузии в некоторых трехкомпонентных газовых смесях // ЖТехФиз.– 1984. – Т. 54. Вып. 5. – С. 943-947.
- 2 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Влияние температуры на процесс диффузионной неустойчивости // ИнжФизЖ. – 1988. – Т. 55, № 1. – С. 92-97.
- 3 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Некоторые особенности динамики неустойчивого массопереноса в изотермических газовых смесях // Теплофизика и аэромеханика. – 1995. – Т. 2, № 2. – С.145-151.
- 4 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Влияние длины канала на устойчивость диффузионного процесса в многокомпонентных газовых смесях // Вестник АН КазССР. – 1991. – № 10. – С. 63-65.
- 5 Жаврин Ю.И., Айтхожаев А.З., Косов В.Н., Красиков С.А. Влияние вязкости на устойчивость диффузионного массопереноса в изотермических трехкомпонентных газовых смесях // Письма в ЖТехФиз. – 1995. – Т. 21, Вып. 6. – С. 7-12.
- 6 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Красиков С.А. Некоторые особенности конфетивного теплопереноса в многокомпонентных газовых смесях // ИнжФизЖ. – 1996. – Т. 69, № 6. – С. 977-981.
- 7 Косов В.Н., Селезнев В.Д., Жаврин Ю.И. Эффект разделения компонентов при изотермическом смешении тройных газовых систем в условиях свободной конвекции // ЖТехФиз. – 1997. – Т. 67, Вып. 10. – С. 139-140.
- 8 Гершуни Г.З., Жуковский Е.М., Непомнящий А.А. Устойчивость конвективных течений. – М.: Наука, 1989. – 320 с.
- 9 Joseph D. Stability of fluid motions. – New York: Wiley, 1981. – 638 p.
- 10 Косов В.Н., Селезнев В.Д. Аномальное возникновение свободной гравитационной конвекции в изотермических тройных газовых смесях. – Екатеринбург: УрОРАН. – 2004. – 149 с.
- 11 Ankusheva N.B., Kossov V.N., Seleznev V.D. Effect of diffusion channel inclination on stability of mechanical equilibrium in isothermal binary gas mixtures // Journal of Applied Mech. and Tech. Phys. – 2010. – Vol. 51, No. 1. – P. 62-64.
- 12 Seleznev V.N., Kosov V.N., Poyarkov I.V., Fedorenko O.V., Beketaeva M.T. Double diffusion in Ar – N2 binary gas system at the constant value of temperature gradient // APhPol A. – 2013. – Vol. 123, No. 1. – P. 62-66.
- 13 Kossov V., Zhavrin Yu., Fedorenko O. Diffusion and convective instability in ternary gas mixture // Applied Mechanics and Materials. Applied Mechanics, Materials and Manufacturing. – 2013. – Vol. 378. – P. 253-258.
- 14 Косов В.Н. Особенности концентрационного разделения при диффузии многокомпонентных газовых смесей во встречных потоках // Вестник КазНПУ. Серия физ.-мат. наук – 2013. – № 3 (43). – с. 93-98.
- 15 Muller H., Gnauk H. Gasy vysokoyi chistoty. – М.: Mir, 1968. – 236 с.
- 16 Голдберг К.А., Вигбергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. – М.: Химия, 1990. – 346 с.
- 17 Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Косов В.Н. Некоторые особенности изотермической диффузии трехкомпонентных газовых смесей, содержащих хладаргенты метанового ряда // Теплообменные процессы в системах холодильной техники и свойства рабочих тел. – Санкт-Петербург: СтПбТиХП, 1993. – С. 84-92.
- 18 Kosov V.N., Kulzhanov D.U., Zhavrin Yu.I., Krasikov S.A., Fedorenko O.V. Косов В.Н., Кулжанов Д.У., Жаврин Ю.И., Красиков С.А., Федоренко О.В. Особенности разделения углеводородных изотермических газовых смесей при конвективной диффузии / Под ред. Чл.-корр. НАН РК В.Н. Косова. – Алматы: МВ-Print, 2014. – 144 с.
- 19 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Красиков С.А. Исследование неустойчивого диффузионного процесса в изотермических трехкомпонентных газовых смесях в стационарных // ЖТехФиз. – 1999. – Т. 69, Вып. 7. – С. 5-9.
- 20 Жаврин Ю.И., Косов Ю.И., Федоренко О.В. Особенности концентрационного разделения многокомпонентной газовой смеси, содержащей метан и бутан при различных давлениях // Вестник КазНПУ. Серия физ.-мат. – 2012. – №3 (39).
- 21 Предварительный патент РК № 6359 / Жаврин Ю.В., Косов В.Н., Красиков С.А. – Оpubл. 15.07.1998. – бюлл. № 6.
- 22 Патент РК № 26884. Устройство разделения газовой смеси / Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Красиков С.А., Федоренко О.В. // Промышленная собственность. – 2013. – Бюлл. № 12 б. – С. 129.
- 23 Патент РК № 26885. Способ разделения газовой смеси / Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Красиков С.А., Федоренко О.В. // Промышленная собственность. – 2013. – Бюлл. № 12 б. – С. 129-130.
- 24 Инновационный патент РК № 28071. Способ разделения газовой смеси / Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Красиков С.А., Федоренко О.В. // Промышленная собственность. – 2014. – Бюлл. № 1. – С. 26.
- 25 Зиберт Г.К., Седых А.Д., Касчитский Ю.А., Михайлов Н.В., Демин В.М. Подготовка и переработка углеводородных газа и конденсата. Технологии и оборудование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 316 с.

References

- 1 Zhavrin Yu.I., Kosov N.D., Belov S.M., Tarasov S.B. Vliyanie davleniya na ustoychivost diffuzii v nekotorykh trekhkomponentnykh gazovykh smesyakh // *ZTekhFiz.* – 1984. – Т. 54. Vyp. 5. – С. 943-947.
- 2 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Vliyanie temperatury na protses diffuzionnoyi neustoyichivosti // *InzhFizZh.* – 1988. – Т. 55, №1. – С. 92-97.
- 3 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Nekotorye osobennosti dinamiki neustoyichivogo massoperenosa v izotermicheskikh gasovykh smesyakh // *Teplotfizika i Aeromekhanika.* – 1995. – Т. 2, № 2. – С.145-151.
- 4 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Vliyanie dliny kanala na ustoychivost diffuzionnogo protsessa v mnogokomponentnykh gasovykh smesyakh // *Vestnik AN KazSSR.* – 1991. – № 10. – С. 63-65.
- 5 Zhavrin Yu.I., Ayitkozhaev A.Z., Kosov V.N., Krasikov S.A. Vliyanie vyazkosti na ustoychivost diffuzionnogo massoperenosa v izotermicheskikh trekhkomponentnykh gasovykh smesyakh // *Pisma v ZhTekhFiz.* – 1995. – Т. 21, Vyp. 6. – С. 7-12.
- 6 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A. Nekotorye osobennosti konvektivnogo teplomassoperenosa v mnogokomponentnykh gasovykh smesyakh // *InzhFizZh.* – 1996. – Т. 69. № 6. – С. 977-981.
- 7 Kosov V.N., Seleznev V.D., Zhavrin Yu.I. Effekt razdeleniya komponentov pri izotermicheskom smeshenii troyinykh gasovykh system v usloviyakh svobodnoyi konvektcii // *ZhTekhFiz.* – 1997. – Т. 67, Vyp. 10. – С. 139-140.
- 8 Gershuni G.Z., Zhukhovitskiy E.M., Nepomnyaschiy A.A. Ustoychivost konvektivnykh techeniy. – М.: Nauka, 1989. – 320 s.
- 9 Joseph D. Stability of fluid motions. – New York: Wiley, 1981. – 638 p.
- 10 Kosov V.N., Seleznev V.D. Anomalnoe vozniknovenie svobodnoyi gravitacionnoyi konvektcii v izotermicheskikh troyinykh gasovykh smesyakh. – Ekaterinburg: UrORAN. – 2004. – 149 s.
- 11 Ankusheva N.B., Kossov V.N., Seleznev V.D. Effect of diffusion channel inclination on stability of mechanical equilibrium in isothermal binary gas mixtures // *Journal of Applied Mech. and Tech. Phys.* – 2010. – Vol. 51, No. 1. – P. 62-64.
- 12 Seleznev V.N., Kosov V.N., Poyarkov I.V., Fedorenko O.V., Beketaeva M.T. Double diffusion in Ar – N₂ binary gas system at the constant value of temperature gradient // *APhPol A.* – 2013. – Vol. 123, No. 1. – P. 62-66.
- 13 Kossov V., Zhavrin Yu., Fedorenko O. Diffusion and convective instability in ternary gas mixture // *Applied Mechanics and Materials. Applied Mechanics, Materials and Manufacturing.* – 2013. – Vol. 378. – P. 253-258.
- 14 Kosov V.N. Osobennosti koncentracionnogo razdeleniya pri diffuzii mnogokomponentnykh gasovykh smeseyi vo vstrechnykh potokakh // *Vestnik KazNPU. Seriya fiz.-mat. nauki.* – 2013. – № 3 (43). – С. 93-98.
- 15 Muller H., Gnauk H. Gasy vysokoyi chistoty. – М.: Mir, 1968. – 236 s.
- 16 Goldberk K.A., Vigdergauz M.S. Vvedenie v gasovuyu khromatografiyu. – М.: Khimiya, 1990. – 346 s.
- 17 Kosov N.D., Zhavrin Yu.I., Kosov V.N. Nekotorye osobennosti izotermicheskoyi diffuzii trekhkomponentnykh gasovykh smeseyi, coderzhatchikh khladagenty metanovogo ryada // *Teplობმენიე პროცესი ვ სისტემაჲ ჰოლოდილოი ტექნიკი ი სოიისტ-ვაჲ რაბოჲიჲ ტელ.* – Sankt-Petersburg: StPbTIKhp, 1993. – С. 84-92.
- 18 Kosov V.N., Kulzhanov D.U., Zhavrin Yu.I., Krasikov S.A., Fedorenko O.V. Osobennosti razdeleniya uglevodородnykh izotermicheskikh gazovykh smeseyi pri konvektivnoyi diffuzii / Pod red. Chl.-korr. NAN RK V.N. Kosova. – Almaty: MV-Print, 2014. – 144 s.
- 19 Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A. Issledovanie neustoyichivogo diffuzionnogo protsessa v izotermicheskikh trekhkomponentnykh gazovykh smesyakh v statcionarnykh usloviyakh // *ZhTekhFiz.* – 1999. – Т. 69, Vyp. 7. – С. 5-9.
- 20 Zhavrin Yu.I., Kosov Yu.I., Fedorenko O.V. Osobennosti koncentracionnogo razdeleniya mnogokomponentnoyi gasovoyi smesi sodержashcheyi metan i butan pri razlichykh davleniyakh // *Vestnik KazNPU. Seriya fiz.-mat.* – 2012. – №3 (39).
- 21 Predvaritelnyy patent RK № 6359 / Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A. – Opubl. 15.07.1998. – bul. № 6.
- 22 Patent RK № 26884. Ustroystvo razdeleniya gazovoyi smesi / Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A., Fedorenko O.V. // *Promyshlennaya sobstvennost.* – 2013. – Bul. № 12 b. – С. 129.
- 23 Patent RK № 26885. Sposob razdeleniya gazovoyi smesi / Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A., Fedorenko O.V. // *Promyshlennaya sobstvennost.* – 2013. – Bul. № 12 b. – С. 129-130.
- 24 Innovacionnyy patent RK № 28071. Sposob razdeleniya gazovoyi smesi / Zhavrin Yu.I., Kosov V.N., Krasikov S.A., Fedorenko O.V. // *Promyshlennaya sobstvennost.* – 2014. – Bul. № 1. – С. 26.
- 25 Zibert G.K., Sedykh A.D., Kaschitskiy Yu.A., Mikhayilov N.V., Demin V.M. Podgotovka i pererabotka uglevodородnykh gaza i kondensata. Tekhnologii i oborudovanie. – М.: ООО «Nedra-Biznescenter», 2001. – 316 s.