



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

ХІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

14.	ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ У ХОЛОДИЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ	203
15.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НАНОЧАСТИЦ AL₂O₃ НА ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ ДОМШОК КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА В ХОЛОДОАГЕНТАХ R600A ТА R290 ПО КОНТУРУ ХОЛОДИЛЬНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	206
16.	СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ О-КСИЛОЛА ПРИ НАЛИЧИИ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНА C₆₀	209
17.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНОВ C₆₀ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕТРАЛИНА	211
18.	ВПЛИВ ДОМШОК МОДЕЛЬНОГО КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА TEG В ХОЛОДОАГЕНТІ RE170 НА ПАРАМЕТРИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	214
19.	ПРИНЦИПИ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОФЛЮЇДІВ	217
20.	ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ	220
1.	АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	стр. 223
2.	ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	227

УДК 544.355-16+544.77

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НАНОЧАСТИЦ Al_2O_3 НА ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА

Мотовой И.В., Дмитриев Е.Д., Железный В.П.

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, motovoj@gmail.com

В последнее время внимание исследователей привлекают задачи изучения влияния наночастиц на теплофизические свойства базовых жидкостей, перспективных для использования в энергетике в качестве рабочих тел и теплоносителей. Несмотря на обилие опубликованных работ, посвященных исследованию теплофизических свойств нанофлюидов, представленные результаты требуют правильной физической интерпретации. Однако противоречивость полученных экспериментальных данных о давлении насыщенных паров, теплопроводности, вязкости, теплоемкости нанофлюидов показывает, что полученной информации еще недостаточно для того чтобы приступить к задачам моделирования их термодинамических свойств. Отсутствие надежных термодинамических методов прогнозирования термических свойств нанофлюидов, существенно сдерживает прогресс в разработке нового поколения энергетически эффективных рабочих тел и теплоносителей

Целью проведенного исследования являлось экспериментальное определение давления насыщенных паров модельного нанофлюида состоящего из изопропилового спирта и наночастиц оксида алюминия Al_2O_3 . Выбор данного объекта исследования был продиктован высокой стабильностью коллоидных растворов изопропиловый спирт/наночастицы Al_2O_3 .

Давление насыщенных паров измерено статическим методом, с использованием датчика давления WIKA S-10. Проведенный анализ показал, что расширенная неопределенность измерения давления этим преобразователем не превышала 95 Па. Экспериментальные данные по давлению насыщенных паров в исследованном диапазоне температур и концентраций были аппроксимированы уравнением

$$\ln P_{NF} = A w_{NP} + B w_{NP} \frac{1}{T}, \quad (1)$$

где P_{NF} – давление насыщенных паров, Па; T – температура, К; $A(w_{NP})$, $B(w_{NP})$ – коэффициенты, значение которых зависят от концентрации наночастиц в изопропанол.

Выполненный анализ показывает, что расширенная неопределенность полученных экспериментальных данных о давлении насыщенных паров нанофлюидов не превышает 275 Па. Температурная и концентрационная зависимости разности давлений насыщенных паров нанофлюидов изопропанол/ наночастицы Al_2O_3 и изопропанола приведены на рисунках 1 и 2. Из приведенной на рисунках 1 - 2 информации следует, что эффект влияния наночастиц Al_2O_3 на давление насыщенных паров зависит как от температуры, так и от концентрации. При температурах выше 330 К давление насыщенных паров нанофлюидов выше давления насыщенных паров изопропилового спирта. Причем при концентрациях наночастиц в изопропанол больше $0,0393 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ с увеличением температуры абсолютные отклонения увеличиваются. При указанных параметрах ($w_{NP} \geq 0,0393 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$) силы межмолекулярного взаимодействия в поверхностном слое жидкой фазы изопропанола уменьшаются в присутствии наночастиц, что способствует увеличению давления насыщенных паров изопропанола. Наибольшая разность давления насыщенного пара нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 от давления чистого изопропанола наблюдается при концентрации наночастиц $0,0394 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ и температуре 340 К и составляет 2410 Па (4.63%).

Наибольший интерес представляет концентрационная зависимость $P_S=f(w_{NP})$ при $T=const$ (см. рисунок 2).

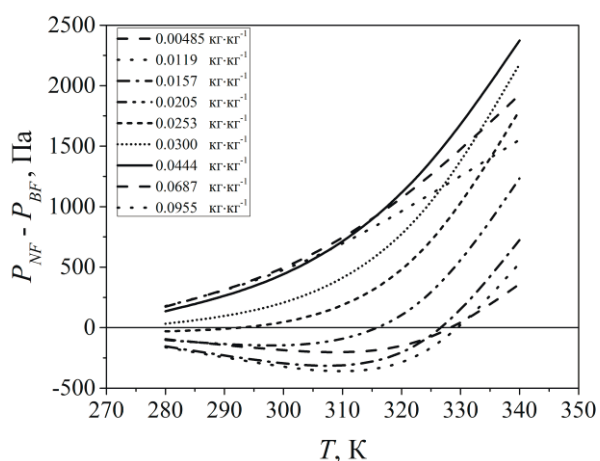


Рис. 1 - Температурная зависимость абсолютной разницы давлений насыщенного пара нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 P_{NF} от давлений насыщенного пара чистого изопропанола P_{IPA} , рассчитанных по уравнению (1)

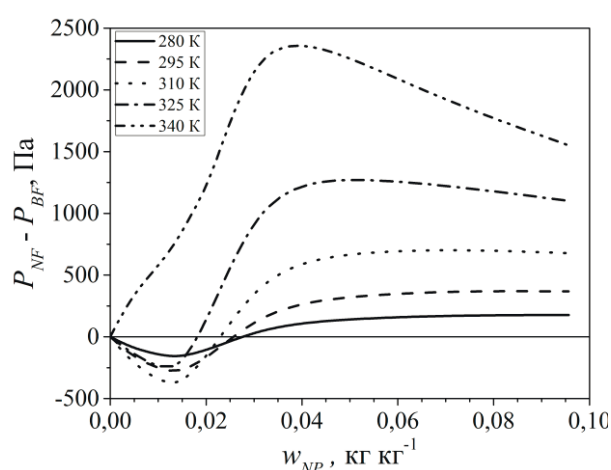


Рис. 2 - Концентрационная зависимость абсолютной разницы давлений насыщенного пара нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 P_{NF} от давлений насыщенного пара чистого изопропанола P_{IPA} , рассчитанных по уравнению (1)

Из приведенного рисунка следует, что при концентрациях наночастиц менее $0,02 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ давление насыщенных паров нанофлюидов меньше давления насыщенных паров изопропилового спирта. Причем эффект влияния наночастиц зависит от температуры: по мере увеличении температуры разность давлений $P_{NF}-P_{IPA}$ сначала увеличивается по абсолютной величине до температуры 310 K , а затем начинает уменьшаться. При температуре выше 330 K разность давлений $P_{NF}-P_{IPA}$ становится величиной положительной.

По мнению авторов, подобный характер концентрационной зависимости давления насыщенных паров определяется несколькими факторами. Во-первых, при увеличении концентрации наночастиц (до $0,02 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$) в изопропиловом спирте идет интенсивное формирование поверхностной фазы базовой жидкости вокруг наночастиц [1]. При этом избыточный мольный объем по абсолютной величине быстро увеличивается, а гидродинамический радиус наночастиц уменьшается [1] (см. рисунки 3 - 4). При концентрациях больше чем $0,02 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ избыточный мольный объем и эквивалентный гидродинамический диаметр наночастиц для нанофлюидов изопропанол/наночастицы Al_2O_3 изменяется незначительно. Такой характер температурной и концентрационной зависимостей избыточного мольного объема и гидродинамического радиуса наночастиц могут являться причинами положительных и отрицательных отклонений $P_{NF}-P_{IPA}$ давлений насыщенных паров нанофлюидов и базовых жидкостей.

В некоторых опубликованных работах уже отмечалось, что теплофизические свойства нанофлюидов проявляют зависимость от размера наночастиц [2]. Однако, как отмечают авторы недавно опубликованных работ [1, 3] характерные свойства нанофлюидов определяются не только их составом и размером наночастиц, а величинами избыточных термодинамических функций и эффективного гидродинамического радиуса. Исходя из этого вывода следует, что при увеличении концентрации наночастиц в изопропаноле до $0,02 - 0,025 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ существенно изменяются как избыточный мольный объем так и эквивалентный гидрадинамический радиус. Это отражается на объемной концентрации образовавшихся мицелл как в базовой жидкости, так и в поверхностном слое нанофлюида.

Естественно, что меняется и силы межмолекулярного взаимодействия в поверхностном слое. Если массовая концентрация наночастиц в нанофлюиде остается неизменной (при заданной брутто концентрации наночастиц в изопропаноле), то массовая концентрация образовавшихся мицелл будет зависеть от температуры. Следовательно, при неизменной брутто концентрации приготовленного

образца нанофлюида экспериментальные данные должны относиться к разным массовым концентрациям образовавшихся мицелл и разным гидродинамическим диаметрам наночастиц.

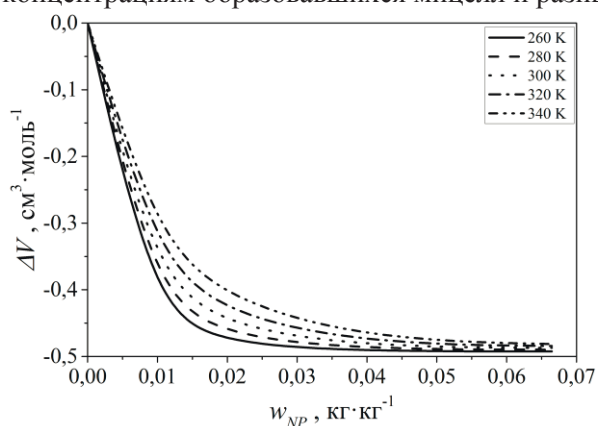


Рис. 3 - Концентрационная зависимость избыточного мольного объема нанофлюидов изопропанол/ наночастицы Al_2O_3

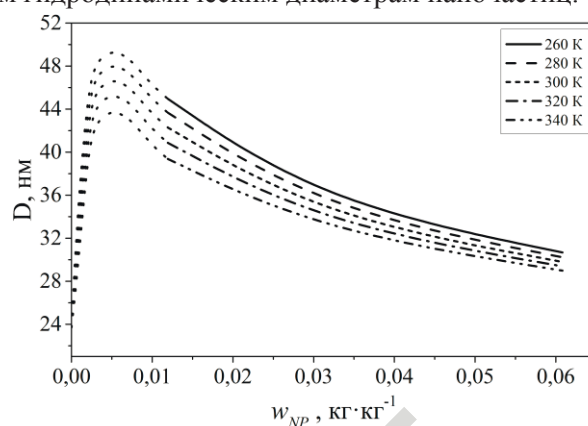


Рис. 4 - Концентрационная зависимость гидродинамического диаметра наночастиц [1]

Поэтому полученные экспериментальные данные о давлении насыщенных паров нанофлюидов изопропанол/ наночастицы Al_2O_3 качественно подтверждают полученные ранее данные о влиянии размера наночастиц на давление насыщенных паров воды [2]. При концентрациях наночастиц $w_{NP} \geq 0,03 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$, при которых величина избыточного мольного объема и гидродинамического радиуса практически не изменяется при увеличении температуры давление насыщенных паров нанофлюидов изопропиловый спирт/ наночастицы Al_2O_3 всегда больше давления насыщенных паров изопропанола.

В результате проведенного исследования впервые получена информация о влиянии наночастиц Al_2O_3 на давление насыщенных паров изопропанола в широком интервале параметров состояния. Полученная экспериментальная информация о давлении насыщенных паров для модельной термодинамической системы изопропанол/ наночастицы Al_2O_3 позволяет прийти к выводу о том, что примеси наночастиц в изопропаноле при концентрациях $w_{NP} \geq 0,03 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ способствуют увеличению давления насыщенных паров. Причем этот эффект увеличивается по мере увеличения температуры и концентрации наночастиц Al_2O_3 . Наибольшая разность давлений насыщенного пара нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 от давления насыщенного пара чистого изопропанола достигает 4.63 % при 340 К. Такой значительный по величине эффект необходимо учитывать при расчете calorических свойств (изобарной теплоемкости, энтальпии и энтропии) рабочих тел пароконденсационных холодильных установок при оценке перспективности применения нанотехнологий в холодильном оборудовании [4]. При концентрациях наночастиц в изопропаноле $w_{NP} \geq 0,03 \text{ кг}\cdot\text{кг}^{-1}$ давление насыщенных паров нанофлюидов меньше давления насыщенных паров чистого спирта.

1. Zhelezny V, Khliyeva O, Motovoy I, Lukianov N (2019) An experimental investigation and modelling of the thermal and caloric properties of nanofluids isopropyl alcohol - Al_2O_3 nanoparticles. *Thermochim Acta* 678:178296

2. Tso CY, Chao CYH (2015) Study of enthalpy of evaporation, saturated vapor pressure and evaporation rate of aqueous nanofluids. *Int J Heat Mass Transf* 84:931–941

3. Zhelezny V, Lozovsky T, Gotsulskiy V, Lukianov N, Motovoy I (2017) Research into the influence of Al_2O_3 nanoparticle admixtures on the magnitude of isopropanol molar volume. *Eastern-European J Enterp Technol* 2:33–39

4. Zhelezny V, Faik A, Olga K, Motovoy I, Ivchenko D, Grosu Y, Nikulin A (2018) Caloric properties of R600a solutions in compressor oil containing fullerenes C_{60} . *Refrig Sci Technol*. doi: 10.18462/iir.gl.2018.1176