

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ
XVI Всеукраїнської
науково-технічної
конференції
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса



ОДЕСА

2016

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Сторов Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Замісники:

Поварова Наталія Миколаївна – проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій, к.т.н., доцент,

Косой Борис Володимирович – директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Члени оргкомітету:

Артеменко С.В.

Бошкова І.Л.

Бошков Л.З.

Василів О.Б.

Гоголь М.І.

Дьяченко Т.В.

Желєзний В.П.

Зацеркляний М.М.

Князева Н.О.

Кологривов М.М.

Котлик С.В.

Крусір Г.В.

Мазур В.О.

Мазур О.В.

Мілованов В.І.

Морозюк Л.І.

Нікулина А.В.

Ольшєвська О.В.

Плотніков В.М.

Роганков В.Б.

Роженцев А.В.

Сагала Т.А.

Семенюк Ю.В.

Смирнов Г.Ф.

Тітлов О.С.

Шпирко Т.В.

Хлієва О.Я.

Хмельнюк М.Г.

Хобин В.А.

Цикало А.Л.

Відповідальний за випуск: **Тітлов О.С.**, завідувач кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв

Мова видання: українська, російська, англійська

За достовірність інформації відповідає автор публікації

Рекомендовано до друку Радою факультету прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій, протокол № 2 від 21 вересня 2016 року.

А 43 Актуальні проблеми енергетики та екології / Матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Херсон: ФОП Грінь Д.С., 2016. – 312 с.

ББК 31:20.1

ISBN 978-966-930-137-6

© Одеська національна академія харчових технологій

© Факультет прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій

СЕКЦІЯ 2:

**ПРОЦЕСИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ
І ТЕПЛОМАСООБМІННІ АПАРАТИ**

**НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ
І ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ**

**ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕПЛОНОСІЇВ
І РОБОЧИХ ТІЛ**

ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОФЛЮИДАМИ ПРИ ИХ КИПЕНИИ

Семенюк Ю.В., д-р. техн. наук, доцент, Никулин А.Г., канд. техн. наук
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе приведены результаты исследования влияния слоя наночастиц Al_2O_3 на краевой угол смачивания изопропиловым спиртом теплопередающей поверхности в процессе пузырькового кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 . Концентрация наночастиц Al_2O_3 в нанофлюиде составляла 0,0429 масс. %. Кипение нанофлюида происходило при средней температуре 68 °C и плотности теплового потока 32 кВт/м² в течение 10, 60 и 360 мин. Показано, что если материал нагревателя является гидрофильным по отношению к базовой жидкости нанофлюида, то образующийся в процессе кипения нанофлюида на теплообменной поверхности слой наночастиц не влияет на краевой угол смачивания.

Ключевые слова: наночастицы, нанофлюиды, краевой угол смачивания.

The influence of nanoparticles Al_2O_3 layer, formed during nucleate boiling of isopropanol/ Al_2O_3 nanofluid, on isopropyl alcohol contact angle at heat exchange surface have been reported. The concentration of nanoparticles Al_2O_3 in nanofluid was 0.0429 wt. %. The nanofluid boiling occurred at average temperature of 68 °C and heat flux density of 32 kW/m² for 10, 60 and 360 minutes. The results obtained showed that when the heater material is hydrophilic with respect to the base fluid of nanofluid the nanoparticle layer at heat exchange surface formed during nanofluid boiling does not affect the contact angle.

Keywords: nanoparticles, nanofluids, contact angle.

Одним из современных методов интенсификации теплообмена в технологическом оборудовании является применение новых рабочих тел с более совершенными теплопередающими свойствами, например, нанофлюидов – гетерогенных коллоидных систем твердых частиц наноразмеров – до 100 нм в базовой жидкости. Добавки наночастиц в базовые жидкости могут приводить к существенному изменению как их теплофизических свойств [1], так и коэффициента теплоотдачи при кипении в объеме [2] и потоке [3].

Результаты исследования диаметра отрывных пузырьков при кипении изопропанола и нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 [2] показали, что при некоторых параметрах отличие данной характеристики для нанофлюида и чистой жидкости может достигать 30 %. Такой эффект может быть следствием влияния наночастиц на теплофизические свойства базовой жидкости и образования слоя наночастиц на теплопередающей поверхности в процессе кипения нанофлюида [4].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния слоя наночастиц Al_2O_3 , образующегося в процессе пузырькового кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 , на краевой угол смачивания теплопередающей поверхности.

Исследуемые образцы представляли собой пару капилляров из нержавеющей стали, которые располагались на расстоянии 0,2 мм друг от друга, погружались в бокс с исследуемой жидкостью и устанавливались на предметный столик оптического микроскопа со встроенной веб-камерой, подключенной к персональному компьютеру. Мениск жидкости, образующийся между капиллярами, освещался светодиодом. При помощи зеркальной призмы его изображение проецировалось в объектив микроскопа и посредством веб-камеры преобразовывалось в цифровой формат. Цифровые изображения мениска, которые отображались на экране компьютера в режиме реального времени, получали при помощи программного обеспечения ScoreImage 9.0 (HIC).

Эксперимент включал в себя следующие этапы:

- 1) подготовка поверхности образцов капилляров путем тщательного обезжиривания;
- 2) получение цифровых изображений мениска в зазоре между капиллярами;
- 3) обработка полученных изображений мениска.

В опытах бокс с исследуемыми образцами перемещался на предметном столике при помощи регулировочных винтов таким образом, чтобы на экране компьютера зазор между капиллярами выглядел наиболее контрастно.

Мениски исследовались в нескольких точках с шагом 1 мм по высоте капилляров 10 мм. В каждом фиксированном положении капилляров сохраняли несколько цифровых изображений мениска.

Измерения менисков проводились при натекании и оттекании жидкости. При исследовании «угла натекания» уровень жидкости в боксе повышали, а при исследовании «угла оттеkania» – снижали.

Обработка полученных цифровых изображений выполнялась при помощи программы, созданной в среде Matlab. Методика обработки изображений включала в себя ряд процедур, в результате которых определялись координаты пикселей, принадлежащих границе, образованной капиллярами и мениском (см. рис. 1).

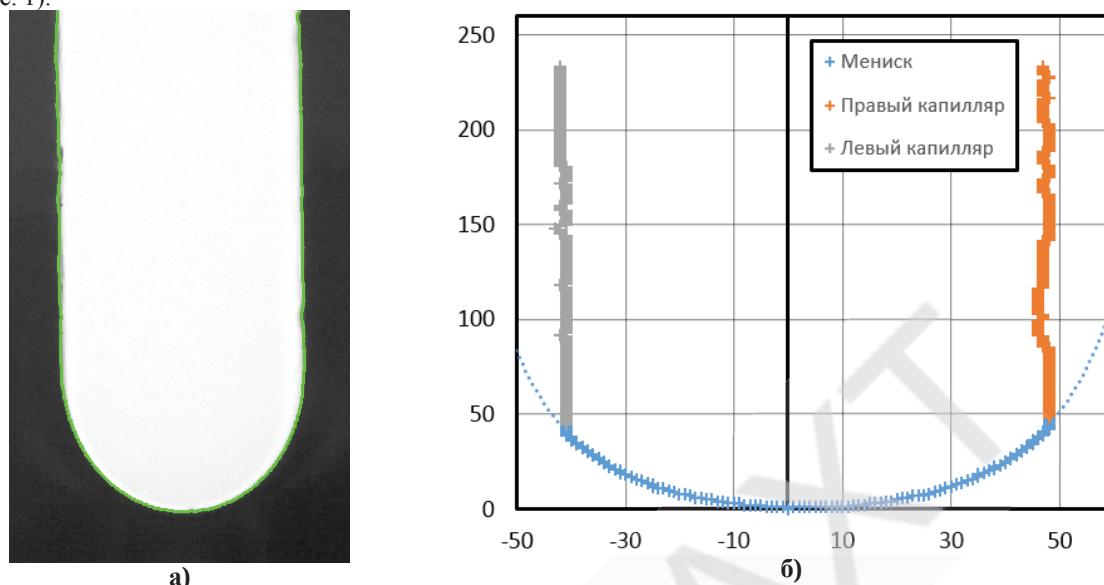


Рис. 1 – Координаты пикселей, принадлежащие границе:
а) наложенные на исходное изображение;
б) на координатной плоскости (на приведенном рисунке не соблюден масштаб)

После определения координат пикселей, принадлежащих границе левый капилляр – мениск – правый капилляр, полученные данные аппроксимировали уравнениями вида:

- для левого капилляра

$$Y_l = A_l + B_l \cdot X_l; \quad (1)$$

- для правого капилляра

$$Y_n = A_n + B_n \cdot X_n; \quad (2)$$

- для мениска

$$Y_m = A_m + B_m \cdot X_m + C_m \cdot X_m^2 + D_m \cdot X_m^3 + E_m \cdot X_m^4 + F_m \cdot X_m^5 + G_m \cdot X_m^6, \quad (3)$$

где, $Y_l, X_l, Y_n, X_n, Y_m, X_m$ – координаты ординат и абсцисс пикселей, принадлежащих левому капилляру, правому капилляру и мениску, соответственно; $A_l, B_l, A_n, B_n, A_m, B_m, C_m, D_m, E_m, F_m, G_m$ – коэффициенты уравнений, полученные в результате аппроксимации.

При дальнейшей обработке полученных данных находились общие решения пар уравнений (1), (3) и (2), (3). При условии $Y_l = Y_m$ определяли точку соприкосновения границ левого капилляра и мениска и соответствующую ей координату – X_1 , а при условии $Y_n = Y_m$ – точку соприкосновения границ правого капилляра и мениска и соответствующую ей координату – X_2 .

Краевой угол смачивания на i -ом капилляре при соответствующей абсциссе X_i определяли по следующей формуле

$$\Theta_i = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \left(\frac{dY_m(X_i)}{dX_m} \right). \quad (4)$$

При исследовании краевого угла смачивания изопропанолом поверхность капилляров-нагревателей загрязнялась наночастицами в процессе кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 , содержавшего 0,0429 масс. % наночастиц Al_2O_3 . Следует отметить, что в данной работе использовались те же капилляры и

та же методика приготовления нанофлюида, что и в работе [2]. Кипение нанофлюида происходило в развитом пузырьковом режиме при средней температуре 68°C и плотности теплового потока 32 кВт/м^2 в течение 10, 60 и 360 мин. После каждого из этих периодов получали цифровые изображения формы мениска в зазоре между капиллярами на нескольких участках. Некоторые из полученных изображений представлены на рис. 2.

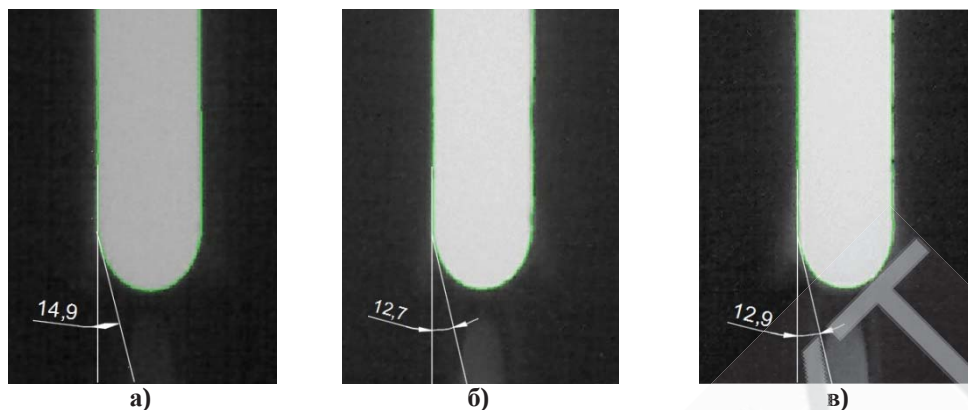


Рис. 2 – Изображения мениска: а) чистая поверхность капилляров (при натекании); б) через 60 минут кипения нанофлюида (при оттекании); в) через 60 минут кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 (при натекании)

Результаты выполненного исследования представлены на рис. 3, из которого следует, что краевой угол смачивания практически не зависит от времени кипения нанофлюида. Авторы зафиксировали лишь отклонения измеренных величин от среднего значения, соизмеримые со стандартным отклонением измерения краевого угла смачивания, не превышающим, по оценке авторов, 2° .

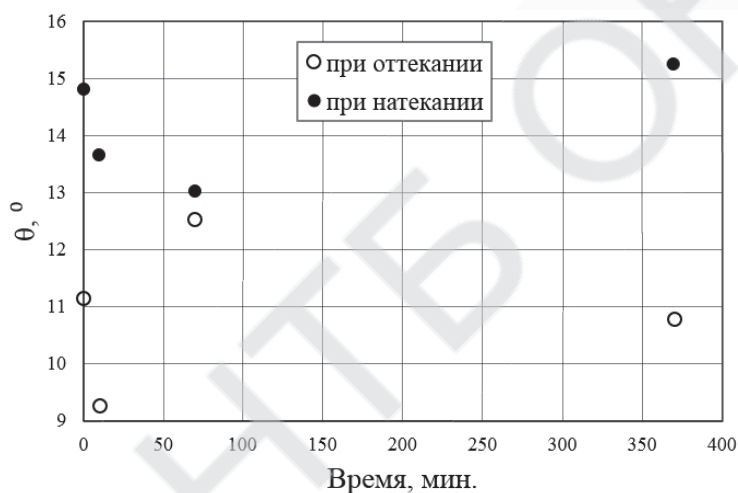


Рис. 3 – Результаты исследования краевого угла смачивания нагревателя изопропанолом в зависимости от времени кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3

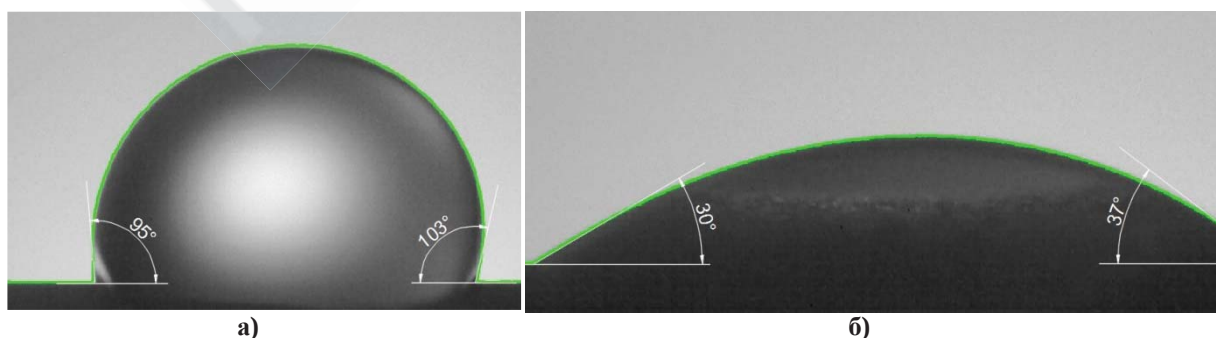


Рис. 4 – Изображения капель воды на поверхности капилляра-нагревателя: а) чистая поверхность; б) поверхность, загрязненная наночастицами в результате кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 в течение 300 мин.

Качественно и количественно отличающийся результат был получен при исследовании краевого угла смачивания поверхности тех же капилляров-нагревателей ограниченно смачивающей их жидкостью - водой. На рис. 4 представлены изображения капель воды на чистой поверхности и на поверхности, загрязненной наночастицами в процессе кипения нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 в течение 300 мин. Как видно из рисунка, краевой угол смачивания уменьшается от $(95...103)^\circ$ для чистой поверхности до $(30...37)^\circ$ для поверхности, загрязненной наночастицами, что качественно согласуется с результатами других авторов [5,6].

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сформулировать вывод о том, что в случае, когда материал нагревателя является гидрофильным по отношению к базовой жидкости нанофлюида, влияние осажденных наночастиц на краевой угол смачивания теплопередающей поверхности не следует рассматривать как фактор, влияющий на характеристики кипения.

Литература

1. Железный, В.П. Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств нанофлюидов изопропиловый спирт/ Al_2O_3 на линии кипения [Текст] / В.П. Железный и др. // XIV российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. – Казань. – 2014. – С. 313 -317.
2. Железный, В.П. Методические особенности экспериментального изучения процессов кипения нанофлюидов в свободном объеме [Текст] / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк, А.Г. Никулин, Н.Н. Лукьянов // Вестник МАХ. – 2014. – №.3. – С. 4-9.
3. Peng, H. Heat transfer characteristics of refrigerant-based nanofluid flow boiling inside a horizontal smooth tube [Text] / H. Peng at al. // Int. J. of Refrigeration. – 2009. – Vol. 32. – P. 1259 – 1270.
4. Железный, В.П. Методические особенности изучения процессов кипения в свободном объеме нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 [Текст] / В.П. Железный и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып.68. – С. 39 - 45.
5. Kim, S.J. Effects of nanoparticle deposition on surface wettability influencing boiling heat transfer in nanofluids [Text] / S.J. Kim, I.C. Bang, J. Buongiorno, L.W. Hu // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol.89(15). – P. 153107-1-3.
6. Phan, H.T. Surface wettability control by nanocoating: The effects on pool boiling heat transfer and nucleation mechanism [Text] / H.T. Phan [et. al.] // Int. J. Heat Mass. Transfer. – 2009. – Vol.52. – P. 5459-5471.

УДК 536.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НАНОФЛЮИДОВ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

Семенюк Ю.В., д-р. техн. наук, доцент, Никулин А.Г., канд. техн. наук
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе приводятся результаты обобщения данных о коэффициенте теплоотдачи при кипении в свободном объеме хладагента R11, изопропанола и нанофлюида изопропанол/ Al_2O_3 . В качестве базовой была принята полумпирическая модель разделения тепловых потоков RPI (Rensselaer Polytechnic Institute). Отклонения эмпирических данных о коэффициенте теплоотдачи и расчетной информации по модели RPI в основном лежат в поле $\pm 5\%$ и не превышают 10% .

Ключевые слова: нанофлюид, кипение, моделирование.

This paper presents the results of pool boiling heat transfer coefficient data generalization for refrigerant R11, isopropanol, and nanofluid isopropanol/ Al_2O_3 . A semi-empirical heat flux partitioning model RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) was used. Deviation of empirical and calculated by RPI model data on the heat transfer coefficient basically belong to the field of $\pm 5\%$ and does not exceed 10% .

Keywords: nanofluid, boiling, modeling.

Анализ работ, посвященных моделированию коэффициента теплоотдачи (КТО) при кипении нанофлюидов в свободном объеме, показывает, что предложенные модели в основном носят эмпирический характер [1,2,3] и могут быть использованы только для исследованных авторами нанофлюидов и условий проведения эксперимента. Обоснованность распространения таких корреляций на другие жидкости и термодинамические условия требует экспериментального подтверждения.

СТРУЙНЫЕ АППАРАТЫ В СИСТЕМАХ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТИ <i>Петухов И. И., Шахов Ю.В.</i>	37
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКЦІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ Й ВТРАТ НАПОРУ ПРИ ВИМУШЕНОМУ РУСІ НАНОХОЛОДОНОСІЯ НА ОСНОВІ ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЮ В ТРУБИ <i>Рябікін С.С., Хлієва О.Я.</i>	41
ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У НАНОФЛЮІДІ ІЗОПРОПІЛОВИЙ СПИРТ / НАНОЧАСТИНКИ Al_2O_3 <i>Лозовський Т. Л., Железний В. П., Мотовой И. В., Гордейчук Т.В.</i>	42
АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ <i>Хлієва О.Я.</i>	43
ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ПОСІДНАННЯ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ З АЛІФАТИЧНИМИ СПИРТАМИ <i>Бойченко С.В., Кондакова О.Г.</i>	45
ВРАХУВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА УМОВ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ГТС ТА ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ CNG СУДНА <i>Волинський Д. А.</i>	46
ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСТИЛАМИ <i>Геллер В.З., Губанов С.Н.</i>	50
РЕЗУЛЬТАТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОГЕННЫХ ЛИОФОБНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО СЕЛИКАГЕЛЯ <i>Железний В.П., Лозовський Т.Л., Лук'янов М.М., Нікулін А.Г.</i>	50
УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕТЕРОГЕННИХ ЛІОФОБНИХ СИСТЕМ <i>Железний В.П., Лозовський Т.Л., Лук'янов М.М., Нікулін А.Г.</i>	52
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ РІДКОЇ ФАЗИ РОЗЧИНІВ ДИМЕТИЛОВОГО ЕТЕРУ (DME) З ТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛЕМ (TEG) <i>Івченко Д.О., Мотовой І.В., Лозовський Т.Л.</i>	54
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ НАНОФЛЮІДІВ ІЗОПРОПАНОЛ / Al_2O_3 <i>Лозовський Т.Л., Полюганіч М.П., Швидюк Г.О.</i>	55
ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНІВ C_{60} НА В'ЯЗКІСТЬ КОМПРЕСОРНОГО МАСЛА ХФ16-12 І РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТУ R600a / МАСЛО ХФ16-12 <i>Мороз С.О., Лозовський Т.Л., Лук'янов Н.Н.</i>	57
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ Й РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ ТА В'ЯЗКОСТІ трикомпонентних ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СПИРТІВ <i>Полюганіч М.П., Хлієва О.Я., Нікуліна А.С.</i>	59
ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХЛОДОГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСЛАМИ <i>Романенко В.С.</i>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОФЛЮИДАМИ ПРИ ИХ КИПЕНИИ <i>Семенюк Ю.В., Никулин А.Г.</i>	62
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НАНОФЛЮИДОВ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ <i>Якуб Л.Н., Бодюл Е.С.</i>	65
ПЛАВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА СОСУЩЕСТВУЮЩИХ ФАЗ МЕТАНА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ	69
СЕКЦІЯ 3	
Енергоресурсозбереження в нафтогазовому комплексі	72
ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ <i>Андерсон А.Ю., Кологривов М.М.</i>	73
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСЧЁТЕ ВРЕМЕНИ СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АЗС <i>Бузовский В.П., Кологривов М.М.</i>	77
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ТИСКУ В ЛІНІЙНІЙ ЧАСТИНІ МАГІСТРАЛЬНОГО НАФТОПРОВОДУ ПРИ ЗАПУСКАХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ <i>Григорський С. Я., Середюк М. Д.</i>	81

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

XVI Всеукраїнської

науково-технічної конференції

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ

ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса

Підписано до друку 28.09.2016 р.
Формат 60x84/8. Папір Офс.
Ум. арк. 34,64 . Наклад 300 примірників.

Видання та друк: ФОП Грінь Д.С.,
73033, м. Херсон, а/с 15
e-mail: dimg@meta.ua
Свід. ДК № 4094 від 17.06.2011