

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.

Ольшевська 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 3:**  
**ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**  
**В НАФТОГАЗОВОМУ КОМПЛЕКСІ**

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСЧЁТЕ ВРЕМЕНИ СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АЗС

Бузовский В.П., Кологривов М.М., канд. техн. наук, доцент  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Представлена математическая модель расчёта времени слива топлива в подземные резервуары АЗС из автомобильных цистерн. Учёт переменного напора и работа дыхательных клапанов приёмного резервуара и автомобильной цистерны. Результаты численного решения данной задачи сопоставлены с результатами, полученными по инженерной методике Коршака А.А.

**Ключевые слова:** численное моделирование, заглубленный горизонтальный резервуар, автозаправочная станция, слив бензина, гидравлический расчет.

From filling stations tank trucks into underground tanks mathematical model of fuel unloading time calculation is presented in this article. The variable head and the working of the storage tank and the tank truck breathing valves are taken into account. The results of the numerical solution of this task are compared with the results obtained by the Korshak A.A. method.

**Key words:** numerical modeling, underground tank, filling station, gasoline unloading, hydraulic calculation.

Светлые нефтепродукты доставляются на АЗС автобензовозами, откуда сливаются самотёком в заглубленные резервуары (рис. 1). Особенности гидравлического расчета при сливе нефтепродуктов обусловлены конструкцией приёмного резервуара и автомобильной цистерны, и наличием дыхательных клапанов на них. Кроме того, слив будет происходить при переменном, постепенно уменьшающемся напоре, т.е., строго говоря, течение является неустановившимся [2].

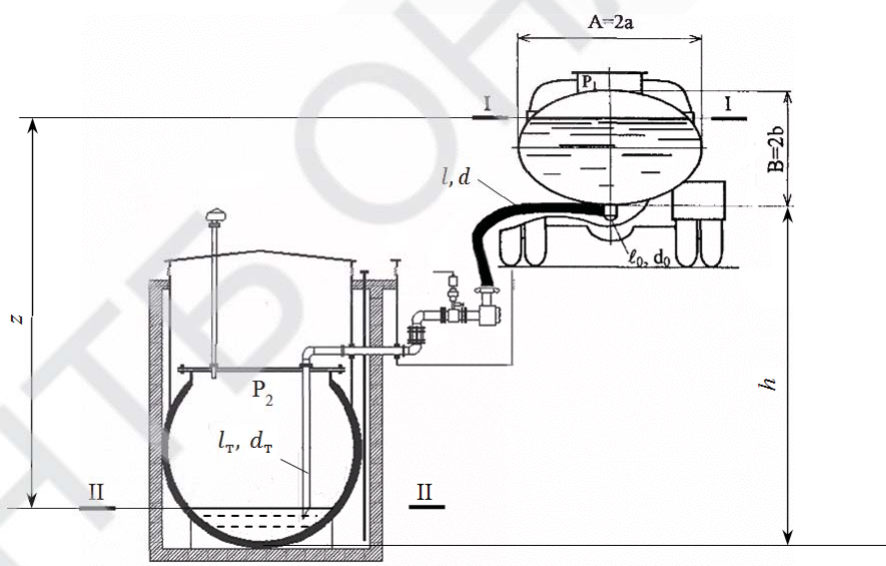


Рис. 1 – Схема слива нефтепродукта в подземный резервуар

Для инженерного расчета времени слива применяют методику Коршака А.А. [1]. Время слива определяется по средней скорости движения жидкости в приёмном трубопроводе  $l_m$  (рис. 1):

$$\tau_{сл} = \frac{V_{сл}}{f_m v_{cp}}, \quad (1)$$

где  $V_{сл}$  – сливаемый объём нефтепродукта;  $f_m$  – площадь сечения приёмного трубопровода;  $v_{cp}$  – средняя скорость жидкости в приёмном трубопроводе.

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (2)$$

где скорости  $v_1, v_2$  определяются для момента начала слива и его окончания соответственно.

Если строго рассматривать задачу о сливе нефтепродукта, то следует записать дифференциальное уравнение процесса выравнивания жидкости [3]:

$$dt = -\frac{F_u F_p}{F_u + F_p} \frac{dz}{Q_{mn}} \quad (3)$$

где  $F_u, F_p$  – площадь сечения зеркала жидкости в цистерне и в подземном резервуаре соответственно;  $Q_{mn}$  – объёмный расход нефтепродукта;  $z$  – разность уровней жидкости.

Расход нефтепродукта  $Q_{mn}$  зависит от разности уровней жидкости в резервуарах, коэффициента расхода и от давлений в газовых пространствах цистерны и резервуара:

$$Q_{mn} = \mu f_m \sqrt{2g \left( z + \frac{P_1 - P_{am}}{\rho g} - \frac{P_2 - P_{am}}{\rho g} \right)}, \quad (4)$$

$\mu$  – коэффициент расхода;  $P_1, P_2$  – абсолютное давление в газовых пространствах цистерны и резервуара соответственно;  $\rho$  – плотность нефтепродукта;  $P_{am}$  – атмосферное давление.

До того как откроется дыхательный клапан автомобильной цистерны, давление  $P_1$  изменяется по закону изотермического расширения. В момент открытия клапана и до конца операции, будем считать, что абсолютное давление  $P_1$  меньше атмосферного на величину  $P_{кв}$  настройки дыхательного клапана на вакуум:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{P_{10} V_{10}}{V_1}, & \text{если } \frac{P_{10} V_{10}}{V_1} > P_{am} - P_{кв} \\ P_1 = P_{am} - P_{кв}, & \text{если } \frac{P_{10} V_{10}}{V_1} < P_{am} - P_{кв} \end{cases} \quad (5)$$

где  $P_{10}, V_{10}$  – абсолютное давление и объём газового пространства цистерны соответственно к моменту начала операции;  $V_1$  – текущий объём газового пространства.

По мере повышении уровня жидкости в подземном резервуаре абсолютное давление  $P_2$  будет увеличиваться согласно закону изотермического сжатия. В момент, когда избыточное давление  $P_2 - P_{am}$  достигнет величины большей, чем величина настройки клапана на предельное избыточное давление  $P_{кд}$ , клапан откроется. Приблизительно будем считать, после открытия клапана давление в резервуаре будет постоянным и равным  $P_{am} + P_{кд}$ :

$$\begin{cases} P_2 = \frac{P_{20} V_{20}}{V_2}, & \text{если } \frac{P_{20} V_{20}}{V_2} < P_{am} + P_{кд} \\ P_2 = P_{am} + P_{кд}, & \text{если } \frac{P_{20} V_{20}}{V_2} > P_{am} + P_{кд} \end{cases} \quad (6)$$

где  $P_{20}, V_{20}$  – абсолютное давление и объём газового пространства резервуара соответственно к моменту начала операции;  $V_2$  – текущий объём газового пространства.

Величины  $F_u, F_p$  и  $V_1, V_2$  должны быть выражены как функции от разности уровней жидкости  $z$ . В силу сложной геометрической формы рассматриваемых ёмкостей аналитическое выражение данных

величин представляє труднощі. Поєтому данна задача решена нами численним путем.

Численне рішення задачі о времени слива  $10 \text{ м}^3$  бензина плотностью  $\rho = 740 \text{ кг/м}^3$  в подземный резервуар АЗС выполнено для следующих условий:

тип резервуара.....	РГС 25;
модель автобензовоза.....	АЦ-10-260;
начальный уровень бензина в резервуаре.....	1 м;
разность между образующими цистерны и резервуара, $h$ .....	4 м;
диаметр сливного патрубка цистерны, $d_0$ .....	0.075 м;
длина сливного патрубка цистерны, $l_0$ .....	0.3 м;
длина рукава, $l$ .....	3 м;
диаметр рукава, $d$ .....	0.075 м;
длина приёмного трубопровода, $l_m$ .....	3 м;
диаметр приёмного трубопровода, $d_m$ .....	0.08 м;
коэффициент местного сопротивления	
на выходе из цистерны.....	0.5;
колена.....	1.3;
огневого преградителя.....	5;
фильтра.....	1.7;
муфты сливной.....	1;
задвижки.....	0.05;
на выходе из сливного трубопровода.....	1;
атмосферное давление, $P_{am}$ .....	101300 Па;
давление срабатывания дыхательного клапана резервуара, $P_{кд}$ .....	1900 Па;
вакуум срабатывания дыхательного клапана цистерны, $P_{кв}$ .....	250 Па;
температура газового пространства.....	293 К;
вязкость бензина.....	1 сСт;

Время слива  $\tau_{сл}$  при данных условиях составило 18.3 мин (1096 с). Согласно расчетам, через время  $t_1 = 0.4 \text{ с}$  (рис. 2) при достижении вакуума 250 Па откроется дыхательный клапан автомобильной цистерны. Предполагается, что далее давление  $P_1$  не меняется.

Спустя время  $t_2 = 29.3 \text{ с}$  от начала операции вследствие превышения избыточного давления в резервуаре над давлением срабатывания клапана, последний откроется и выпустит часть паровоздушной смеси. Предполагается далее давление  $P_2$  также не меняется.

Рисунок 3 позволяет проследить как меняется объёмный расход нефтепродукта во времени. Так, максимальный расход составил  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  в начале операции, а минимальный –  $26.3 \text{ м}^3/\text{ч}$  в конце. На рисунке 3 следует выделить участок продолжительностью  $t_2 = 29.3 \text{ с}$  от начала операции, на котором скорость уменьшения расхода выше, чем на остальном участке. Обусловлено это работой дыхательных клапанов, которые, находясь в закрытом состоянии в начале слива, задерживают движение бензина.

При аналогичных входных данных был выполнен расчет по инженерной методике Коршака А.А. [1], согласно которому время слива должно составить 17.7 мин (1061 с), что на 3.2 % меньше результата, полученного в ходе решения дифференциального уравнения (3).

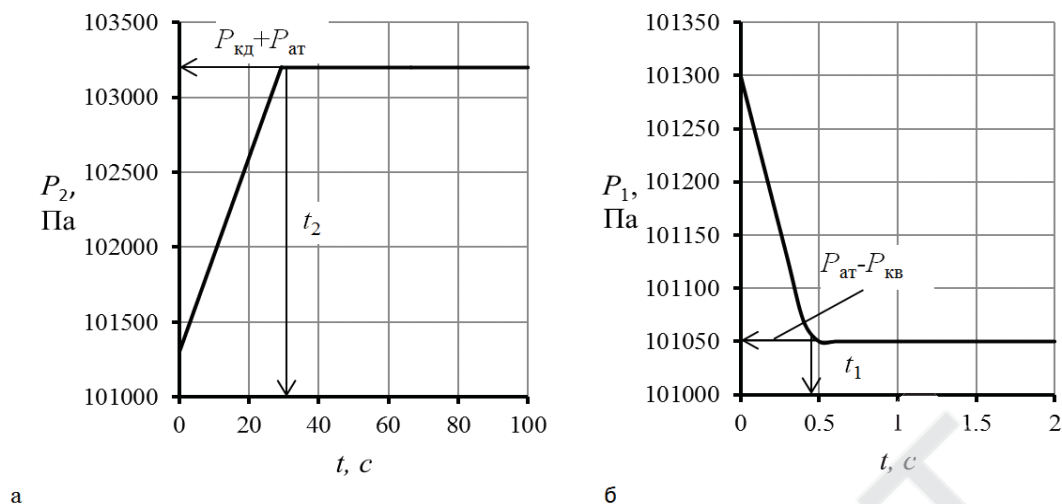


Рис. 2 – График изменения абсолютного давления в резервуаре (а) и в цистерне (б)

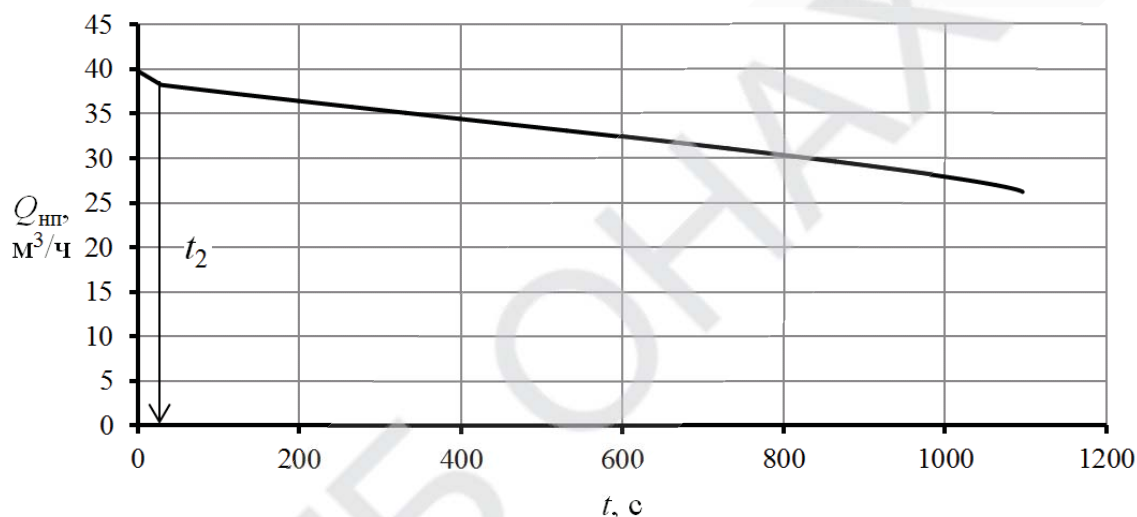


Рис. 3 – График изменения расхода сливаемого нефтепродукта во времени

### Выводы

Представленная математическая модель решения задачи о расчете времени слива нефтепродуктов позволяет учесть переменный напор, переменную площадь сечения ёмкостей и изменение давлений в резервуарах вследствие изотермического расширения и сжатия. Сравнение результатов расчётов по точной математической модели и по приближенной инженерной методике, показало, что их различие для практики незначительное.

Методику численного решения времени слива нефтепродукта предполагается использовать при проектировании систем улавливания уходящих из резервуара паров нефтепродукта.

### Литература

1. П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2002. – 658 с.
2. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы: [Учебник для машиностроит. специальностей вузов] / Под ред. Т. М. Башты. — М.: Машиностроение, 1970. — 504 с.
3. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвидз и др.; Под ред. И.И. Куколевского, Л.Г. Подвидза. – 5-е изд., стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 448 с.

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 НАНОФЛЮЇДІ 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 ПОСДНАННЯ 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 LNG СУДНА <i>Волинський Д. А.</i> .....	46
ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ R407C I R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСТИЛАМИ <i>Геллер В.З., Губанов С.Н.</i> .....	50
РЕЗУЛЬТАТЫ 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 НАНОФЛЮЇДІВ 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 I 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
<b>СЕКЦІЯ 3</b>	
<b>Енергоресурсозбереження в нафтогазовому комплексі</b> .....	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