

УДК 622.691

## УНІВЕРСАЛЬНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПРУЖНОСТІ ПАРІВ НАФТИ ВІД СПІВІДНОШЕННЯ ФАЗ І ТЕМПЕРАТУРИ

Д. В. Лісафін, В. П. Лісафін

ІФНТУНГ, 76000, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15

e-mail: dmitry.lisafin@gmail.com

*Наведено результати експериментального дослідження процесів випаровування нафти сорту Urals у закритій ємності за різних співвідношень газоподібної та рідкої фаз. За результатами експерименту встановлено універсальну залежність пружності насичених парів нафти в закритій ємності від співвідношення фаз та температури. Наведені коефіцієнти для різних співвідношень фаз для нафти сорту Urals.*

Ключові слова: процеси випаровування нафти, тиск насичених парів нафти, пружність парів нафти, співвідношення фаз

*Приведены результаты экспериментального исследования процессов испарения нефти сорта Urals в закрытой емкости при различных соотношениях газообразной и жидкой фаз. По результатам эксперимента установлена универсальная зависимость упругости насыщенных паров нефти в закрытой емкости от соотношения фаз и температуры. Приведены коэффициенты для разных соотношений фаз для нефти сорта Urals.*

Ключевые слова: процессы испарения нефтей, давление насыщенных паров нефти, упругость паров нефти, соотношение фаз

*The results of experimental research of evaporation processes of Urals oil sort in the closed capacity at different correlation gaseous and liquid phases has been shown in the article. On results of experiment the universal dependence of the oil saturated steams resiliency in the closed capacity from correlation of phases and temperature is set. The coefficients for different correlations of phases for oil of sort Urals has been introduced.*

Keywords: processes of oil evaporation, pressure of saturated oils steams, resiliency oils steams, correlations of phases

У загальному балансі втрат нафти і нафтопродуктів значну частину складають втрати від випаровування. Такі втрати пов'язані як з природою самої нафти, так і з недосконалістю технологічних процесів її транспортування і зберігання. Втрати нафти супроводжуються зменшенням початкової її кількості та одержаних з неї нафтопродуктів. Крім того, погіршуються фізико-хімічні властивості сировини та нафтопродуктів, відбувається забруднення навколишнього середовища, підприємства з транспортування, зберігання та реалізації нафти і нафтопродуктів несуть фінансові витрати.

Щорічно за різними оцінкам в атмосферу планети викидається близько від 50 до 90 млн. т вуглеводнів. Значна частина цих викидів має місце на підприємствах нафтопереробної та нафтогазовидобувної галузей промисловості. Викидами вуглеводнів в атмосферу на цих підприємствах є, переважно, пари нафти та нафтопродуктів. В окремих випадках сумарні втрати нафти та нафтопродуктів від випаровування можуть досягати 5 % від загального обсягу переробленої сировини. За даними European Environment Agency (Європейського бюро з охорони навколишнього середовища) втрати нафти можуть складати величину понад 40 г на тону нафти, що зберігається. Звичайно, що величина втрат нафти залежить від конкретних умов її зберігання, характеру операцій з наповнення та випорожнення ємностей, їх технічного стану і стану обладнання.

Із зростанням вимог до екологічної і промислової безпеки магістральних нафтопроводів виникає необхідність розробки методик оцінювання показників емісії вуглеводнів нафти з резервуарних парків у довкілля, розробці рекомендацій щодо зниження і запобігання втрат. Поки що відсутні науково обгрунтовані показники емісії парів вуглеводнів з резервуарів в атмосферне повітря або питомих викидів – викидів на одиницю обсягу перекачування нафти, які можуть бути підставою для стягнення збору за забруднення довкілля. Ці питання залишаються актуальними в Україні та інших країнах світу.

На сьогодні втрати нафти від випаровування при транспортуванні і зберіганні визначаються за нормами втрат, що були розроблені у 70-90 роках минулого століття. Ці норми враховуються для визначення втрат нафти при перекачуванні партій нафти конкретними ділянками магістральних

нафтопроводів, а також використовуються у випадках її фактичної нестачі (це виявляється за результатами інвентаризації нафти).

Встановлення причин, через які виникають втрати від випаровування нафти є важливою господарською задачею.

Для правильної розробки заходів із зменшення втрат нафти від випаровування велике значення має точність їх розрахунку, особливо в залежності від основних факторів, що на них впливають. Процеси випаровування і насичення газового простору резервуарів залежать від температурного режиму резервуара, властивостей нафти, розмірів і ступеня наповнення резервуарів та інш.

Для розрахунку втрат від випаровування необхідні дані про фізико-хімічні властивості нафти. До основних таких властивостей слід віднести залежність пружності парів нафти від температури. Тиск насиченої пари складається з тисків, що створюють пари окремих вуглеводнів. Парціальний тиск пари кожного з вуглеводнів у насиченій газоповітряній суміші приблизно пропорційний пружності його насичених парів за даної температури і концентрації у нафті.

За звичайних методах визначення пружності парів (наприклад, у бомбі Рейда) над поверхнею залитої у прилад нафти є не заповнений рідиною (зайнятим повітрям) об'єм, який у процесі вимірювання насичується парами за рахунок часткового випаровування взятої для аналізу проби. При певній величині співвідношення об'ємів газової і рідкої фаз кількість нафти, що переходить у газоподібний стан тим вище, чим вище температура.

Для оцінки втрат нафти та нафтопродуктів з різних джерел викидів вуглеводневих з'єднань використовуються різноманітні методики. Нафта за своєю природою є складною сумішшю вуглеводнів та інших речовин, які мають різний ступінь випаровування. Оскільки склад рідкої фази із випаровуванням компонентів змінюється, то змінюються показники випаровування залежно від співвідношення парової і рідкої фаз. При цьому один з основних показників нафти, що характеризує її випаровування – пружність парів, залежить від фракційного і вуглеводневого складу нафти та її температури і, як нами було встановлено, співвідношення газової та рідкої фаз.

За нормальних умов експлуатації резервуар – це герметична, закрита посудина і процеси випаровування в ній відбуваються за законами випаровування в закритій ємності.

Якщо в закритій ємності над поверхнею рідини є вільний простір, то він поступово насичується парами цієї рідини. Фізично відбувається процес масообміну між рідиною та паровою фазою, тобто перехід речовини з одної фази в іншу. При переході речовини з рідкого стану в парову фазу відбувається випаровування і, навпаки, при переході з парової фази в рідку – відбувається конденсація. Перехід речовини в обох фазах здійснюється шляхом молекулярної та конвективної дифузії (проникнення). При молекулярній дифузії виникає проникнення молекул з рідини в пар (випаровування) або з пари в рідину (конденсація). При конвективній дифузії проходить перенесення рухомих частинок речовини за рахунок теплових впливів. В межах кожної фази, де виникають інтенсивні переміщення, перенесення речовини здійснюється головним чином за рахунок конвективної дифузії.

Між рідкою та паровою фазами існує граничний прошарок, який характеризується різкою зміною концентрації речовини. В області цього прошарку перенесення речовини здійснюється одночасно шляхом конвективної та молекулярної дифузії, при цьому з мірою наближення до поверхні розділення фаз, конвективні потоки зменшуються і починається молекулярна дифузія. При усталеному процесі на межі розділу фаз спостерігається рівновага між концентраціями обох фаз. Процес випаровування протікає в часі і тому рівновага стану досягається не одразу.

Якщо випаровування проходить у відкритій посудині, коли пари безперервно та повністю відводяться від поверхні рідини в атмосферу, то випаровування здійснюється з сталою та максимальною швидкістю, і, навпаки, в закритій посудині (резервуарах) процес випаровування з такою швидкістю проходить тільки в початковий момент, а потім він поступово сповільнюється.

Швидкість випаровування – це кількість рідини, яка випаровується за одиницю часу. Вона залежить від декількох чинників. Головними з них є пружність парів, фракційний склад та температурні зміни. Важливе значення також має площа поверхні випаровування, товщина шару рідини, величина коефіцієнта дифузії парів у повітря тощо.

Пружність парів нафти та нафтопродуктів (тиск насиченої пари) характеризує наявність в них легких фракцій, випаровуваність яких збільшуються з підвищенням температури. Пружність парів визначає їх парціальний тиск в утвореній пароповітряній суміші а, отже концентрацію парів вуглеводнів у суміші з повітрям.

Розрахунки втрат нафт від випаровування здійснюються за допомогою з використанням показника – пружності парів за температури 38 °С при співвідношенні парової і рідкої фаз 4:1. Пружність парів визначається за відомими методиками за допомогою стандартної лабораторної апаратури за ГОСТ 1756-2000 (ИСО 3007-99) "Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров".

Реальні умови зберігання нафт суттєво відрізняються від лабораторних – співвідношення фаз та температура в закритій ємності можуть коливатися у широких межах. Тому виникає необхідність дослідити вплив співвідношення фаз рідкої і газової фази за різних температур.

З метою вивчення закономірностей процесу випаровування нафт в залежності від зміни температурного режиму та співвідношення газової та рідкої фаз, була проведена серія експериментів в ході яких були досліджені вплив температури і співвідношення фаз на величину пружності їх парів. Для дослідів використовувалися щойно відібрані ("свіжі") проби нафти російської експортної суміші, яка займає переважну частку серед нафт, які транспортуються магістральними нафтопроводами України.

З метою визначення динаміки зміни пружності парів нафти від температури, а також вивчення впливу співвідношень парової та рідкої фази, були внесені певні зміни у стандартну методику по їх визначенню. Самі зміни не порушували суть проведення дослідів за нормативними документами, а лише дозволили фіксувати дані по тиску насичених парів за різних температур та співвідношеннях фаз.

Визначення тиску насичених парів в повітряній камері при різних співвідношеннях рідкої та парової фази в залежності від температури проводилось з кроком 5 °С до 38 °С включно, починаючи з "вихідної температури повітря". Під останньою приймалася температура повітря у повітряній камері "бомби" перед випробуванням. Для обчислення "дійсного" тиску насичених парів досліджуваної нафти в показ манометра - "невиправленого тиску насичених парів" вводилася поправка на зміну тиску повітря і насичених парів води в повітряній камері, яка викликана різницею між "вихідною температурою" повітря і температурою водяної "бані".

Результати дослідів представлені в таблиці 1.

За результатами дослідів були отримані експериментальні криві, показані на рисунку 1. Досліди проведені для співвідношення фаз 1:1, 2:2, 3:1, 4:1 (об'єм повітря до об'єму нафти).

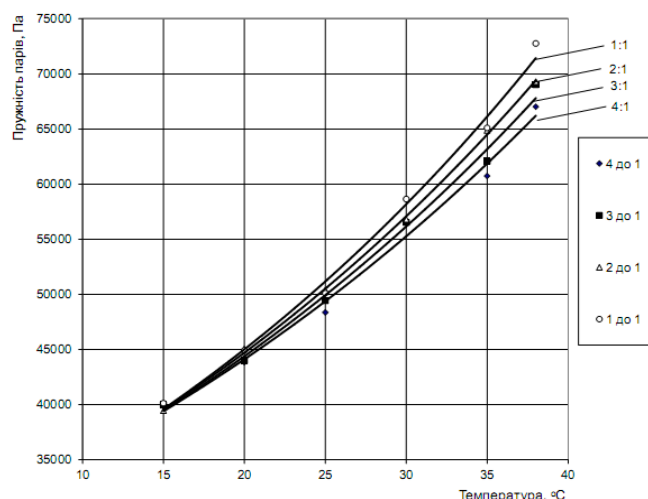


Рисунок 1 – Залежність пружності парів нафти сорту Urals від температури і співвідношення фаз

Як показала математична обробка результатів дослідів, залежність пружності парів нафти від температури при певному співвідношенні фаз з достатньою точністю може бути описана рівнянням

$$P_{st} = ae^{bt}, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти;  $t$  – температура нафти.

Таблиця 1 - Результати визначення пружності парів нафти за різних співвідношень фаз

Співвідношення фаз об'єму повітря до об'єму нафти)	"Вихідна" температура парів, °С	Барометричний тиск, Па	Температура визначення пружності парів, °С	"Невиправлений" тиск насичених парів, ммрт.ст	"Невиправлений" тиск насичених парів, Па	Пружність парів води при "вихідній температурі", Па	Пружність парів води при температурі заміру пружності парів нафти, Па	Поправка, Па	Пружність парів, при температурі "бомби", Па
4 до 1	15	98908,6	15	318	42389,4	1705	1705	-2537	39833
4 до 1	15	98908,6	20	371	49454,3	1705	2337	-5604	43830
4 до 1	15	98908,6	25	425	56652,5	1705	3166	-8294	48359
4 до 1	15	98908,6	30	462	61584,6	1705	4242	-5063	56522
4 до 1	15	98908,6	35	511	68116,3	1705	5622	-7382	60734
4 до 1	15	98908,6	38	572	76247,6	1705	6623	-9224	67024
3 до 1	15	98908,6	15	319	42522,7	1705	1705	-2537	39986
3 до 1	15	98908,6	20	372	49587,6	1705	2337	-5604	43983
3 до 1	15	98908,6	25	433	57718,9	1705	3166	-8294	49425
3 до 1	15	98908,6	30	462	61584,6	1705	4242	-5063	56522
3 до 1	15	98908,6	35	521	69449,3	1705	5622	-7382	62067
3 до 1	15	98908,6	38	587	78247,1	1705	6623	-9224	69023
2 до 1	15	98775,3	15	315	41989,5	1705	1705	-2537	39453
2 до 1	15	98775,3	20	380	50654	1705	2337	-5602	45052
2 до 1	15	98775,3	25	440	58652	1705	3166	-8289	50363
2 до 1	15	98775,3	30	464	61851,2	1705	4242	-5056	56795
2 до 1	15	98775,3	35	542	72248,6	1705	5622	-7373	64875
2 до 1	15	98775,3	38	589	78513,7	1705	6623	-9213	69300
1 до 1	15	98508,7	15	320	42656	1705	1705	-2537	40119
1 до 1	15	98508,7	20	379	50520,7	1705	2337	-5597	44923
1 до 1	15	98508,7	25	438	58385,4	1705	3166	-8280	50106
1 до 1	15	98508,7	30	465	61984,5	1705	4242	-3337	58648
1 до 1	15	98508,7	35	526	70115,8	1705	5622	-5018	65098
1 до 1	15	98508,7	38	591	78780,3	1705	6623	-6026	72754

В таблиці 2 представлені значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  при різних співвідношеннях фаз.

**Таблиця 2 – Коефіцієнти математичної моделі (1) за різних співвідношень фаз**

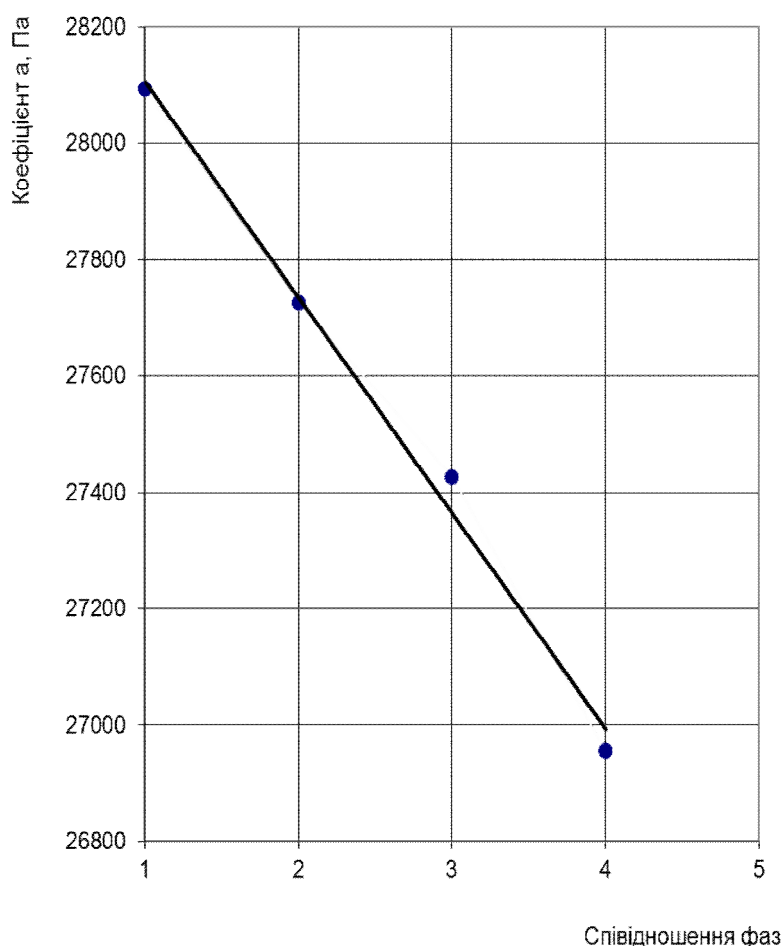
Співвідношення фаз (об'єм повітря до об'єму рідини)	Коефіцієнти математичної моделі (1)		Достовірність апроксимації
	$a$ , Па	$b$ , $\frac{1}{^\circ\text{C}}$	
4 до 1	28093	0,022562	0,992
3 до 1	27727	0,023531	0,995
2 до 1	27427	0,024438	0,999
1 до 1	26955	0,026955	0,995

Позначивши співвідношення фаз через  $n$ , можна отримати наступні залежності для коефіцієнтів  $a$  і  $b$

$$a = 28479 - 371,4n \quad (2)$$

$$b = 215 + 1016n \quad (3)$$

При цьому достовірність апроксимації коефіцієнтів  $a$  і  $b$  близька до 1.



**Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта  $a$  від співвідношення фаз**

Таким чином у загальному випадку формула (1) із урахуванням (2) і (3) може бути записана у вигляді

$$P_{st} = (k_1 - k_2 n) \cdot e^{(k_3 + k_4 n)t}, \quad (4)$$

де  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коефіцієнти.

Останні визначаються для кожної конкретної партії нафти.

Таким чином, отримана універсальна залежність пружності парів нафти від температури і співвідношення фаз. Остання може бути широко використана для оцінки втрат нафти від випаровування, у тому числі з метою розробки заходів енергозбереження в процесах її зберігання.

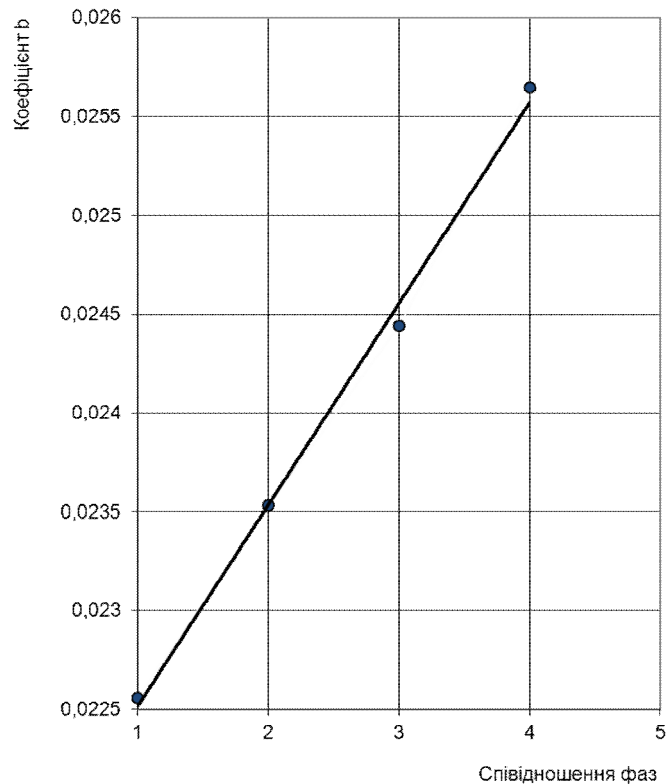


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта  $b$  від співвідношення фаз

### Література

1. Бойченко С.В. Рациональное использование углеводневых топлив: Монография. / Бойченко С.В. – К.: НАУ, 2001. – 216 с.
2. Абузова Ф.Ф., Бронштейн И.С., Новосёлов В.Ф. и др. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении. – М.: Недра, 1981. – 248 с.
3. Лісафін Д.В. Дослідження параметрів газоповітряних сумішей нафт в експериментальній установці // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №1. – С. 67-69
4. ГОСТ 1756-2000 (ИСО 3007-99) "Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров".

Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12

Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
"Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу",  
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.