

ТЕХНОЛОГІЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ ТА ГАЗУ

О. О. Романчук, П. І. Топільницький, Т. В. Ярмола

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної технології переробки нафти і газу
petro.i.topilnytskyi@lpnu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКІСНО-ТЕМПЕРАТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАЖКИХ НАФТ ЯБЛУНІВСЬКОГО РОДОВИЩА УКРАЇНИ

<https://doi.org/10.23939/ctas2023.02.038>

Досліджено в'язкісно-температурні властивості високов'язких нафт із трьох свердловин Яблунівського родовища (Полтавська обл., Україна) за допомогою ротаційного віскозиметра. За характером кривих залежності динамічної в'язкості та напруження зсуву від швидкості зсуву встановлено характер течії цих нафт, що має практичне значення для оцінювання ефективності різних способів дії на реологічну поведінку цих нафт під час їх видобування та транспортування.

Ключові слова: важка нафта; транспортування нафти; реологічні властивості нафти.

Вступ

Нафта є одним із найцінніших активів у світі. Ціни на нафту змінюються щодня у відповідь на коливання умов, які впливають на попит і пропозицію. Глобальний попит на нафту неухильно зростає протягом останніх двадцяти років, оскільки світовий попит на нафту збільшився із 60 мільйонів барелів на день до 84 мільйонів барелів на день [1]. Ринкова ціна на важку нафту становить лише приблизно половину ціни на легку сиру нафту.

Транспортування важкої нафти стало складною і високотехнічною операцією. Найбільші труднощі виникають під час транспортування по трубопроводах нафт з високою в'язкістю, які потребують ефективних і економних способів транспортування. Густина важкої нафти наближається до густини води або навіть перевищує її. Зазвичай вони надзвичайно в'язкі, із консистенцією від важкої патоки до твердої речовини за кімнатної температури. Високов'язку нафту важко перекачувати по трубопроводах через високі концентрації сірки та деяких металів, зокрема нікелю та ванадію. Важка нафта – це складні рідини, які можуть спричинити різноманітні трудно-

щі під час виробництва, сепарації, транспортування та переробки нафти [1].

Важка нафта є одним із різновидів нафти, що містить довголанцюгові вуглеводні. Усі типи важких нафт містять асфальтени і тому вважаються дуже густими речовинами. Асфальтени – одні з найскладніших і найважчих органічних сполук, наявних у важкій нафті. Тому такі нафти надзвичайно складно зневоднити, а це може спричинити корозію нафтозаводського обладнання та призвести до аварійної зупинки всього НПЗ [2, 3].

Україна – держава із достатньо потужним вуглеводневим потенціалом надр, котрий формується як з “традиційних”, так і з “нетрадиційних” джерел вуглеводнів. В Україні передусім це високов'язка нафта. Запаси таких нафт успішно освоюють у США, Канаді та в інших країнах світу. Для України вони надзвичайно актуальні, оскільки є комплексною сировиною для цілої низки галузей народного господарства, але, на жаль, сьогодні їм приділяють недостатньо уваги [4–7].

Дуже часто родовища високов'язкої нафти являють собою складну багатошарову систему,

в якій різні “поверхи” не тільки мають різні фільтраційно-ємнісні властивості, різняться й властивості пластового флюїду [8]. Найважливішою умовою утворення покладів важких і високов'язких нафт є втрата легких фракцій в областях тектонічних порушень, а також гідрогеохімічне і біохімічне окиснення нафт в зонах палео- і сучасного гіпергенезу. Пластові води в цих зонах окиснюють нафту за рахунок перенесення хімічних окиснювачів і різних мікроорганізмів, що вступають в реакції, в ході яких в'язкість нафт збільшується, а рухливість зменшується. За рахунок цих факторів відбуваються вторинні перетворення нафт і збагачення їх важкими фракціями [9].

Все це призводить до підвищення собівартості видобування, вартості транспортування наявними нафтопроводами та утрудненої нафтопереробки за класичними схемами [9, 10]. Оскільки у високов'язких нафтах невеликий вміст бензинових та дизельних фракцій і значний вміст мазуту, температура застигання якого висока, такі нафти небажано переробляти у традиційній схемі нафтопереробного заводу. Проте вони є хорошою сировиною для одержання бітуму, на відміну від класичних нафт, бітуми з яких необхідно потім модифікувати [11–14]. Це зазвичай підвищує собівартість бітуму та ускладнює схему одержання.

Важливими параметрами продукції нафтових родовищ є реологічні властивості. Дослідження реологічних властивостей дає змогу обґрунтувати і реалізувати ефективні комплексні технології підвищення нафтовіддачі під час експлуатації певних об'єктів [15–17]. Особливість реологічних властивостей важких нафт проявляється у мінливості їх динамічної в'язкості, що залежить від прикладеної напруги зсуву і швидкості руху рідини [17]. Така течія нафти є не ньютонівською і визначається її колоїдно-хімічним станом (складом дисперсної фази і дисперсійного середовища), характером міжмолекулярних взаємодій, структуроутворення. Закономірності руху неньютонівських рідин мають певні особливості.

Для звичайних, або ньютонівських, рідин залежність між напруженням зсуву τ та градієнтом швидкості $\frac{d\omega}{dn}$ виражається прямою, яка проходить через початок координат з тангенсом кута нахилу, який дорівнює в'язкості μ . А в'язкість неньютонівських рідин за таких температури та

тиску не залишається постійною, а змінюється залежно від швидкості зсуву, його тривалості, або “попередньої історії” рідини, а також від конструкції апарата. Тому залежність τ від $\frac{d\omega}{dn}$ для неньютонівських рідин є криволінійною.

В Україні є всі геологічні передумови для накопичення значних промислових скупчень важких сортів нафти і бітумів. Важливі та найперспективніші родовища є на крайньому північному заході Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), де вже давно відомі родовища важких нафт, мальт і асфальтів (Бахмацьке, Тваньське, Холмське та ін.) [4, 18–20]. Одним із найперспективніших родовищ важкої нафти в Україні є Яблунівське родовище, воно розташоване в Полтавській області на відстані 17 км від міста Лохвиця, в північно-західній частині приосьової зони ДДЗ у межах південного схилу Жданівської депресії [4].

Успішне розроблення цього родовища свідчить про доцільність “підключення” цього додаткового джерела вуглеводнів під час видобування нафти, газу і конденсату [20]. Труднощі експлуатації цього родовища потребують раціонального його розроблення, а для вилучення та транспортування запасів необхідно визначити реологічні властивості нафти.

Мета досліджень – вивчити реологічні властивості нафт залежно від температури та від швидкості зсуву для підвищення нафтовіддачі свердловин та визначення способу зменшення в'язкості нафт під час транспортування.

Матеріали та методи досліджень

Для вивчення властивостей високов'язкої нафти Яблунівського родовища взято нафти трьох свердловин:

- зразок 1 – нафта свердловини 88 густиною 959 кг/м³ за 323 К;
- зразок 2 – нафта свердловини 94 густиною 969 кг/м³ за 323 К;
- зразок 3 – нафта свердловини 337 густиною 953 кг/м³ за 323 К.

Використано сучасний високоточний ротаційний віскозиметр Rheomat-30 фірми Contraves AG (Швейцарія) із адаптером ротаційного типу, коаксіальними циліндрами в діапазоні градієнта швидкостей від 0 до 452 с⁻¹ (вибрано вимірну систему CM409.484, що складається з циліндра $\text{AE} = 25$ мм і камери $\text{AE}_{\text{вн}} = 23,8$ мм загаль-

ним об'ємом 40 см³) у діапазоні температур від 293 до 343 К. Необхідну температуру забезпечували за допомогою циркуляційного термостата УН-8 фірми MLW (Німеччина), оснащеного спеціальною протічною коміркою. Як теплоносієм використовували демінералізовану воду.

Методика основана на визначенні динамічної (ефективної) в'язкості текучих матеріалів у діапазоні від 0,1 до 4М⁵ Па·с. Його суть полягає у реєстрації моменту опору обертанню внутрішнього конуса вимірювального пристрою із досліджуваним матеріалом за різних градієнтів швидкості деформації із подальшим розрахунком напруження зсуву і динамічної (ефективної) в'язкості.

Прилад Rheomat 30 Contraves є ротаційним (обертвовим) віскозиметром, який використовують для визначення в'язкості матеріалів у широкому діапазоні. Його відкрита концентрична система дає змогу здійснювати вимірювання із зануренням (імерцією). Вимірювальний конус і трубка жорстко зв'язані між собою; вимірювальний блок задіюється за допомогою двигуна постійного струму.

Динамічну (ефективну) в'язкість (h) визначено за формулою (1):

$$h = h_{\text{гер}} \times \alpha, \text{ (Па·с)} \quad (1)$$

де $h_{\text{гер}}$ – в'язкість, яка відповідає положенню перемикача приладу за напруження зсуву для відповідної вимірювальної системи, Па·с; α – показ на шкалі приладу, %.

Напруження зсуву (τ) визначено зі співвідношення (2):

$$\tau = h \times D_{\text{гер}}, \text{ (Па)} \quad (2)$$

де $D_{\text{гер}}$ – швидкість зсуву (за табл. 1), яка відповідає положенню перемикача приладу за напру-

ження зсуву для відповідної вимірювальної системи, с⁻¹.

Результати досліджень та їх обговорення

Найважливіші фізико-хімічні властивості нафт, досліджені в попередній роботі [8], подано в табл. 1. Дегазована нафта Яблунівського родовища належить до класу високов'язких та високосірчистих нафт.

Коксивність та температура застигання усіх досліджуваних зразків нафт надзвичайно високі, що свідчить про високий вміст асфальтосмолистих вуглеводнів. Ця обставина утруднить транспортування нафт, особливо в період низьких температур, та потребуватиме залучення додаткових заходів для зниження температури застигання. Вміст хлористих солей та води досліджуваних зразків нафт також надзвичайно високі, оскільки ці нафти не проходили процеси підготовки – знесолення та зневоднення, обов'язкові перед переробкою нафти. Кінематична в'язкість більшості нафт за температури 323 К доволі висока. За в'язкістю визначають і розраховують такі технологічні параметри: рухливість нафти в пласті під час її видобування, швидкість фільтрації в пласті, тип агента, який витісняє, потужність насоса, умови транспортування по нафтопроводу тощо.

Для побудови реологічних кривих течії у координатах τ - η - D одержано дані для всіх трьох зразків нафт, наведені в табл. 2–4 (подані результати досліджень трьох зразків нафт за температури 293 К). Аналогічні дані отримано за 303, 313, 323, 333 та 343 К, їх наводять у вигляді графіків (рис. 1–6).

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості нафти

Властивість	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Густина за 293 К, кг/м ³	975	985	970
Кінематична в'язкість за 323, мм ² /с	324	486	400
Коксивність, %	10,1	10,6	7,1
Температура застигання, К	290	317	282
Вміст води, %	5,0	25,0	5,5
Вміст хлористих солей, мг/дм ³	2890	5400	7351
Вміст сірки, % мас.	2,8	2,9	3,1
Вміст сірчаноокислотних смол, % об	17,8	24,5	15,9

Динамічна в'язкість нафти (зразок 1) за температури $T = 293\text{ K}$

Швидкість зсуву $D_{гер}, \text{C}^{-1}$	В'язкість, яка відповідає положенню перемикача приладу за напруження зсуву для відповідної вимірювальної системи, $h_{гер}, \text{Паж}$	Показ на шкалі приладу $a, \%$	Динамічна в'язкість $h, \text{Паж}$	Напруження зсуву $t, \text{Па}$
3,32	0,337	0,5	0,1685	0,5594
4,52	0,248	19	4,712	21,2982
6,15	0,182	20,5	3,7310	22,9456
8,35	0,134	29	3,8860	32,4481
11,35	0,0987	36,5	3,6025	40,8883
15,4	0,0727	46	3,3442	51,5006
21,0	0,0533	58	3,0914	64,9194
28,5	0,0393	73	2,8689	81,7636
38,7	0,0289	92,5	2,6732	103,4528
52,7	0,0213	108	2,3004	121,2310
71,7	0,0156	145	2,2620	162,1854
97,3	0,0115	195	2,2425	218,195
132	0,00848	266	2,2557	297,750
180	0,00622	354	2,2019	396,338
245	0,00457	480	2,1936	537,432
332	0,00337	635	2,1400	710,463
452	0,00248	835	2,0708	936,002

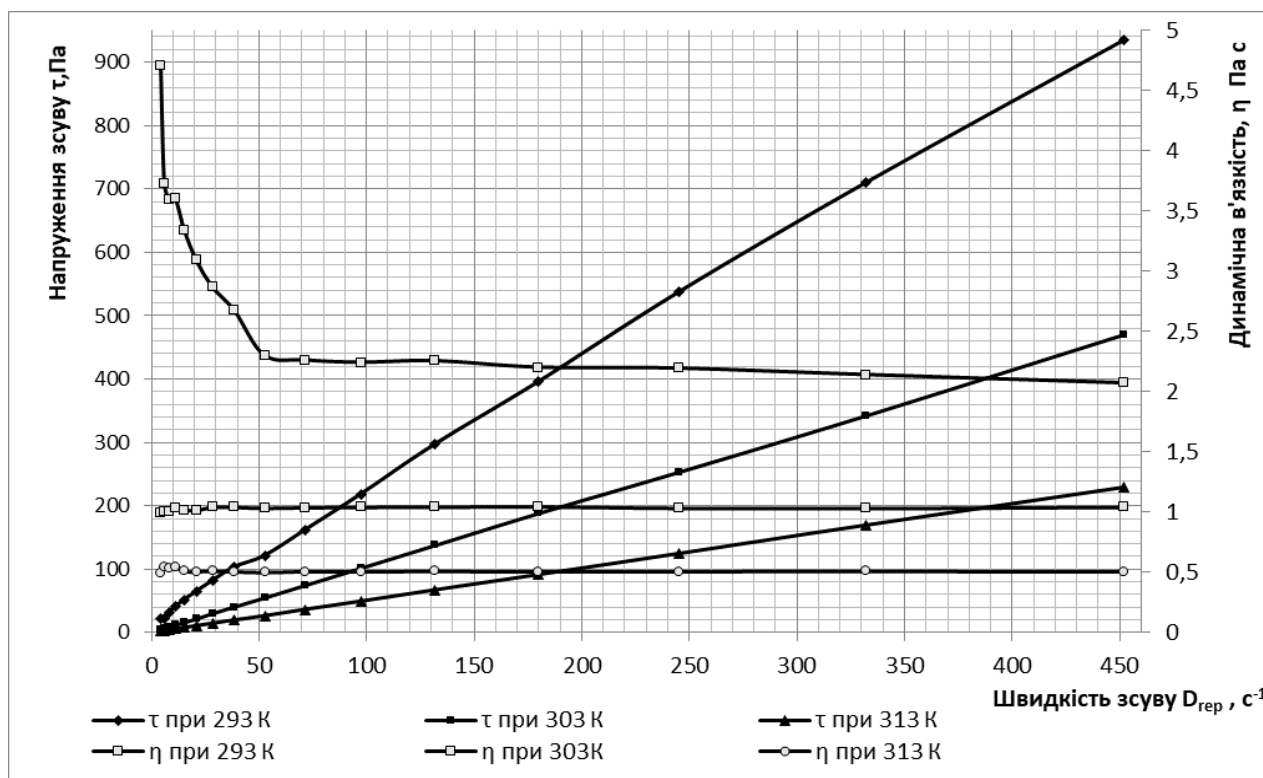


Рис. 1. Реологічні властивості нафти зразка 1 за температур 293, 303 та 313 К

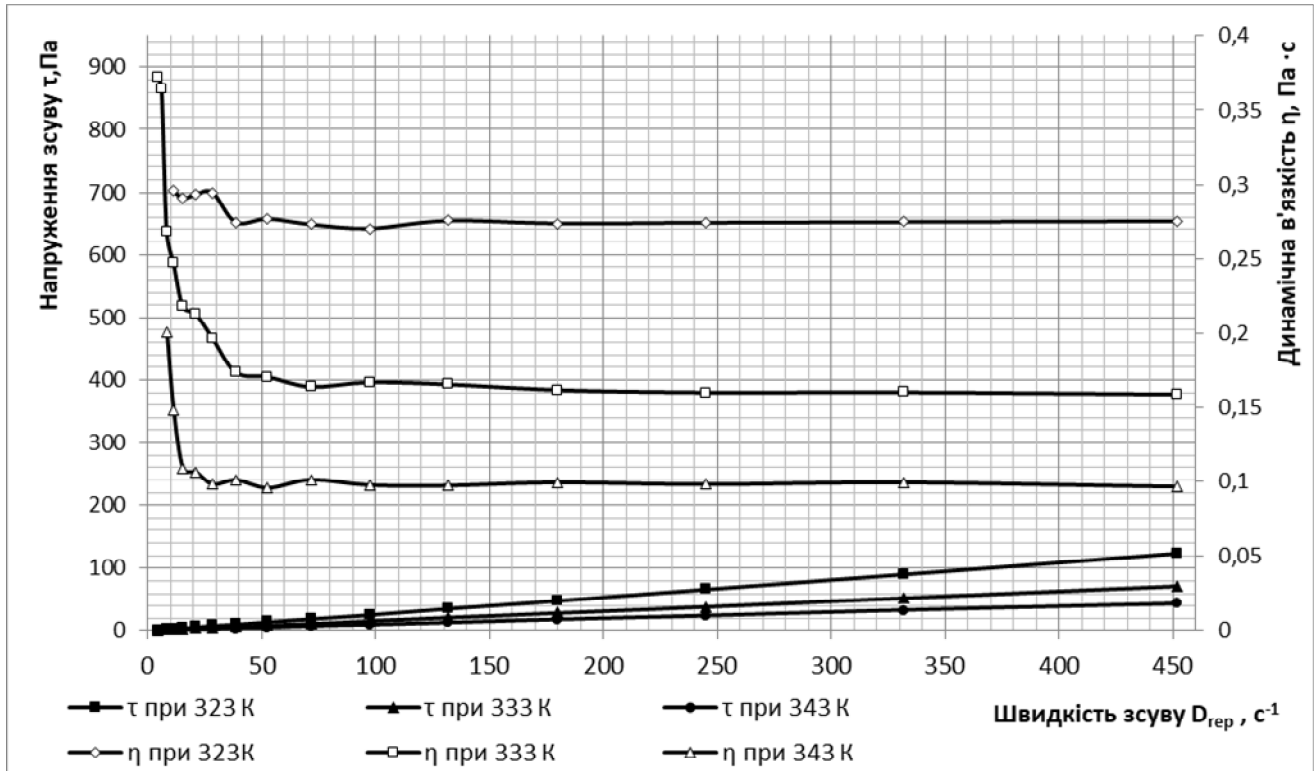


Рис. 2. Реологічні властивості нафти зразка 1 за температур 323, 333 та 343 К

Таблиця 3

Динамічна в'язкість нафти (зразок 2) за температури T = 293 К

Швидкість зсуву D_{rep}, c^{-1}	В'язкість, яка відповідає положенню перемикача приладу за напруження зсуву для відповідної вимірювальної системи, $\eta_{rep}, Па\cdot c$	Показ на шкалі приладу $a, \%$	Динамічна в'язкість $h, Па\cdot c$	Напруження зсуву $t, Па$
0,0615	18,211	7,5	136,582	8,3998
0,0835	13,413	10	134,130	11,1998
0,1135	9,868	13	128,284	14,5602
0,154	7,273	17,5	127,2775	19,6007
0,210	5,333	22,5	119,992	25,198
0,285	3,930	30	117,900	33,6015
0,387	2,894	41	118,6540	45,9190
0,527	2,125	52	110,500	58,2335
0,717	1,562	74	115,588	82,8765
0,973	1,151	98	112,798	102,752
1,32	0,848	123	104,304	137,6812
1,80	0,622	161	100,142	180,2556
2,45	0,457	206	94,1420	230,6479
3,32	0,337	264	88,9680	295,3737
4,52	0,248	340	84,32	381,126
6,15	0,182	430	78,26	481,299
8,35	0,134	555	74,37	620,990
11,35	0,0987	695	68,60	778,570
15,4	0,0727	865	62,89	968,437

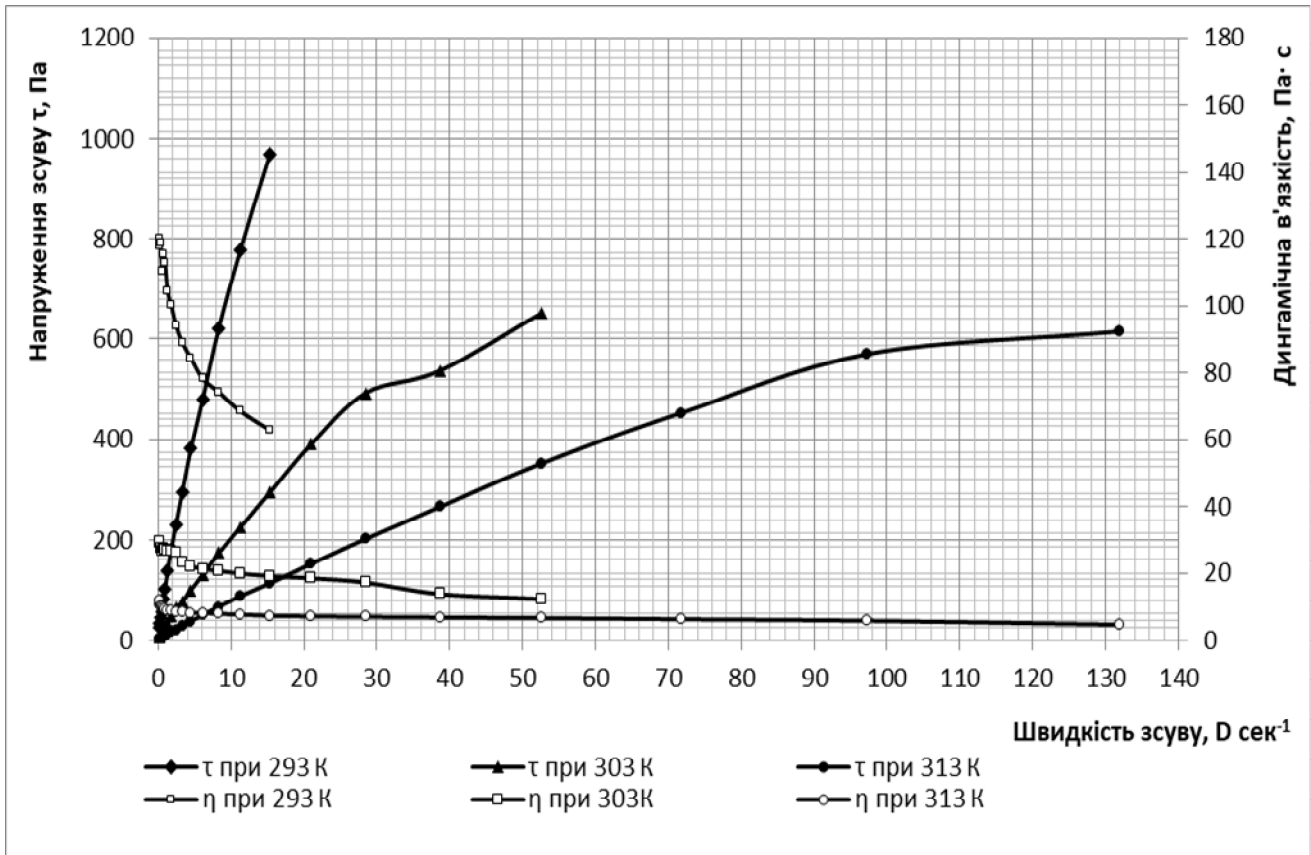


Рис. 3. Реологічні властивості нафти зразка 2 за температур 293, 303 та 313 K

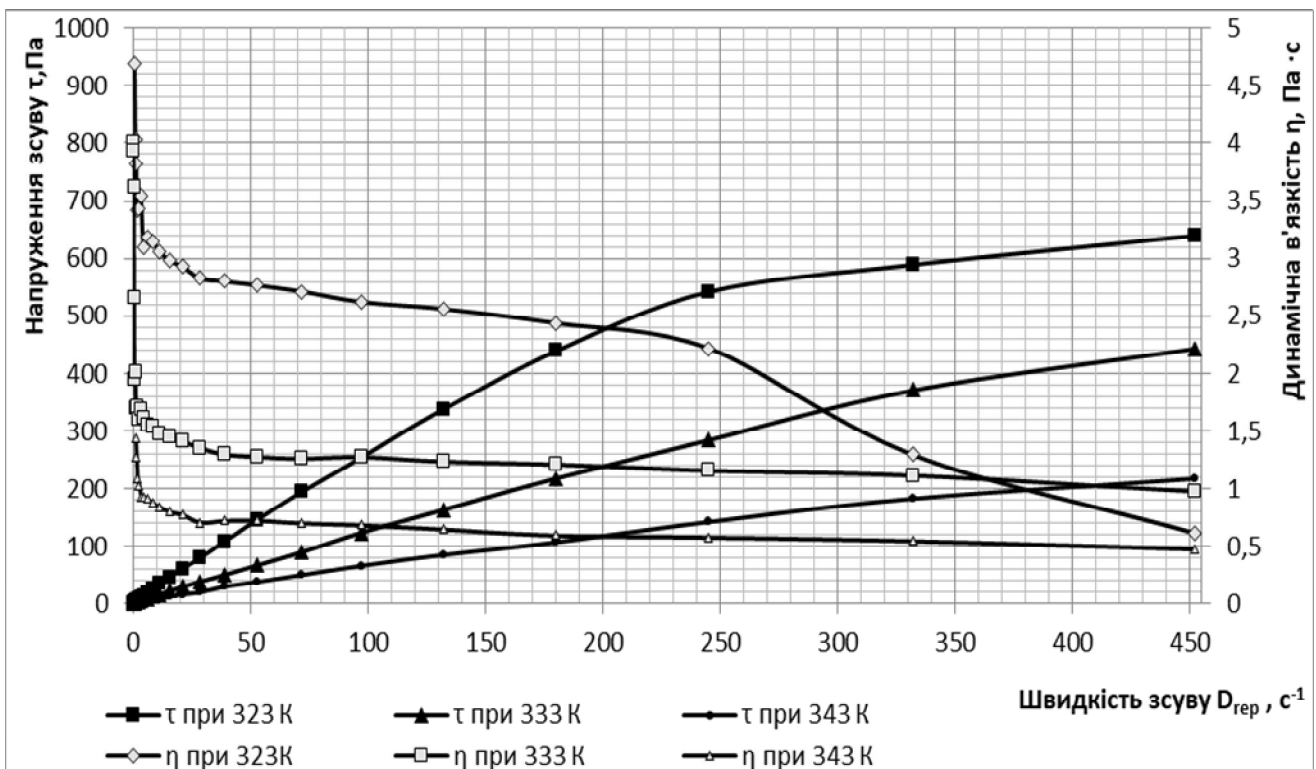


Рис. 4. Реологічні властивості нафти зразка 2 за температур 323, 333 та 343 K

Динамічна в'язкість нафти (зразок 3) за температури $T = 293\text{ K}$

Швидкість зсуву D_{rep}, c^{-1}	В'язкість, яка відповідає положенню перемикача приладу за напруження зсуву для відповідної вимірювальної системи, $h_{rep}, \text{Пах}$	Показ на шкалі приладу $a, \%$	Динамічна в'язкість $h, \text{Пах}$	Напруження зсуву $t, \text{Па}$
0,527	2,125	0,5	1,0625	0,5600
0,717	1,562	2,5	3,905	2,7998
0,973	1,151	4,0	4,604	4,4797
1,32	0,848	5,5	4,664	6,1564
1,80	0,622	7,0	4,354	7,8372
2,45	0,457	10	4,570	11,1965
3,32	0,337	11	3,707	12,3072
4,52	0,248	14	3,472	15,693
6,15	0,182	18	3,276	20,1474
8,35	0,134	24	3,2160	26,8536
11,35	0,0987	31	3,0597	34,7275
15,4	0,0727	40	2,908	44,7832
21,0	0,0533	52	2,7716	58,204
28,5	0,0393	68,5	2,692	76,722
38,7	0,0289	90,5	2,6154	101,2159
52,7	0,0213	120	2,556	134,7012
71,7	0,0156	161	2,5116	180,0817
97,3	0,0115	218	2,507	243,931
132	0,00848	294	2,4931	329,0892
180	0,00622	398	2,4755	445,590
245	0,00457	530	2,4221	593,4145
332	0,00337	705	2,3758	788,7656
452	0,00248	925	2,294	1036,89

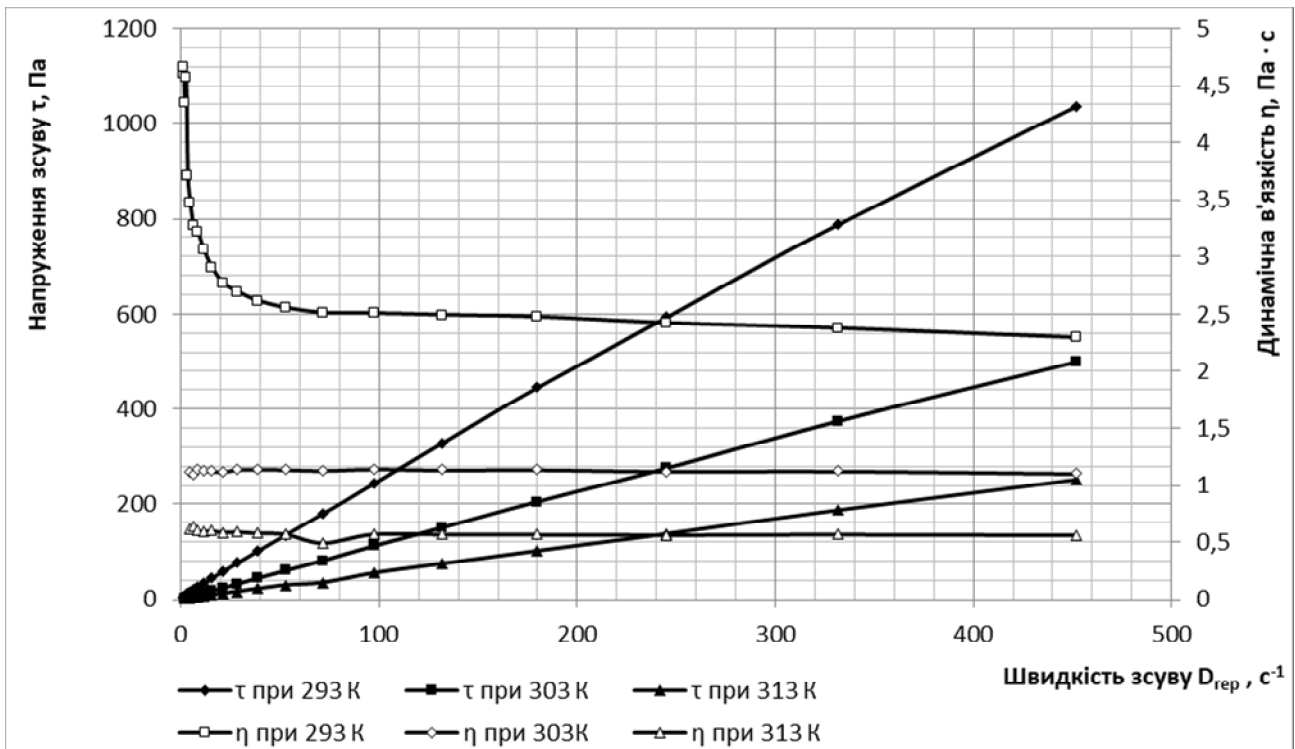


Рис. 5. Реологічні властивості нафти зразка 3 за температур 293, 303 та 313 K

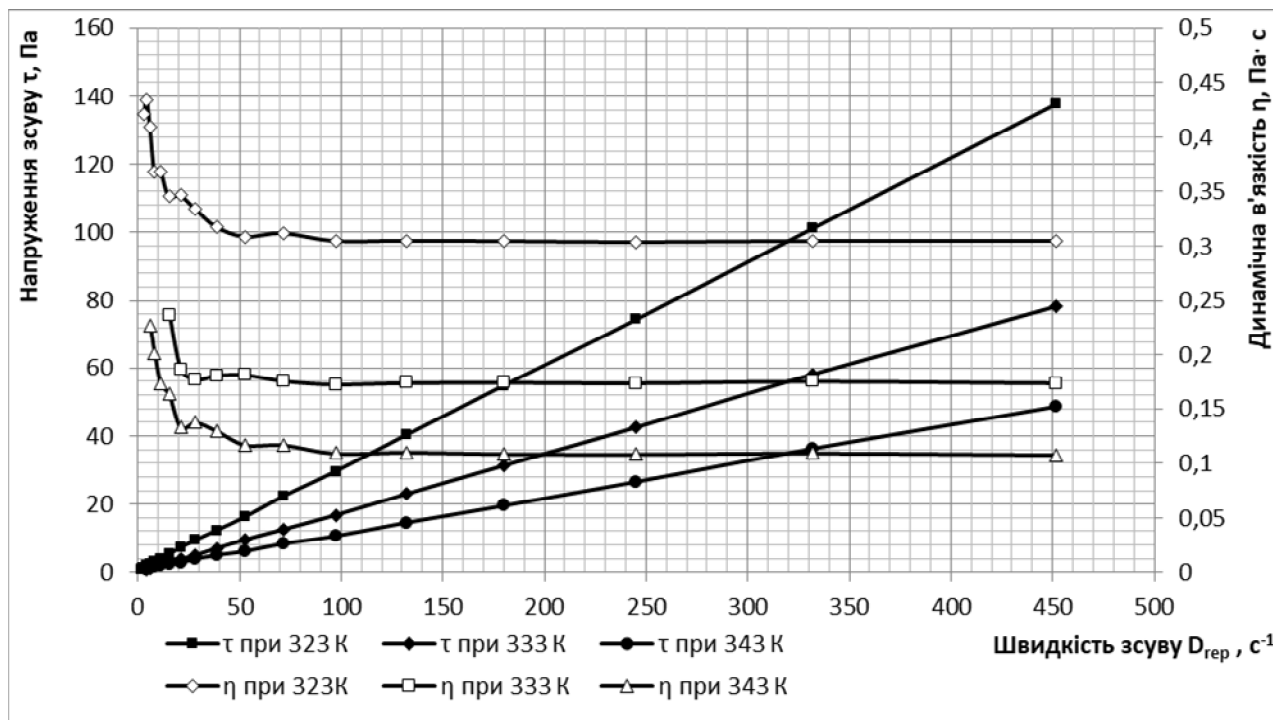


Рис. 6. Реологічні властивості нафти зразка 3 за температур 323, 333 та 343 К

Аналіз результатів досліджень залежностей динамічної в'язкості та напруження зсуву від швидкості зсуву для зразка 1 показує, що за температури 293 К в'язкість нафти зменшується з 4,71 до 2,30 Па·с за незначної зміни швидкості зсуву від 4,52 c^{-1} до 52,7 c^{-1} (табл. 2). Подальше збільшення швидкості зсуву з 52,7 c^{-1} до 452 c^{-1} призводить до зменшення динамічної в'язкості тільки до 2,07 Па·с. За цих самих умов зміна напруження зсуву залежно від швидкості зсуву криволінійна і напруження зсуву змінюється від 936 Па до 21,3 Па. Отже, зразок нафти № 1 за температури 293 К поводить як неньютонівська псевдопластична рідина.

Зі збільшенням температури від 293 до 343 К характер зміни динамічної в'язкості залежно від температури істотно змінюється. Так, у разі зміни швидкості зсуву від 4,52 c^{-1} до 452 c^{-1} динамічна в'язкість зразка 1 змінюється незначно, відповідно за 303 К від 0,99 до 1,04 Па·с, за 313 К від 0,496 до 0,506 Па·с, за 323 К від 0,37 до 0,27 Па·с, за 333 К від 0,37 до 0,16 Па·с, за 343 К від 0,20 до 0,10 Па·с. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву лінійна, і за швидкості зсуву 452 c^{-1} за температур 303–343 К зразок 1 поводить вже як ньютонівська рідина.

Істотно вища динамічна в'язкість зразка нафти 2. Так, вже за швидкості зсуву 0,06 c^{-1} динамічна в'язкість становить 136,58 Па·с, а збільшення швидкості зсуву до 4,52 c^{-1} призводить до падіння в'язкості до 62,89 Па·с. А напруження зсуву зі збільшенням швидкості зсуву різко зростає від 8,40 Па до 968,44 Па, тобто в 115 разів. Збільшення температури від 303 до 343 К призводить до значно менш різкого зменшення в'язкості, однак значення напруження зсуву за усіх температур істотні – 651–217 Па. За швидкості зсуву понад 21 c^{-1} криві залежності динамічної в'язкості від швидкості зсуву є криволінійними, тому можна зробити висновок, що зразок нафти 2 поводить як неньютонівська псевдопластична рідина у всій досліджуваній області температур від 293 до 343 К.

Для зразка 3 за швидкості зсуву 0,97 c^{-1} динамічна в'язкість становить 4,60 Па·с, а вже за швидкості зсуву 21 c^{-1} зменшується до 2,77 Па·с. Із подальшим збільшенням швидкості зсуву в 21,5 рази динамічна в'язкість зменшилась тільки до 2,29 Па·с. При цьому напруження зсуву збільшилось з 4,48 Па до 1036,89 Па, тобто в 230 разів. Отже, однозначно і зразок 3 за температури 293 К належить до неньютонівських псевдопластичних рідин.

У разі збільшення температури тільки на 10 К в'язкість нафти зменшується в 3,4 разу, однак зміна в'язкості зі зростанням температури з 303 до 343 К у разі зміни швидкості зсуву від 0,97 до 452 с⁻¹ незначна – тільки 10–30 %. Напруження зсуву в разі зменшення температури від 343 до 303 К зростає від 48,76 Па до 498,83 Па. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву лі-

нійна, і за швидкості зсуву 452 с⁻¹ в області температур 303–343 К зразок 3 поводить себе вже як ньютонівська рідина.

Особливо наочними для встановлення поведінки досліджених нафт є залежності динамічної в'язкості та напруження зсуву від температури, які одержують на основі графіків на рис. 1–3 за швидкості зсуву 4,52 с⁻¹ (рис. 7, 8).

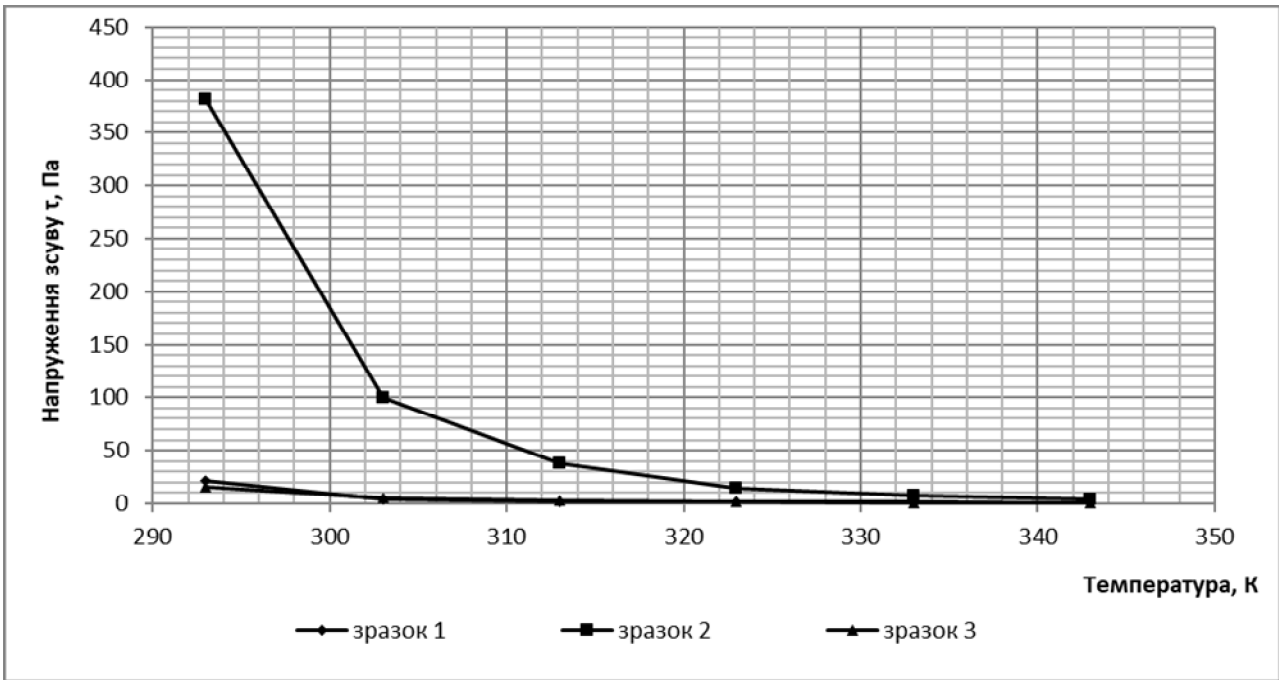


Рис. 7. Залежність напруження зсуву досліджених зразків нафт від температури за швидкості зсуву 4,52 с⁻¹

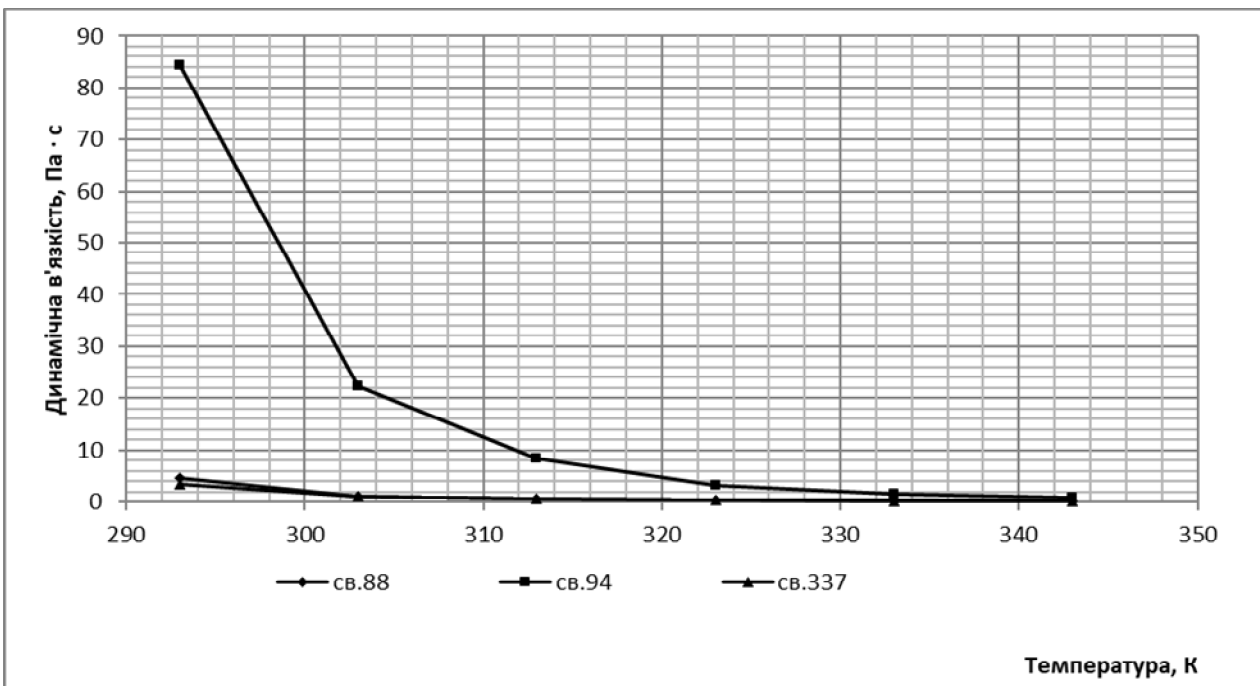


Рис. 8. Залежність динамічної в'язкості досліджених зразків нафт від температури за швидкості зсуву 452 с⁻¹

Напруження зсуву та динамічна в'язкість зразка 2 істотно вищі, ніж зразків 1 та 3. Напруження зсуву зразків 1 та 3 зі збільшенням температури від 293 до 343 К стає лінійним. Різке зменшення напруження зсуву спостерігається тільки на ділянці зростання температури від 293 до 303 К – від 21,3 (зразок 1) та 15,7 (зразок 3) до 5,04 Па, далі крива набуває лінійного вигляду. Це підтверджує, що до 303 К зразки 1 та 3 поведуться як неньютонівські рідини, а зі зростанням температури до 343 К їх течія набуває лінійної залежності, а отже, нафти стають неньютонівськими.

Зразок 2 поводитьсь дещо інакше. Особливо різко змінюється в'язкість цього зразка у разі збільшення температури 293–303 К, тут спостерігається її зменшення більше ніж в 3,9 разу. Аналогічна ситуація і з напруженням зсуву, яке змінюється у 3,8 разу. Подальше збільшення температури призводить до зменшення напруження зсуву та динамічної в'язкості, але без їх різкого падіння.

Висновки

Завдяки ґрунтовним дослідженням визначено реологічні властивості високов'язких нафт трьох свердловин Яблунівського родовища України.

Для зразків нафт 1,3 в області температур 293 К за швидкості зсуву від 0,7 до 452 с⁻¹ характерні криволінійні залежності напруження зсуву від швидкості зсуву, вони поведуться як неньютонівські рідини. За температури понад 303 К зразки 1 та 3 стають неньютонівськими. Звідси випливає доцільність методу перекачування високов'язких нафт із підігріванням.

У зразках нафти 2 в області температур 293–343 К за швидкості зсуву понад 21 с⁻¹ криві залежності напруження зсуву від швидкості зсуву є криволінійними, тому можна зробити висновок, що зразок нафти 2 поводитьсь як неньютонівська псевдопластична рідина в усій області досліджених температур.

Досліджені реологічні параметри мають практичне значення для оцінювання ефективності різних способів дії на реологічну поведінку нафт під час їх видобування та транспортуванні. Отже, під час підігрівання нафти зразків 1 та 3 вище за 293 К їх неньютонівські властивості згладжуються, залежність динамічної в'язкості від швидкості зсуву зменшується. Зразок 2 по-

требує більшого нагрівання або інших методів зменшення в'язкості (додавання против'язкісних та депресорних присадок).

Подальші дослідження передбачають визначення в'язкісно-температурних властивостей сумішей досліджених нафт.

References

1. Hasan, S. W., Ghannam, M. T., & Esmail, N. (2010). Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation. *Fuel*, 89(5), 1095–1100
2. Romanchuk V., Topilnytskyy P. Investigation of reagents with different chemical compositions for protection of oil primary refining equipment. *Chemistry & Chemical Technology*, 2010. Vol. 4, No. 3. P. 231–236.
3. Gajek A., Zakroczymski T., Topilnytsky P., Romanchuk V. Protective properties and spectral analysis of nitrogen- and oxygen-containing corrosion inhibitors for oil equipment. *Chemistry & Chemical Technology*, 2012, Vol. 6. No. 2. P. 209–219.
4. Topilnytskyy P. I., Romanchuk V. V., Yarmola T. V., Zinchenko D. V. Fyzyko-khimichni vlastyvyosti vazhkykh naft Yablunivs'koho rodovyshcha z vysokym vmistom sirky. *Visnyk NU "L'vivs'ka politehnika" "Khimiya, tekhnolohiya rehovyn ta yikh zastosovannya"*. 2020. Vyp. 3, No. 1. S. 75–82. <https://doi.org/10.23939/ctas2020.01.075>.
5. Prasad S. K., Kakati A., & Sangwai J. S. Rheology of heavy crude oil and asphaltene-polymer composite blends. *Rheology of Polymer Blends and Nanocomposites*. 2020. P. 161–192. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816957-5.00008-2>.
6. Merola, M. C., Carotenuto C., Gargiulo V., Stanzione F., Ciajolo A., & Minale M. Chemical-physical analysis of rheologically different samples of a heavy crude oil. *Fuel Processing Technology*. 2016. No. 148. P. 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.03.001>.
7. Stebel's'ka H. Ya. Heolohichni peredumovy rozvidky ta rozrobky vkladiv vysokov'yazanykh naft ta pryrodnykh bitumiv. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya: Heolohiya. Heohrafiya. Ekolohiya*. 2015. No. 1157, Vyp. 42. S. 53–57.
8. Topilnytskyy, P., Paiuk, S., Stebelska, H., Romanchuk, V., Yarmola, T. Technological features of high-sulfur heavy crude oils processing. *Chemistry and Chemical Technology*. 2019. Vol. 13. Iss. 4. P. 503–509.
9. Hrynyshyn O. B., Mokhammad Shakyr Abd Al'-Amery, Khlybyshyn Yu. Ya. Kharakterystyka i napryamky pererobky tyazhelykh vysokosernistykh naft. *Vostochno-evropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*. 2013. No. 5/6. S. 27–31.
10. Pylypiv L. D. Doslidzhennya vplyvu tyksotropnykh vlastyvyostey vysokov'yazkoyi dolyns'koyi

nafty na ekspluatatsiyu mahistral'nykh truboprovodiv. *Naftohazova haluz' Ukrayiny*. 2016. No. 6. S. 29–32.

11. Pyshyev, S., Gunka, V., Grytsenko, Y., Bratychak, M. Polymer modified bitumen: Review. *Chemistry and Chemical Technology*. 2016. Vol. 10. Iss. 4. P. 631–636. DOI: 10.23939/chcht10.04si.631

12. Demchuk, Y., Sidun, I., Gunka, V., Pyshyev, S., Solodkyy, S. Effect of phenol-cresol-formaldehyde resin on adhesive and physico-mechanical properties of road bitumen. *Chemistry and Chemical Technology*. 2018. Vol. 12. Iss. 4. P. 456–461. DOI: 10.23939/chcht12.04.456

13. Pyshyev, S., Gunka, V., Grytsenko, Y., Shved, M., Kochubei, V. Oil and gas processing products to obtain polymers modified bitumen. *International Journal of Pavement Research and Technology Open*. Vol. 10, Iss. 4, July 2017, P. 289–296. DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.05.001

14. Al-Ameri, M., Grynysyn, O., Khlibyshyn, Y. Modification of residual bitumen from orhovytska oil by butonal polymeric latexes. *Chemistry and Chemical Technology*. 2013. Vol. 7, Iss. 3. P. 323–326.

15. Basma M. Yaghi & Ali Al-Bemani Heavy Crude Oil Viscosity Reduction for Pipeline Transportation.

Energy Sources. 2002. Vol. 24, Iss. 2. P. 93–102. doi.org/10.1080/00908310252774417

16. Henaut, I., Barre, L., Argillier, J.-F., Brucy, F., & Bouchard, R. Rheological and Structural Properties of Heavy Crude Oils in Relation With Their Asphaltenes Content. Society of Petroleum Engineers (2001, January 1). DOI: 10.2118/65020-MS

17. World Oil Review. 2018. Vol. 1. URL: https://www.eni.com/docs/en_IT/enicom/company/fuel-caffe/WORLD-OIL-REVIEW-2018-Volume-1.pdf

18. Bratychak M. M., Hun'ka V. M. Khimiya nafty i hazu: pidruchnyk. L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniki, 2020. 448 s.

19. Yarmola T., Topilnytskyy P., Romanchuk V. High-Viscosity Crude Oil. A Review. *Chemistry & Chemical Technology*. 2023. Vol. 17, No. 1. P. 195–202.

20. Yarmola T., Romanchuk V., Skorokhoda V., Topilnytskyy P. Effect of Polymer Additives on the Rheological Properties of Heavy High-Viscosity Oil. Chemmological Aspects of Sustainable Development of Transport International Sustainable Aviation Research Society (SARES), Springer Nature Switzerland AG 2022 monograph. P. 19–31.

O. O. Romanchuk, P. I. Topilnytskyy, T. V. Yarmola

Lviv Polytechnic National University,
Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing

STUDY OF THE VISCOSITY-TEMPERATURE PROPERTIES OF HEAVY OIL FROM THE YABLUNIVSKY FIELD OF UKRAINE

Viscosity-temperature properties of high-viscosity oils from 3 wells of the Yablunovsky field (Poltava region, Ukraine) were studied using a rotary viscometer. According to the nature of the curves of the dependence of dynamic viscosity and shear stress on the shear rate, the nature of the flow of these oils is established, which is of practical importance for effect evaluating of various methods of action on the rheological behavior of these oils during their extraction and transportation.

Key words: heavy oil; oil transportation; rheological properties of oil.