

УДК 622.692.4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЛИНСЬКОЇ НАФТИ З ДОДАВАННЯМ ДЕПРЕСАТОРА

Л.Д.Пилипів, М.Д.Середюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42166
e-mail: tznng@nung.edu.ua

Приведены результаты лабораторных исследований реологических свойств долинской нефти с депрессатором отечественного производства. Выполнено математическое моделирование зависимости реологических параметров от температуры для различных концентраций депрессатора в долинской нефти.

Results of laboratory researches rheological properties of dolyna's oil with native depressant were showed. Mathematical modeling of dependence of rheological parameter on the temperature for various depressant concentration from dolyna's oil were done.

Питання транспортування високов'язких і швидкозастигаючих нафт стає все більше актуальним у зв'язку із зростанням їх частки в загальному обсязі нафтовидобутку. Найбільш поширеним способом транспортування таких нафт є їх перекачування з попереднім підігрівом. У світовій практиці застосовують також інші способи транспортування високов'язких нафт: перекачування із шляховим підігрівом, перекачування з малов'язкими розріджувачами, перекачування з водними розчинами поверхнево-активних речовин, транспортування з додаванням депресорних присадок тощо.

Перекачування високов'язких нафт із депресорними присадками є достатньо перспективним способом їх транспортування. Застосуванням депресаторів при перекачуванні нафт і нафтопродуктів досягається помітне зменшення в'язкості транспортованої рідини і зниження температури застигання парафіністої нафти. Полімерні присадки, молекули яких характеризуються високою міцністю і великою молекулярною масою, зменшують також втрати на тертя, за рахунок чого збільшується пропускна здатність нафтопроводу. Але такий спосіб не ефективний, коли в нафті порівняно мало парафіну, а її висока в'язкість зумовлена великим вмістом асфальто-смолистих речовин.

Таким чином, зробити висновок про ефективність того чи іншого способу перекачування високов'язких нафт можна лише стосовно конкретного нафтопроводу після всебічного дослідження реологічних властивостей транспортованої ним нафти.

Проведені нами дослідження [1] засвідчили, що нафта Долинського родовища відноситься до високов'язких швидкозастигаючих парафіністих нафт і її транспортування трубопроводами потребує застосування спеціальних технологій перекачування. Однією із перспективних технологій може бути перекачування долинської нафти з додаванням депресорних присадок. Обов'язковою передумовою безпечної, надійної та ефективної роботи нафтопроводу у разі застосування такої технології є до-

слідження реологічних властивостей високов'язкої нафти з додаванням депресатора у робочому діапазоні температур.

Основною метою вивчення реологічних властивостей рідини є встановлення типу її реологічної моделі та визначення числових значень коефіцієнтів моделі, за якими можна виконувати теплогідрравлічні розрахунки нафтопроводу.

Виконані нами експериментальні дослідження [1] довели, що долинська нафта, а також її суміші з малов'язкою нафтою сорту Urals, у широкому діапазоні градієнтів швидкості за робочих температур адекватно характеризуються реологічною моделлю Шведова-Бінгама. Транспортабельні властивості таких рідин значною мірою визначаються величиною граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості.

З метою дослідження реологічних властивостей долинської нафти з додаванням депресатора вітчизняного виробництва нами були проведені експериментальні дослідження за допомогою приладу "Реотест-2". Це структурний ротаційний вискозиметр, який дає змогу провести реологічні дослідження неньютонівських рідин. Методика проведення та математичної обробки результатів дослідів відповідають вимогам, наведеним у паспорті приладу. У ході експериментів фіксувалися залежності між кількістю обертів, які визначають градієнт швидкості γ , і показами приладу, за якими знаходили динамічне напруження зсуву τ при різних значеннях температури нафти.

З метою визначення ефективності дії депресатора спочатку експериментально досліджувались реологічні властивості високов'язкої долинської нафти. У процесі дослідів температуру долинської нафти зменшували від 40 до 0°C, при цьому для визначення реологічних властивостей при кожному значенні температури використовувалась нова порція нафти даної проби.

Протягом вересня – грудня 2005 р. були проведені 6 серій експериментів, при яких до-

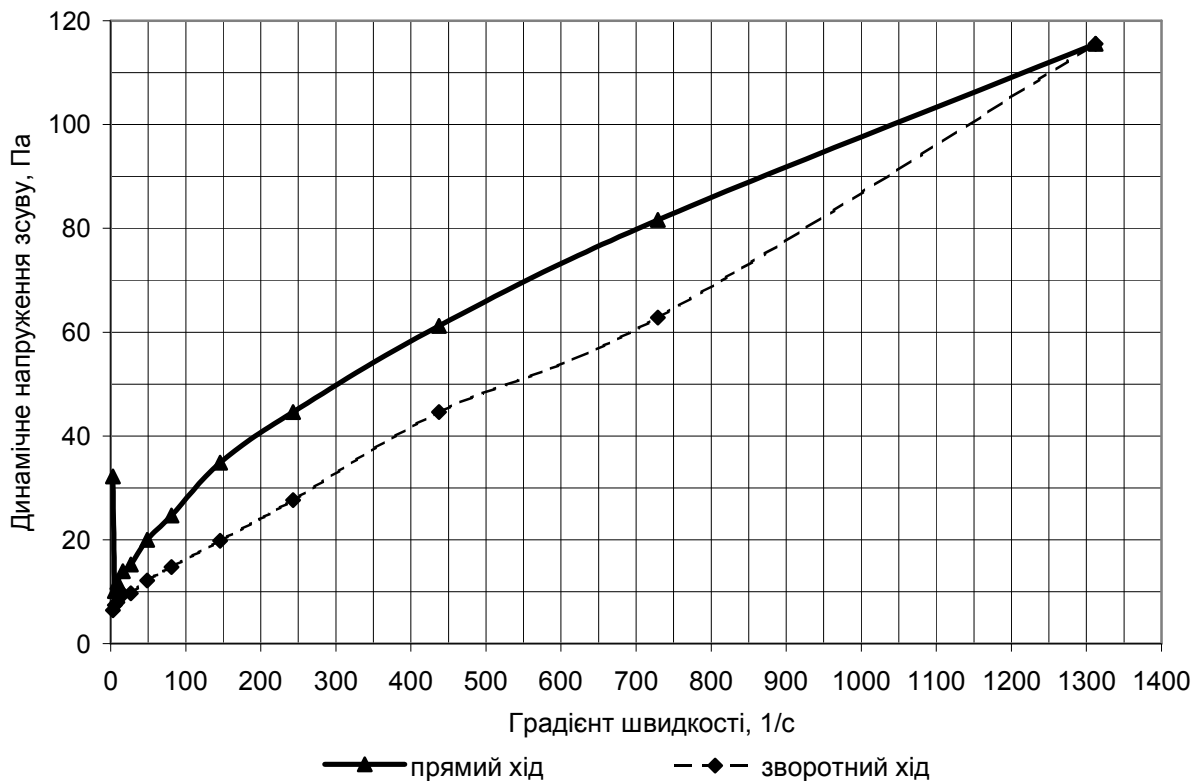


Рисунок 1 — Залежність динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості для долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора при температурі 0°C

сліджувались реологічні параметри долинської нафти з додаванням 0,05; 0,075; 0,1 та 0,15% (масових) депресатора. При цьому спочатку були проведені дослідження для готових сумішей долинської нафти з депресатором, які були приготовлені у виробничих умовах. Подальші дослідження реологічних параметрів проводились для сумішей, які готувались в лабораторії ІФНТУНГ.

Умови проведення зазначених дослідів наближені до умов перекачування. Експерименти виконувались з метою встановлення транспортних властивостей долинської нафти з додаванням депресатора при перекачуванні її по нафтопроводу.

Кожна серія експериментів проводилась так. Діапазон робочих температур становив від 0 до 40°C через кожні 5°C. Для кожного значення температури визначалося динамічне напруження зсуву в діапазоні градієнтів швидкості від 0 до 1312 1/с. Дослідження проводились при прямому ході віскозиметра (при збільшенні градієнта швидкості), що відповідає незруйнованій структурі нафти, і при зворотному ході віскозиметра (при зменшенні градієнта швидкості), що відповідає зруйнованій структурі нафти.

Змішування долинської нафти і депресатора виконувалось у лабораторних умовах так. Кількість долинської нафти, необхідної для одержання 1 кг суміші, підігрівалась до температури 50°C і протягом години термостатувалась у статичних умовах. Депресатор також підігрівався до температури 50°C. Відтак необхідна

доза депресатора додавалась до нафти і суміш ретельно перемішувалась міксером протягом 30 хв. Суміш зберігалась за кімнатної температури 20-19°C. Проби суміші надалі використовувались для проведення реологічних досліджень на віскозиметрі "Реотест-2". Для кожного значення температури бралась окрема проба суміші. Вимірювання реологічних властивостей суміші розпочиналося за дві-три години після завершення процесу її утворення.

За даними експериментів побудовані криві текучості при кожному значенні температури для долинської нафти без депресатора і для чотирьох значень концентрацій депресатора у долинській нафті.

Рисунок 1 ілюструє графічні залежності динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості для долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора за температури 0°C, що одержані при прямому і зворотному ходах віскозиметра. На рисунку 2 наведені результати математичного моделювання зазначених кривих течії. Результати математичного моделювання кривої течії долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора за температури 20°C зображені на рисунку 3. На рисунках 4 і 5 виконано порівняння залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості від температури для долинської нафти без депресатора та з додаванням 0,05 % депресатора.

Нами виконаний аналіз результатів експериментальних досліджень реологічних властивостей долинської нафти з додаванням різної кількості депресатора. Для всіх серій дослідів

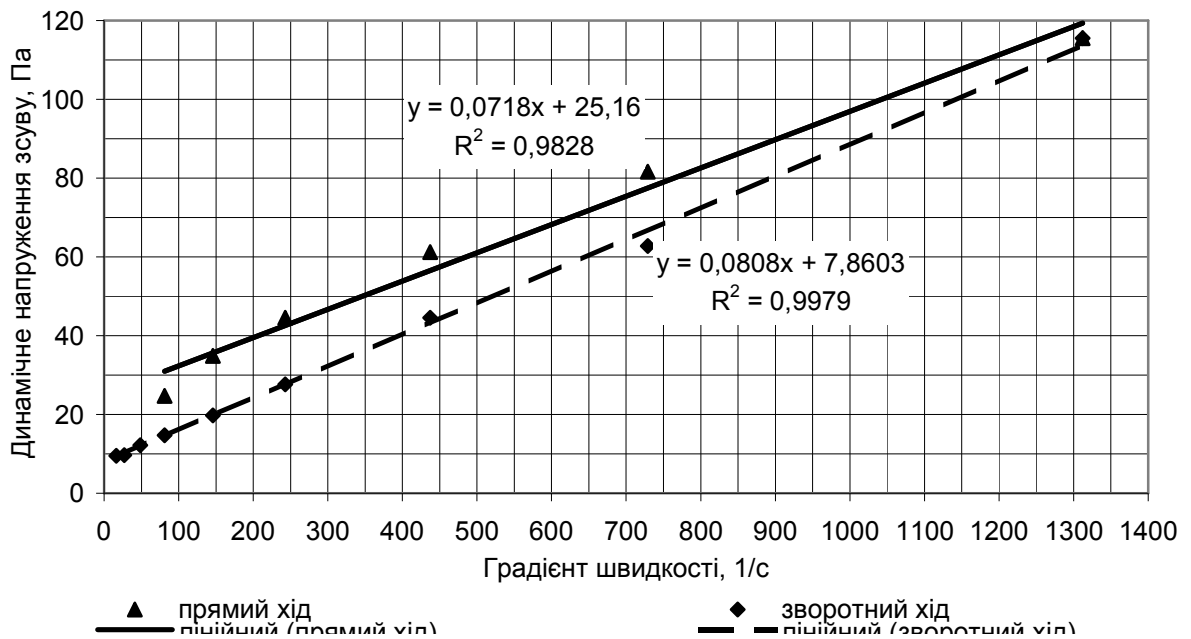


Рисунок 2 — Результати математичного моделювання реологічних характеристик долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора при температурі 0°C

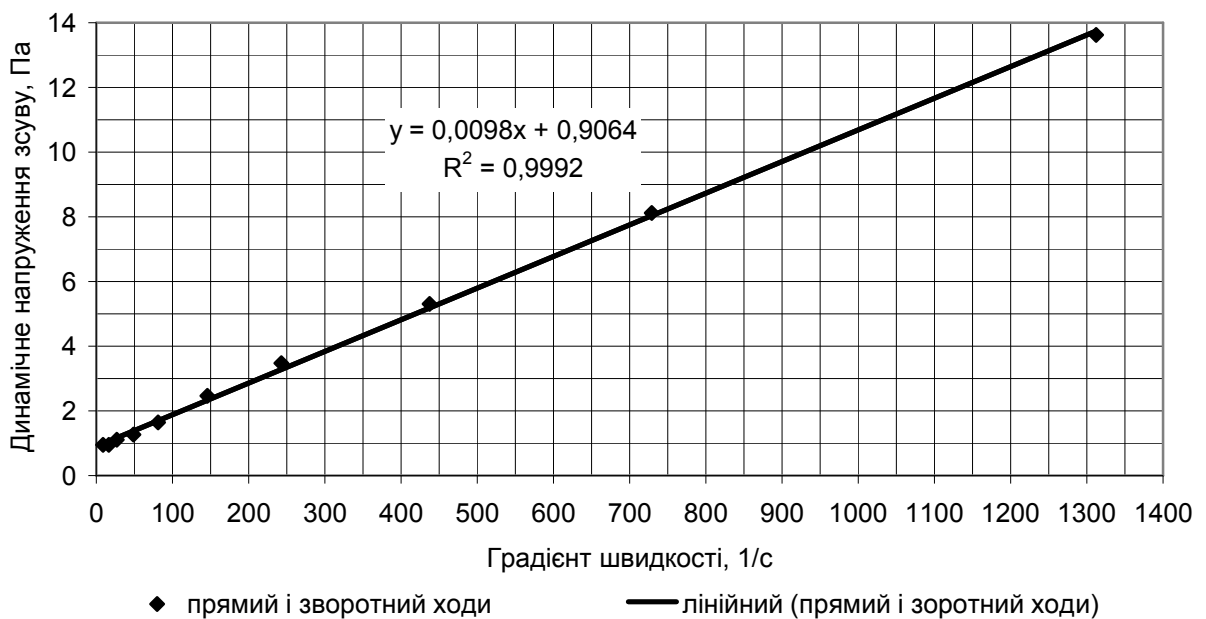


Рисунок 3 — Результати математичного моделювання реологічних характеристик долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора при температурі 20°C

чітко проявляється суттєва зміна динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості при зміні градієнта швидкості, що свідчить про неньютонівські властивості рідини. При цьому виявлена закономірність зменшення динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості при збільшенні температури при фіксованому значенні градієнта швидкості.

Аналіз реологічних кривих, одержаних для усього діапазону робочих температур, дає підстави зробити висновок, що долинська нафта з додаванням депресатора може бути віднесена до в'язкопластичних рідин, рух яких у широкому діапазоні градієнтів швидкості з достат-

ньою точністю описується рівнянням Шведова-Бінгама. Таким чином, аналіз результатів експериментальних досліджень дав змогу обґрунтувати вибір математичної моделі для характеристики реологічних параметрів долинської нафти з додаванням депресатора. Цим самим доведено, що при теплогідрравлічних розрахунках нафтопроводу, який перекачує високов'язку долинську нафту, оброблену депресатором, для врахування її реологічних властивостей необхідно використовувати коефіцієнти математичної моделі Шведова-Бінгама, а

саме – граничне динамічне напруження зсуву τ_o і пластичну в'язкість $\eta_{пл}$. тичне моделювання реологічних властивостей і знаходимо коефіцієнти моделі Шведова-Бінгама

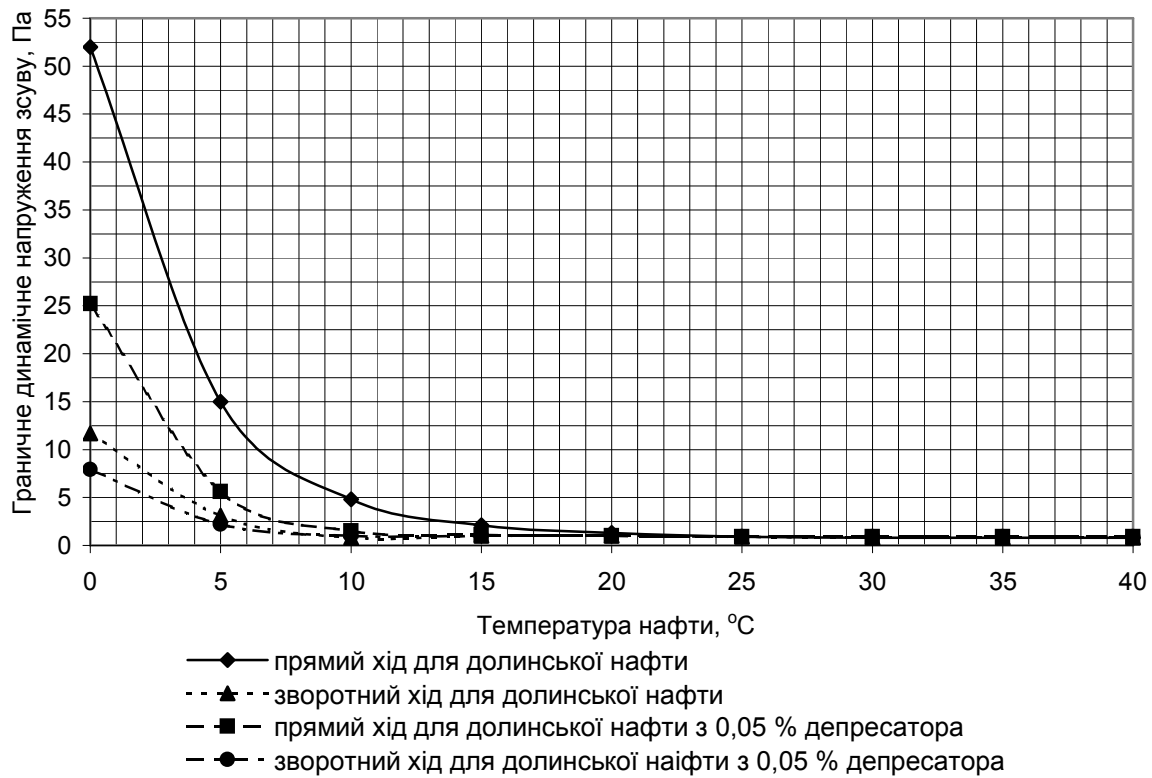


Рисунок 4 — Залежність граничного динамічного напруження зсуву від температури для долинської нафти без депресатора та з додаванням 0,05% депресатора

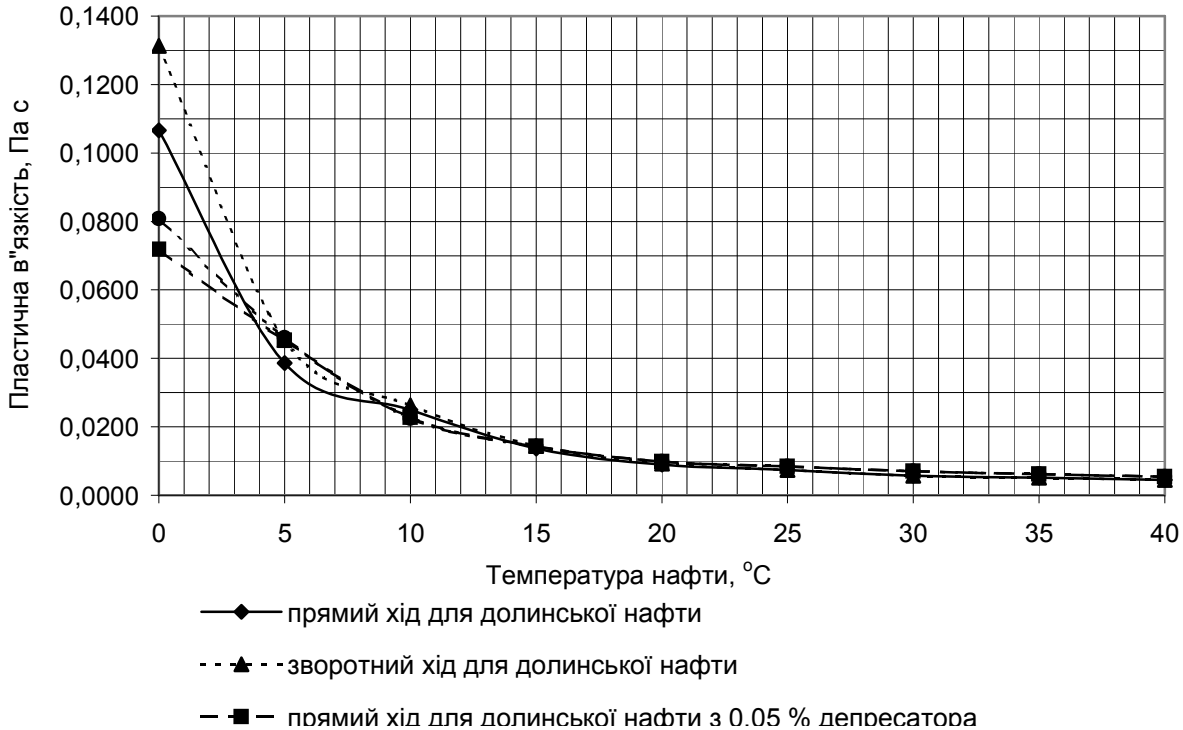


Рисунок 5 — Залежність пластичної в'язкості від температури для долинської нафти без депресатора та з додаванням 0,05% депресатора

Використовуючи експериментальні криві текучості долинської нафти для всього робочого діапазону температур, виконуємо математичне моделювання реологічних характеристик долинської нафти з до-

Таблиця 1 — Реологічні параметри долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора за результатами експериментів на віскозиметрі "Реотест-2"

Температура нафти, °С	Реологічні параметри					
	прямий хід віскозиметра (для незруйнованої структури)			зворотний хід віскозиметра (для зруйнованої структури)		
	напруження зсуву при градієнтах швидкості, близьких до нуля, Па	граничне динамічне напруження зсуву, Па	пластична в'язкість, Па·с	напруження зсуву при градієнтах швидкості, близьких до нуля, Па	граничне динамічне напруження зсуву, Па	пластична в'язкість, Па·с
0	32,2	25,2	0,0718	6,4	7,9	0,0808
5	12,2	5,6	0,0453	2,5	2,2	0,0460
10	4,4	1,5	0,0227	1,0	1,0	0,0224
15	2,2	1,1	0,0143	1,0	1,0	0,0142
20	0,6	1,0	0,0098	0,6	1,0	0,0098
25	0,6	0,9	0,0084	0,6	0,9	0,0084
30	0,6	0,9	0,0070	0,6	0,9	0,0070
35	0,6	0,9	0,0062	0,6	0,9	0,0062
40	0,6	0,9	0,0054	0,6	0,9	0,0054

даванням 0,05% депресатора в діапазоні температур від 0 до 40°C при незруйнованій та зруйнованій структурах наведені у таблиці 1.

Дані таблиці 1 можна використовувати як розрахункові реологічні характеристики долинської нафти з додаванням депресатора при теплогідрравлічних розрахунках нафтопроводів.

Рисунки 4 і 5 засвідчують, що для долинської нафти з депресатором різке зростання граничного динамічного напруження зсуву та пластичної в'язкості спостерігається за температур, менших від 10°C. При вищих температурах ці реологічні параметри змінюються менше, а при температурах, понад 20°C – стабілізуються і практично не змінюються. Це свідчить про те, що ефективність депресатора щодо зниження граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долинської нафти має місце при температурах, нижчих за 10-15°C. При вищих температурах ефективність депресатора невисока, а при температурах понад 25°C реологічні параметри нафти, обробленої депресатором, трохи гірші, ніж без депресатора.

Результати досліджень свідчать, що додавання 0,05% депресатора до долинської нафти при температурі 0°C призводить до зниження граничного динамічного напруження зсуву на 51% у разі незруйнованої структури і відповідно на 69% у разі зруйнованої структури.

Додавання 0,05% депресатора до долинської нафти при температурі 0°C призводить до зниження пластичної в'язкості на 33% у разі незруйнованої структури і відповідно на 38% у разі зруйнованої структури.

Подібні тенденції зниження аномальних реологічних властивостей виявлені для інших концентрацій депресатора РЕНА-2210 у долинській нафті.

Для проведення теплогідрравлічних розрахунків нафтопроводу необхідно мати аналітичні залежності реологічних параметрів від температури для долинської нафти з певним вмістом депресатора.

Графічна ілюстрація залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості від температури для долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора при прямому і зворотному ходах віскозиметра наведена на рисунках 6 і 7. Тут же наведені результати математичного моделювання залежності реологічних параметрів зазначеної суміші від температури.

При реалізації пускових режимів роботи нафтопроводу, що перекачує в'язкопластичну рідину, необхідно мати залежність зміни від температури статичного напруження зсуву. На рисунку 8 зображені результати математичного моделювання за результатами експериментів залежності статичного напруження зсуву від температури для долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора.

Математичні моделі залежності реологічних параметрів від температури для різних концентрацій депресатора у долинській нафті використані нами при проведенні теплогідрравлічних розрахунків нафтопроводів.

Як засвідчили наші експерименти, вплив депресатора на реологічні властивості долинської нафти суттєво залежить від умов їх змішування, тривалості та умов зберігання у резервуарах, а також від теплогідродинамічного режиму перекачування по трубопроводу. Вплив зазначених чинників, на нашу думку, може переважати вплив різної концентрації депресатора у нафті. Особливо негативний вплив на реологічні параметри має, як показали наші дослідження, зниження температури нафти у процесі

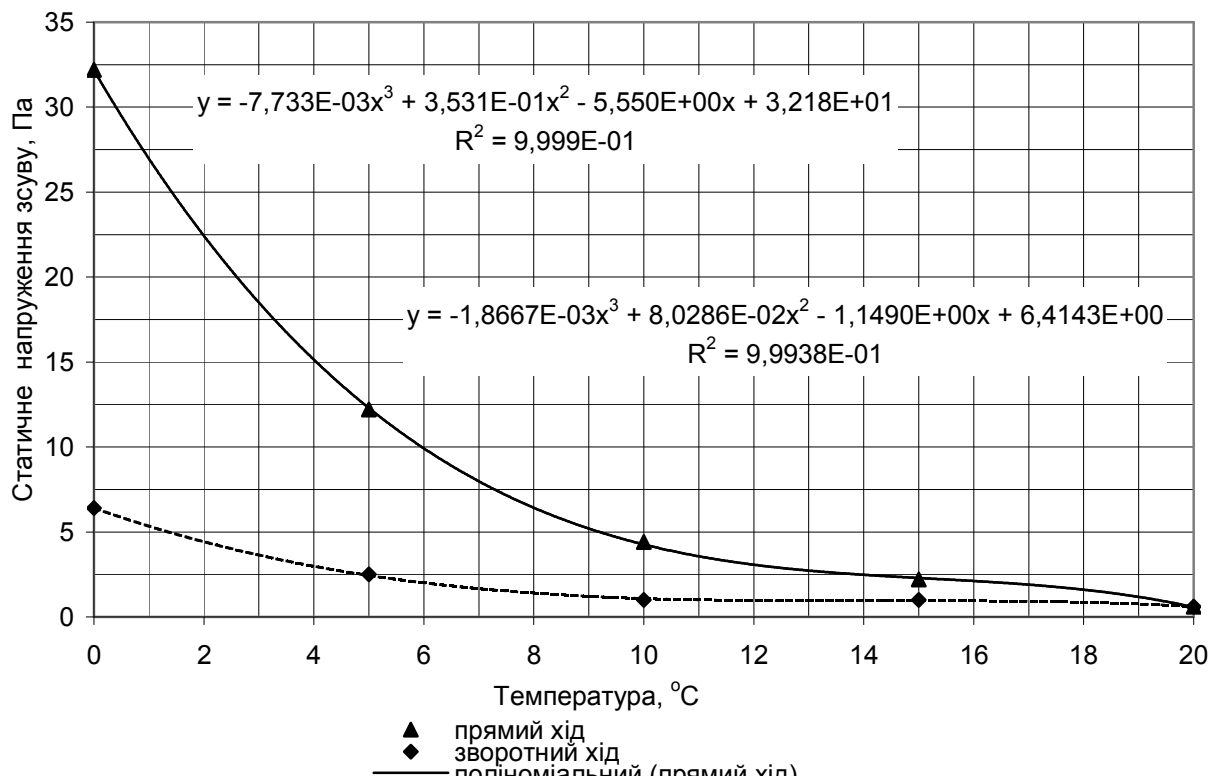


Рисунок 8 — Залежність статичного напруження зсуву від температури для долинської нафти з додаванням 0,05% депресатора

Аналіз експериментальних досліджень реологічних властивостей долинської нафти з додаванням 0,05–0,15% депресатора, виконаних на ротаційному віскозиметрі "Реотест-2", дав змогу зробити такі висновки:

1 Долинська нафта з додаванням депресатора в теоретичному плані у діапазоні температур від 0 до 40°C характеризується властивостями в'язкопластичної рідини, рух якої у широкому діапазоні градієнтів швидкості описується рівнянням Шведова-Бінгама.

2 Як свідчать результати досліджень, помітне відхилення транспортбельних властивостей в'язкопластичної рідини від властивостей ньютонівської нафти спостерігається при значеннях граничного динамічного напруження зсуву, більших за 1,5–2 Па. Це дає змогу визначити температурний діапазон прогнозованого прояву аномальних реологічних властивостей долинської нафти з додаванням депресатора, а саме: у разі незруйнованої структури – при температурах, нижчих за 15°C, у разі зруйнованої структури – при температурах, нижчих за 10°C. При вищих температурах долинська нафта з додаванням депресатора може вважатись ньютонівською рідиною, транспортбельні властивості якої характеризуються кінематичною в'язкістю.

3 При температурах долинської нафти, менших за 15°C, криві течії, зняті при прямому і зворотному ходах віскозиметра, не співпадають, утворюючи характерні "гістерезисні петлі", що свідчить про наявність у нафті з додаванням депресатора тиксотропних властивос-

тей і можливість швидкого відновлення структури нафти після зупинки перекачування.

4 У результаті експериментальних досліджень одержаний комплекс реологічних параметрів долинської нафти з різним вмістом депресатора для незруйнованої структури (при прямому ході віскозиметра) і для зруйнованої структури (при зворотному ході віскозиметра). Нафта, яку будуть перекачувати нафтопроводами, буде характеризуватись реологічними параметрами, що входять у межі, зазначені вище. Основними чинниками, що впливають на ступінь відновлення структури нафти, є температурний режим роботи нафтопроводу, величина витрати нафти, яка визначає ступінь турбулізації потоку, а отже величину градієнтів швидкості та температурні умови навколишнього середовища.

Література

1. Середюк М.Д., Якимів Й.В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів. – Кременчук, 2001. – 517 с.
2. Болонний В.Т., Середюк М.Д. Дослідження реологічних властивостей нафти Долинського родовища // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 4 (13). – С. 34-40.