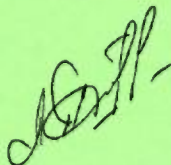


ПИЛИПІВ ЛЮБОМИР ДМИТРОВИЧ



УДК 622.692.4.052.7

**ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТНОСТІ
ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ НАФТИ ШЛЯХОМ
ВПЛИВУ НА ЇЇ РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

000.892.1.05 (093)
П32

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Середюк Марія Дмитрівна,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти і газу.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Тимків Дмитро Федорович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики;

кандидат технічних наук, **Говдяк Роман Михайлович**,

ВАТ "Укргазпроект" (м. Київ), Голова правління.

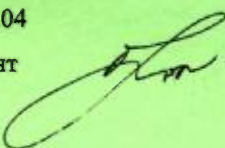
Провідна установа – ІВП "Всеукраїнський науковий і проектний інститут транс

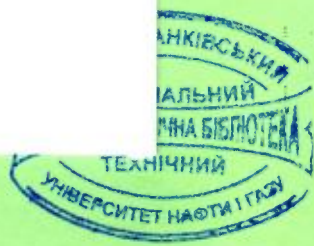
Захист відбудеться вченої ради Д 20.052.04 університеті нафти і газу, 76019, Україна,

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019

Автореферат розповсюджено

Вчений секретар вченої ради Д 20.052.04 канд.техн.наук, доцент

 О.В.Корнута



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стрімкий технологічний розвиток суспільства в останні десятиліття вимагає використання значних обсягів енергоносіїв. Зростаючі потреби промисловості, комунальної сфери і населення в енергетичних ресурсах ставлять завдання пошуку нових джерел енергії та раціонального використання вже існуючої енергосировинної бази.

Сучасні нафтоперекачувальні станції (НПС) України, будучи основними об'єктами трубопровідного транспорту нафти, споживають значні обсяги електроенергії для приводу відцентрових насосів і різноманітних допоміжних систем. Енергоспоживання однієї головної НПС може досягати 25 МВт, що в масштабах країни, враховуючи розвинену мережу магістральних нафтопроводів, складає на порядок більші величини.

У трубопровідному транспорті нафти і нафтопродуктів як одному з енерговитратних сегментів економіки добитися зниження енергоспоживання можна різними шляхами. Оскільки відцентрові насоси на НПС встановлюються для створення тиску, необхідного для подолання втрат енергії при русі рідини, доцільно впроваджувати такі заходи, які б знижували величину гідравлічних втрат у нафтопроводі. Це дає змогу зменшити витрати енергії насосних агрегатів на перекачування нафти і тим самим зменшити енерговитратність трубопровідного транспорту.

Ефективним шляхом зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту є покращання транспортабельних властивостей нафт. Вітчизняний і світовий досвід свідчить, що для високов'язких швидкозастигаючих нафт найбільш ефективними методами впливу на їх реологічні характеристики з метою покращання транспортабельних властивостей і зменшення енерговитратності перекачування є застосування депресаторів та розріджувачів. Зазначені методи можуть бути передбачені при розробці енергозберігаючої технології перекачування високов'язкої нафти долинських родовищ по нафтопроводу Долина-Надвірна. Така спеціальна технологія передбачає наявність методів прогнозування та оптимізації теплогідравлічних режимів роботи нафтопроводу Долина-Надвірна за критерієм мінімальних енерговитрат на підігрівання і перекачування транспортованої нафти. Вирішити ці завдання можна тільки після усебічного дослідження реологічних властивостей долинських нафт при різних температурах і різних концентраціях депресаторів та розріджувачів. Виконанню зазначених досліджень присвячена дисертаційна робота.

Покращання транспортабельних властивостей малов'язких нафт за механізмом дії принципово відрізняється від покращання властивостей високов'язких нафт. Ефективним способом впливу на реологічні властивості малов'язких нафт є додавання до них протитурбулентних присадок, які дають змогу гасити турбулентні завихрення потоку і тим самим помітно зменшують енерговитратність перекачування. В Україні на магістральному нафтопроводі Снігурівка - Одеса вже кілька років реалізується технологія перекачування російської нафти сорту Urals з додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM виробництва компанії "Коноко". Не дивлячись на практичне використання, на сьогодні метод транспортування малов'язких нафт із протитурбулентними присадками і

, немає чіткої картини впливу при-



садок на реологічні властивості нафт, відсутні методи розрахунку гідродинаміки нафтопроводу, що транспортує нафту з додаванням присадки. Це зумовило вибір теми дисертації, визначило мету і задачі досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-технічних програм з розвитку нафтогазового комплексу України, робота виконувалась відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки “Екологічно чиста енергетика та ресурсоенергозберігаючі технології” (1998-2000 р.р.). Окрім того, робота базується на результатах госпдоговірних тем № 161/03 “Дослідження реологічних властивостей сумішей, утворених при змішуванні у різноманітних пропорціях долиньської нафти та нафти сорту URALS”, № 161/05 “Дослідження реологічних властивостей нафт долиньських родовищ із домішуванням депресатора РЕНА-2210”, №161/07 “Дослідження реологічних властивостей нафт долиньських родовищ для контролю результатів випробування установки кавітаційної обробки рідин”, у розробці яких автор приймав безпосередню участь.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методів оцінювання впливу реологічних характеристик малов'язких і високов'язких нафт на їх транспортабельні властивості та енерговитратність трубопровідного транспорту.

Відповідно до мети були визначені наступні задачі досліджень:

- встановити експериментальним шляхом вплив додавання депресатора і розріджувача на закономірності зміни реологічних характеристик і транспортабельних властивостей високов'язкої долиньської нафти у робочому діапазоні температур та одержати математичні моделі залежності реологічних параметрів нафти, що містить депресатор або розріджувач, від температури та концентрації;
- експериментально дослідити вплив протитурбулентної присадки на закономірності зміни реологічних характеристик і транспортабельних властивостей малов'язкої російської нафти у робочому діапазоні температур та одержати математичні моделі залежності реологічних параметрів нафти з протитурбулентною присадкою від температури та концентрації присадки;
- шляхом проведення теоретичних досліджень виявити взаємозв'язок між реологічними властивостями високов'язкої нафти, транспортабельні властивості якої покращені розріджувачем або депресатором, і зменшенням енерговитратності перекачування її нафтопроводом;
- шляхом обробки даних промислових перекачувань виявити взаємозв'язок між концентрацією протитурбулентної присадки, режимом перекачування малов'язкої нафти і зменшенням енерговитратності її трубопровідного транспорту;
- виконати апробацію розроблених методів шляхом виконання технологічних розрахунків нафтопроводів України, що перекачують малов'язкі і високов'язкі нафти, і співставлення розрахованих і фактичних параметрів їх роботи.

Об'єкт дослідження – нафтопроводи України, які перекачують малов'язку російську нафту і високов'язку швидкозастигаючу нафту долиньських родовищ Прикарпаття.

Предмет дослідження – реологічні, термодинамічні та гідродинамічні процеси, що супроводжують транспортування високов'язких та малов'язких нафт по нафтопроводах.

Методи дослідження. Дослідження реологічних властивостей долиньської нафти з додаванням депресатора та розріджувача, а також російської нафти з додаванням протитурбулентної присадки проведені експериментальним методом з використанням ротаційного віскозиметра РЕОТЕСТ-2. При розробці математичних моделей та методик теплогідрравлічного розрахунку нафтопроводу при перекачуванні високов'язкої нафти, а також нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти використовували методи диференціального та інтегрального числення, методи математичного моделювання, а також загальновідомі методи планування та проведення експериментальних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлений взаємозв'язок між реологічними властивостями високов'язких і малов'язких нафт та енерговитратністю їх перекачування магістральними нафтопроводами. При цьому вперше отримано ряд нових наукових результатів, які виносяться на захист:

- встановлені експериментальним шляхом закономірності зміни реологічних характеристик високов'язкої долиньської нафти з додаванням депресатора та розріджувача у широкому діапазоні температур та концентрацій;
- доведено, що додавання депресатора і розріджувача суттєво зменшує діапазон температур, в якому проявляються в'язкопластичні властивості долиньської нафти, це покращує транспортабельні властивості долиньської нафти, помітно зменшуючи енерговитратність її трубопровідного транспорту;
- експериментальним шляхом встановлені закономірності впливу протитурбулентної присадки на реологічні характеристики малов'язкої російської нафти у широкому діапазоні температур і концентрації присадки;
- запропонована математична модель коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти з додаванням протитурбулентної присадки, яка дає змогу оцінити ефект зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту;
- розроблені математичні моделі коригуючих коефіцієнтів, що пов'язують між собою покращання реологічних характеристик в'язкопластичних рідин та ефект зменшення гідравлічного опору та енерговитратності їх трубопровідного транспорту.

Практичне значення отриманих результатів:

- на основі дослідних даних розраховані значення коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама для долиньської нафти з додаванням депресатора та розріджувача у робочому діапазоні температур; розроблені емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долиньської нафти з додаванням депресатора та розріджувача від температури для робочої зони концентрації добавок;

- на базі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблені методика та програмне забезпечення, що дають змогу оцінити вплив покращання реологічних властивостей високов'язкої долинської нафти на теплогідролічні та енергетичні параметри роботи нафтопроводів;
- розроблена методика та програмне забезпечення для визначення гідродинамічних та енергетичних параметрів роботи нафтопроводу, що перекачує малов'язку нафту з додаванням протитурбулентних присадок;
- за результатами досліджень розроблені рекомендації щодо зменшення енерговитратності та запобігання “заморожування” нафтопроводу Долина-Надвірна при перекачуванні високов'язкої долинської нафти.

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації виконані такі наукові дослідження та розробки:

1. Одержана математична модель коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти з додаванням протитурбулентної присадки [1].
2. Розроблена методика та програмне забезпечення для розрахунку нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти з додаванням протитурбулентної присадки [2].
3. Запропонована математична модель та розроблена методика визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості малов'язкої нафти при додаванні протитурбулентної присадки [3].
4. Запропоновані математичні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості від температури для високов'язкої долинської нафти з додаванням депресатора [4].
5. Одержані математичні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості від температури для високов'язкої долинської нафти з додаванням малов'язкої російської нафти [5].
6. Розроблена методика та програмне забезпечення для теплогідролічного розрахунку нафтопроводу при перекачуванні високов'язкої нафти з додаванням депресатора [6].

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2000-2005 рр), на V науково-технічній конференції “Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта”, 2006 р. (м. Новополоцк, Беларусь), на науково-практичному семінарі “Организаційні та методологічні аспекти контролю якості нафти під час її транспортування та зберігання”, 2006 р.(м. Івано-Франківськ, організатори ВАТ “Укртранснафта”, ІФНТУНГ).

У повному об'ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри транспорту і зберігання нафти і газу ІФНТУНГ та науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів зазначеного університету.

Публікації. За результатами досліджень, які викладені у дисертації, опубліковано 7 робіт, із них 6 у фахових журналах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, 40 рисунків, 28 таблиць, списку використаних джерел, який містить 105 найменувань, та 9 додатків, викладених на 205 сторінках тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, показаний її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, висвітлені мета і задачі досліджень, наукове і практичне значення отриманих результатів. Наведена інформація про апробацію роботи, її впровадження, розкритий особистий внесок автора і вказана кількість публікацій.

У першому розділі приведений аналіз результатів досліджень з питань зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту нафти і сформульовані задачі досліджень. Провідна роль у розв'язуванні проблеми зниження енерговитрат у трубопровідному транспорті нафти шляхом зменшення гідравлічного опору трубопроводу належить В.Л.Березіну, О.М.Іванцову, В.Я.Кареліну, В.Е.Накорякову, С.В.Яковлеву, П.П.Бородавкіну, В.А.Юфіну, М.В. Лур'є, А.В.Мішуєву, А.Я.Федоровському, А.Я.Олійнику, В.Ф.Новосолову, П.І.Тугунову, В.Е.Губіну, А.Г.Гумерову, К.Д. Фролову, М.Д. Середюк та ін.

Нафти, які транспортують нафтопроводами, можна поділити на малов'язкі та високов'язкі. Вони відрізняються між собою не тільки величиною в'язкості, але, насамперед, хімічним складом, вмістом парафіну та асфальто-смолистих речовин. Малов'язкі та високов'язкі нафти мають різні критерії оцінювання їх транспортабельних властивостей. Для малов'язких нафт, які належать до ньютонівських рідин, транспортабельні властивості однозначно характеризує величина кінематичної в'язкості. Для високов'язких нафт, які відносяться до неньютонівських рідин, критерії для оцінювання транспортабельних властивостей залежать від типу реологічної моделі рідини. Численні дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених довели, що високов'язкі парафіністі нафти за температур, близьких до температури їх застигання і нижчих, зазвичай відносяться до в'язкопластичних рідин, транспортабельні властивості яких характеризують наступні параметри: початкове (статичне) і граничне динамічне напруження зсуву та пластична в'язкість.

Слід відзначити принципово різні підходи до покращання транспортабельних властивостей малов'язких і високов'язких нафт. Одним із ефективних способів зменшення втрат тиску на тертя в магістральному трубопроводі при перекачуванні малов'язкої нафти є застосування протитурбулентних присадок. Аналіз результатів досліджень свідчить, що вплив кожного типу протитурбулентної присадки на покращання реологічних та транспортабельних властивостей кожного сорту нафти індивідуальний, залежить від технології перекачування нафтопроводом. Тому виявлення особливостей гідродинамічних процесів нафтопроводів при перекачуванні нафти з додаванням присадок вимагає проведення експериментальних досліджень як у лабораторних, так і промислових умовах. Із цієї причини результати досліджень, викладені у наявних на сьогодні роботах, не можуть бути безпосередньо застосовані для прогнозування ефективності застосування присадки "Liquid Power"TM для зменшення енерго-

витратності перекачування російської нафти сорту Urals системою магістральних нафтопроводів України. Це доказує необхідність проведення досліджень, які є предметом дисертаційної роботи. У результаті досліджень необхідно встановити взаємозв'язок між транспортабельними властивостями російської нафти сорту Urals із додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM і гідродинамічними та енергетичними параметрами її перекачування нафтопроводами.

У світовій та вітчизняній практиці трубопровідного транспорту найбільшого застосування набули такі способи покращання реологічних характеристик та залежних від них транспортабельних властивостей високов'язких і швидкозастигаючих нафт: підігрівання нафти на насосних станціях ("гаряче" або неізотермічне перекачування), використання депресаторів та розріджувачів (малов'язких нафт, світлих нафтопродуктів тощо). Вплив температурного чинника на реологічні властивості високов'язкої долиньської нафти вивчений у ряді робіт Середюк М.Д., Болонного В.Т. та Возняка М.П. У той же час дослідження впливу депресаторів та розріджувачів на транспортабельні властивості зазначеної нафти не проводилися взагалі. Доцільність застосування депресаторів та розріджувачів у тому чи іншому випадку повинна бути підтверджена результатами експериментальних та теоретичних досліджень. У результаті досліджень необхідно встановити взаємозв'язок між реологічними характеристиками долиньської нафти з додаванням депресаторів та розріджувачів, і гідродинамічними та енергетичними параметрами її трубопровідного транспорту.

Виходячи із сучасного стану проблеми, сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, результати вирішення яких наведено у наступних розділах.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню методики проведення та аналізу результатів експериментальних досліджень реологічних властивостей малов'язкої російської нафти сорту Urals із додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM, що покращує її транспортабельні властивості та зменшує енерговитратність перекачування нафтопроводами.

Дослідження проводились в широкому температурному діапазоні за допомогою приладу РЕОТЕСТ-2. Це структурний ротаційний віскозиметр, який призначений як для визначення динамічної в'язкості ньютонівських рідин, так і для проведення глибоких реологічних досліджень неньютонівських рідин. З метою достовірного моделювання фізико-хімічних та гідродинамічних процесів робочі проби нафти термостатувалися необхідний час з використанням термостата та холодильної установки власного виготовлення.

Для проб російської нафти сорту Urals з певним вмістом протитурбулентної присадки за допомогою приладу РЕОТЕСТ-2 вимірювалися значення динамічного напруження зсуву τ залежно від градієнта швидкості зсуву $\gamma = \frac{du}{dr}$ у діапазоні швидко-

стей від 0 до 1310 1/с і температур від 0 до 30 °С. Досліди проводились при прямому і зворотному ходах віскозиметра, що відповідає відповідно зруйнованій і незруйнованій структурі нафти.

За результатами експериментів побудовані графіки залежності динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості зсуву - криві течії російської нафти сорту Urals при додаванні присадки "Liquid Power"TM. Приклад кривих течії для температури 10 °C і об'ємних концентрацій присадки $20 \cdot 10^{-6}$ наведений на рис.1.

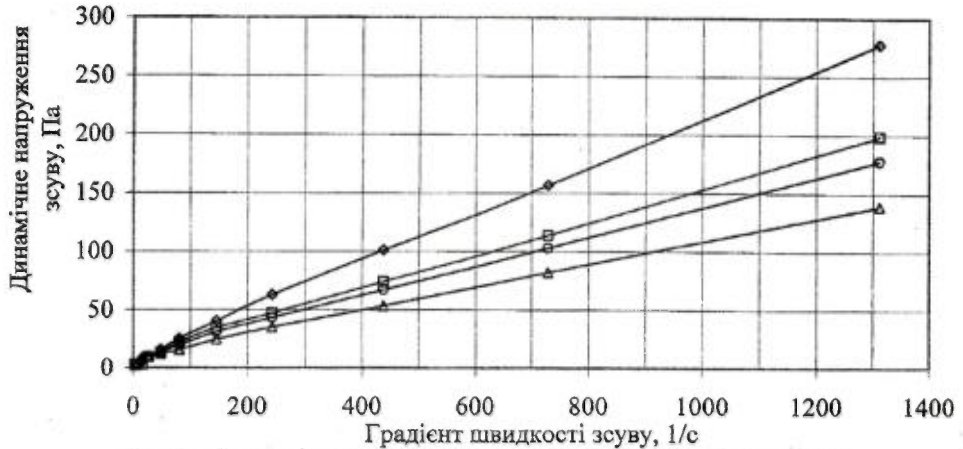


Рис.1. - Залежність динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості зсуву для російської нафти з додаванням протитурбулентної присадки при температурі 10 °C

- концентрація присадки 10 мільйонних часток
- концентрація присадки 20 мільйонних часток
- ◇ концентрація присадки 30 мільйонних часток
- ▲ нафта без присадки

Аналіз кривих течії свідчить, що російська нафта сорту Urals з додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM у діапазоні робочих концентрацій і температур характеризується властивостями ньютонівської рідини. Криві течії рідини незалежно від концентрації присадки розпочинаються практично з початку координат, що свідчить про відсутність неньютонівських властивостей. Графіки залежності динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості зсуву рідини, одержані для прямого і зворотного ходів віскозиметра, практично збігаються, що свідчить про відсутність тискотропних властивостей.

Виявлено, що за фіксованої температури криві течії нафти сорту Urals при різній концентрації протитурбулентної присадки мають різний кут нахилу, що свідчить про вплив підмішування присадки на динамічну в'язкість суміші.

Таким чином, у результаті експериментальних досліджень виявлений помітний вплив підмішування присадки "Liquid Power"TM на динамічну в'язкість російської нафти сорту Urals, а отже на її реологічні та транспортбельні властивості. У той же час проведені нами досліди засвідчили, що додавання протитурбулентної присадки

“Liquid Power”TM при об’ємних концентраціях від $10 \cdot 10^{-6}$ до $30 \cdot 10^{-6}$ практично не впливає на густину нафти. Так як кінематична в’язкість нафти залежить від динамічної в’язкості та густини, то звідси випливає, що у разі введення у російську нафту сорту Urals протитурбулентної присадки “Liquid Power”TM необхідним є коригування значення кінематичної в’язкості транспортованої нафти.

Кінематична в’язкість нафти при застосуванні присадки буде визначатися як добуток кінематичної в’язкості вихідної нафти ν_0 на коефіцієнт збільшення кінематичної в’язкості k_ν , який є функцією температури і концентрації присадки

$$\nu = k_\nu \cdot \nu_0. \quad (1)$$

Шляхом обробки експериментальних даних нами одержана така залежність коефіцієнта збільшення кінематичної в’язкості нафти сорту Urals від концентрації протитурбулентної присадки “Liquid Power”TM і температури нафти:

$$k_\nu = \frac{(e^C)^{0,0607} + 39,7}{t \cdot 0,0328 + 40,7}, \quad (2)$$

де C - концентрація протитурбулентної присадки у мільйонних об’ємних частках;
 t - температура нафти, °С.

Аналіз результатів експериментальних досліджень впливу протитурбулентної присадки “Liquid Power”TM на реологічні властивості російської нафти сорту Urals засвідчив, що із зростанням температури вплив присадки на динамічну в’язкість нафти послаблюється, а збільшення концентрації присадки призводить до зростання динамічної в’язкості нафти.

Третій розділ містить аналіз результатів експериментальних досліджень впливу депресатора вітчизняного виробництва РЕНА-2210 на реологічні характеристики і транспортабельні властивості високов’язких швидкозастигаючих нафт Долинських родовищ Прикарпаття.

Експериментальні дослідження проводились за допомогою приладу РЕОТЕСТ-2 в інтервалі температур від 40 до 0 °С і концентрації присадки у високов’язкій долинській нафті 0; 0,05; 0,075; 0,1 та 0,15 % (масових). При цьому для визначення реологічних властивостей при кожному значенні температури використовувалась нова порція нафти. За даними експериментів побудовані криві текучості при кожному значенні температури для долинської нафти без депресатора і для чотирьох значень концентрації депресатора у долинській нафті. Приклад одержаних кривих течії, а також результати математичного моделювання з метою одержання коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама наведених на рис.2.

На рис.3. виконано порівняння залежності граничного динамічного напруження зсуву від температури для долинської нафти без депресатора та з додаванням 0,05 % депресатора.

Аналіз реологічних кривих, одержаних для всього діапазону робочих температур, дає змогу зробити висновок, що долинська нафта з додаванням депресатора РЕНА-2210 може бути віднесена до в’язкопластичних рідин, рух яких у широкому діапазоні градієнтів швидкості з достатньою точністю описується рівнянням Шведова-Бінгама.

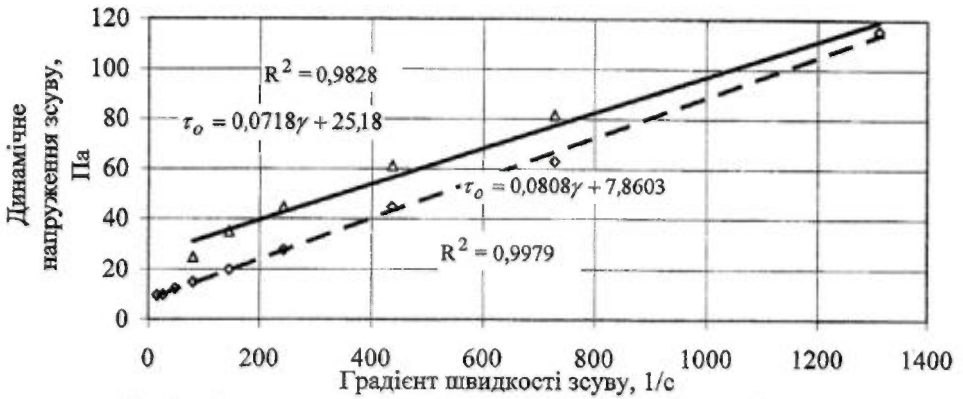


Рис.2. - Результати математичного моделювання реологічних характеристик долиньської нафти з додаванням 0,05 % депресатора за температури 0 °С

- ▲ прямий хід
 — лінійний (прямий хід)
- ◇ зворотний хід
 - - лінійний (зворотний хід)

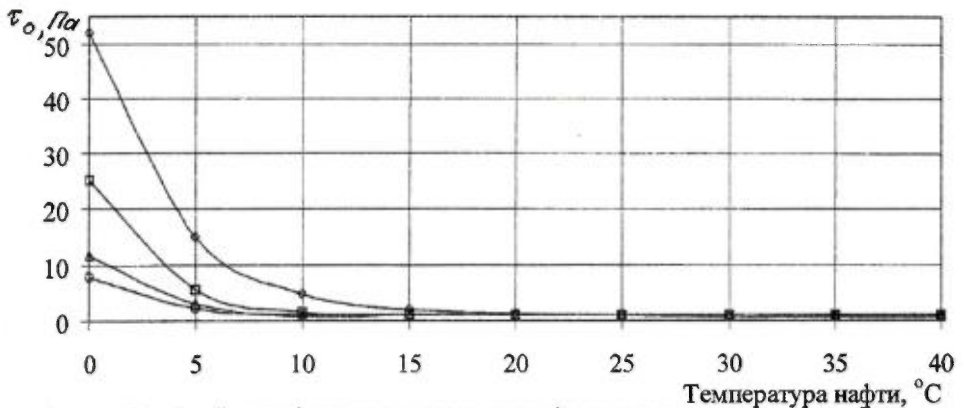


Рис.3. - Залежність граничного динамічного напруження зсуву від температури для долиньської нафти без депресатора та з додаванням 0,05 % депресатора

- ◇ прямий хід для долиньської нафти
 ▲ зворотний хід для долиньської нафти
 ■ прямий хід для долиньської нафти з 0,05 % депресатора
 ○ зворотний хід для долиньської нафти з 0,05 % депресатора

За результатами експериментальних досліджень виконано математичне моделювання залежності реологічних параметрів долиньської нафти з додаванням різної кількості депресатора від температури ($^{\circ}\text{C}$) для незруйнованої і зруйнованої структури. Розроблені нами математичні моделі реологічних характеристик долиньської нафти з додаванням 0,05 % депресатора мають такий вигляд:

для граничного динамічного напруження зсуву (Па):

- у разі незруйнованої структури нафти

$$\tau_o = 25,2 - 6,6767t + 0,7t^2 - 3,2533 \cdot 10^{-2}t^3 + 5,6 \cdot 10^{-4}t^4; \quad (3)$$

- у разі зруйнованої структури нафти

$$\tau_o = 7,9 - 1,915t + 0,1945t^2 - 8,6 \cdot 10^{-3}t^3 + 1,4 \cdot 10^{-4}t^4; \quad (4)$$

для пластичної в'язкості ($\text{Па}\cdot\text{с}$):

- у разі незруйнованої структури нафти

$$\eta_{\text{пл}} = 7,2433 \cdot 10^{-2} - 7,1656 \cdot 10^{-3}t + 2,8423 \cdot 10^{-4}t^2 - 4,6727 \cdot 10^{-6}t^3 + 2,4848 \cdot 10^{-8}t^4; \quad (5)$$

- у разі зруйнованої структури нафти

$$\eta_{\text{пл}} = 8,1123 \cdot 10^{-2} - 9,2419 \cdot 10^{-3}t + 4,3641 \cdot 10^{-4}t^2 - 8,9879 \cdot 10^{-6}t^3 + 6,6061 \cdot 10^{-8}t^4. \quad (6)$$

Аналіз експериментальних досліджень реологічних властивостей долиньської нафти з 0,05–0,15 % депресатора засвідчив, що додавання депресатора РЕНА-2210 до долиньської нафти окрім впливу на статичне і граничне напруження зсуву суттєво знижує температуру її застигання, що зменшує небезпеку “заморожування” нафтопроводу. За результатами експериментальних досліджень виявлено, що оптимальна концентрація депресатора РЕНА-2210 в долиньській нафті з точки зору покращання транспортнабельних властивостей і зменшення енерговитратності перекачування становить 0,05–0,075 % масових.

Четвертий розділ містить аналіз результатів експериментальних досліджень впливу розріджувача – малов'язкої російської нафти сорту Urals на реологічні характеристики і транспортнабельні властивості високов'язкої долиньської нафти. Експерименти проводились за допомогою приладу РЕОТЕСТ-2 в інтервалі температур від 40 до 0°C і концентрації долиньської нафти від 30 % до 5 % через 5 %. За результатами дослідів побудовані криві течії долиньської нафти, нафти сорту Urals, а також їх сумішей з різною концентрацією компонентів у діапазоні робочих температур. Шляхом математичного моделювання зазначених графіків одержані аналітичні залежності статичного та граничного динамічного напруження зсуву, а також пластичної в'язкості від температури для сумішей долиньської нафти і нафти сорту Urals із різним співвідношенням концентрацій компонентів.

Аналіз реологічних кривих, одержаних для всього діапазону робочих температур, дає змогу зробити висновок, що суміш із 30 % долиньської нафти і 70 % нафти сорту Urals характеризується властивостями в'язкопластичної рідини. Не дають змоги одержати рідину із ньютонівськими властивостями зменшення концентрації долиньської нафти у суміші до 25, 20 і 15 %. Лише при концентраціях долиньської нафти у суміші, менших за 10 %, транспортована рідина проявляє властивості ньютонівської рідини у робочому діапазоні температур.

Виконані нами експериментальні дослідження температури застигання сумішей

долинської нафти і нафти сорту Urals показали, що зі збільшенням концентрації розріджувача від 70 до 95 % температура застигання помітно зменшується. Щоб забезпечити температуру застигання транспортованої рідини меншу за 0 °С, треба застосовувати суміш нафт, що містить не більше 14 % високов'язкої долинської нафти.

П'ятий розділ присвячений встановленню взаємозв'язку між реологічними характеристиками високов'язких та малов'язких нафт та енерговитратністю їх перекачування нафтопроводами.

Для розробки математичних моделей гідродинамічних процесів у нафтопроводах при перекачуванні нафт з покращеними транспортабельними властивостями необхідно встановити взаємозв'язок між реологічними параметрами високов'язких і малов'язких нафт та енерговитратністю їх трубопровідного транспорту.

Слід зазначити, що гідродинамічні розрахунки нафтопроводів при перекачуванні малов'язких нафт з додаванням протитурбулентних присадок мають низку особливостей і не можуть виконуватись за існуючими методиками, справедливими при перекачуванні нафт, що не підлягали зміні транспортабельних властивостей. При цьому вплив кожного типу протитурбулентної присадки на реологічні характеристики кожного сорту нафти, що перекачується нафтопроводом, індивідуальний і може бути виявлений лише дослідним шляхом у лабораторних та виробничих умовах.

Регулярному використанню енергозберігаючої технології перекачування російської нафти сорту Urals з додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM передували промислові експерименти на нафтопроводі Снігурівка—Одеса. Вони проводились співробітниками Одеського районного нафтопровідного управління за присутності представників фірми "Коноко". Результати промислових експериментів були передані нам для опрацювання.

Промислові експерименти виконувались при різних значеннях концентрації присадки та кінематичної в'язкості транспортованої нафти, що відповідають літнім, осінньо-весняним і зимовим умовам перекачування.

Як зазначалось вище, введення протитурбулентної присадки у потік рідини зменшує турбулентні пульсації і тим самим зменшує гідравлічний опір і втрати тиску у нафтопроводі. Зменшення турбулентних пульсацій безпосередньо впливає на характер розподілу швидкостей по перерізу турбулентного потоку, що в свою чергу викликає зміну коефіцієнта гідравлічного опору.

Відповідно до теоретичних основ турбулентності з врахуванням критеріїв моделювання потоку реальної рідини запропоновано таку математичну модель для визначення коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при перекачуванні нафти з додаванням протитурбулентної присадки:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25+K(C,\nu)C}}, \quad (7)$$

де Re - число Рейнольдса в нафтопроводі, обчислене за кінематичною в'язкістю нафти з врахуванням впливу протитурбулентної присадки відповідно до результатів досліджень у розділі 2; $K(C,\nu)$ - коригувальний коефіцієнт режиму руху, функція концентрації присадки і кінематичної в'язкості нафти; C - об'ємна концентрація протиту-

рбулентної присадки в транспортованій нафтопроводом нафті. Шляхом математичної обробки промислових експериментів, одержано таку залежність коригувального коефіцієнта режиму руху від концентрації протитурбулентної присадки і в'язкості нафти:

$$K = A(\nu) \ln C + B(\nu), \quad (8)$$

де $A(\nu), B(\nu)$ - коефіцієнти математичної моделі, функція кінематичної в'язкості нафти

$$A = 190,28 \ln \nu + 1221, \quad B = 1723,8 \ln \nu + 12008. \quad (9)$$

Для перевірки адекватності одержаних моделей нами виконана математична обробка результатів штатних перекачувань російської нафти сорту Urals із додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM нафтопроводом Снігурівка–Одеса.

Обробка статистичних даних режимних параметрів роботи нафтопроводу Снігурівка–Одеса при застосуванні протитурбулентних присадок для покращання реологічних властивостей нафти сорту Urals засвідчила, що максимальне відхилення значень коефіцієнта гідравлічного опору, розрахованих за формулами (7)-(9), від фактичних величин не перевищує $\pm 10\%$. Це свідчить про можливість застосування запропонованих математичних моделей для прогнозування режимних та енергетичних параметрів роботи діючих нафтопроводів.

Якщо знехтувати безпосереднім впливом кінематичної в'язкості нафти на коригувальний коефіцієнт режиму руху і обмежитись урахуванням більш впливового чинника – концентрації протитурбулентної присадки на зменшення енерговитратності перекачування, то можна запропонувати більш просту математичну модель для визначення коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при застосуванні протитурбулентних присадок, одержану нами шляхом обробки статистичної інформації з режимних параметрів роботи нафтопроводу Снігурівка–Одеса (для діапазону кінематичної в'язкості нафти від $20 \cdot 10^{-6}$ до $30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$)

$$\lambda_{np} = \frac{1}{(1,85 \cdot (1 - I_{gRe}))^2 + 1,5 \cdot 10^6 \cdot C}. \quad (10)$$

Розрахунки свідчать, що математична модель (10) з максимальною похибкою $\pm 12\%$ описує фактичні дані залежності коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу від числа Рейнольдса і концентрації протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM у нафті сорту Urals.

На базі результатів промислових експериментів та математичних моделей, одержаних шляхом їх обробки, нами розроблена методика оцінювання ефективності заходів покращання реологічних властивостей малов'язких нафт з точки зору зменшення енерговитратності їх перекачування нафтопроводом.

Для оцінювання ефективності заходів щодо зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту малов'язких нафт з покращаними реологічними властивостями запропоновано використовувати коефіцієнт відносного зменшення втрат тиску, аналітичний вираз для якого з врахуванням математичних моделей (7)-(9) приймає вигляд

$$\delta_p = (Re^{-K \cdot C} - 1) \cdot 100 \%. \quad (11)$$

Розроблені математичні моделі для коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при перекачуванні нафти з додаванням протитурбулентної присадки дали можливість створити обчислювальний алгоритм та програмне забезпечення для визначення режимних та енергетичних параметрів роботи нафтопроводу Снігурівка–Одеса при реалізації енергозберігаючої технології перекачування нафти сорту Urals.

Аналіз розрахунків засвідчив, що використання протитурбулентної присадки дозволяє значно збільшити пропускну здатність нафтопроводу Снігурівка–Одеса. Для варіанта максимального завантаження насосних станцій пропускна здатність зростає з 1803 м³/год для технології перекачування без присадки до 2487 м³/год – при перекачуванні з об'ємною концентрацією присадки 30·10⁻⁶. Відносне зростання пропускної здатності нафтопроводу становить 38 %.

Для високов'язких нафт Прикарпаття з метою покращання їх реологічних та транспортабельних властивостей та зменшення енерговитратності перекачування доцільно застосовувати вітчизняні депресатори або розріджувачі із малов'язких нафт. Незалежно від застосованої технології транспортування, як засвідчили наші дослідження, долиньська нафта з покращеними реологічними властивостями у певному діапазоні робочих температур характеризується властивостями в'язкопластичної рідини.

Гідродинамічні розрахунки нафтопроводів при перекачуванні в'язкопластичних рідин не можуть виконуватись за методиками, справедливими при перекачуванні ньютонівських рідин. Відоме рівняння Букінгема для руху в'язкопластичної рідини не може бути безпосередньо розв'язане відносно втрат тиску, що утруднює його практичне застосування.

Тому нами запропонований метод гідравлічного розрахунку нафтопроводу при перекачуванні в'язкопластичної рідини, що базується на застосуванні традиційної формули Дарсі–Вейсбаха і передбачає уведення коригувальних коефіцієнтів, які дають змогу врахувати зростання гідравлічного опору нафтопроводу через наявність у транспортваній рідині в'язкопластичних властивостей. Із урахуванням теорії подібності стосовно руху потоку в'язкопластичної рідини коригувальні коефіцієнти представлені як функція бінгамівського числа Рейнольдса і критерію Іллюшина.

Обробка результатів багатоваріантних гідравлічних розрахунків режимів роботи модельного нафтопроводу за програмою PLAS показала, що математична модель коригувального коефіцієнта гідравлічного опору при перекачуванні в'язкопластичної рідини може бути представлена у вигляді

$$K_{\lambda} = A(Re) \cdot \Pi + B(Re), \quad (12)$$

де $A(Re), B(Re)$ - коефіцієнти математичної моделі, значення яких залежить від величини бінгамівського числа Рейнольдса.

для коефіцієнта моделі A при $Re < 2300$

$$A = 0,07970 + 1,0035 \cdot 10^{-4} Re - 4,5631 \cdot 10^{-8} Re^2; \quad (13)$$

для коефіцієнта моделі A при $Re > 2300$

$$A = 24,027 \cdot Re^{-0,7398}; \quad (14)$$

для коефіцієнта моделі B при $Re < 2300$

$$B = 3,0491 + 2,9369 \cdot 10^{-3} Re - 1,4598 \cdot 10^{-6} Re^2; \quad (15)$$

для коефіцієнта моделі B при $Re > 2300$

$$B = 4861,5 Re^{-0,9797}. \quad (16)$$

Таким чином, шляхом математичного моделювання функції (12) нами одержані аналітичні залежності (13)-(16), які дають змогу при заданій витраті, не використовуючи метод ітерацій, визначити енергетичні втрати при перекачуванні нафтопроводом рідини, що характеризується в'язкопластичними властивостями.

Нами розроблені методика і комп'ютерна програма Efect, які дають змогу визначити ефективність того чи іншого способу покращання реологічних властивостей високов'язкої швидкозастигаючої нафти і зменшення енерговитратності її перекачування нафтопроводом. Програма Efect є математичною моделлю руху в'язкопластичної рідини в нафтопроводі. Вона дає змогу встановити безпосередній взаємозв'язок між реологічними параметрами високов'язкої нафти, що характеризується в'язкопластичними властивостями, та енерговитратністю її перекачування нафтопроводом. Аналіз результатів багатоваріантних розрахунків за програмою Efect свідчить про суттєвий вплив зменшення значення граничного динамічного напруження зсуву нафти на зниження енерговитратності її перекачування нафтопроводом.

Для оцінювання впливу покращання транспортабельних властивостей високов'язких нафт на енерговитратність перекачування вводимо коефіцієнт відносного зменшення втрат тиску від тертя

$$\delta_p = \frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{\Delta P_1} 100, \quad (17)$$

де ΔP_1 і ΔP_2 - втрати тиску від тертя при перекачуванні вихідної нафти та нафти з поліпшеними реологічними властивостями.

Реалізація спеціальної технології покращання транспортабельних властивостей високов'язкої нафти шляхом підігрівання її до певної температури і застосування розріджувачів або депресаторів робить необхідним розробку методики теплогідрравлічного розрахунку, яка дає змогу при заданій витраті нафти в нафтопроводі прогнозувати загальні втрати тиску і тим самим визначити необхідний тиск після регуляторів на виході НПС Долина і можливість реалізації заданого режиму роботи нафтопроводу.

Запропонована методика, яка враховує реологічні особливості долиньської нафти з додаванням депресатора або розріджувача, температурні умови транспортованої нафти, температурні і термодинамічні властивості ґрунту, реалізована у програмі DANA. За результатами теплогідрравлічних розрахунків виконаний прогноз динаміки енерговитратності перекачування у нафтопроводі Долина-Надвірна (мінімально необхідного тиску на виході НПС Долина) залежно від місяця року при різних витратах нафти та різних значеннях концентрацій депресатора. Приклад одержаних результатів для одного із варіантів роботи нафтопроводу наведений на рис.4.

Використовуючи програму DANA, можна достовірно прогнозувати режимні та енергетичні параметри роботи нафтопроводу Долина-Надвірна при неізотермічному перекачуванні долиньської нафти, реологічні властивості якої покращені депресатором або розріджувачем.

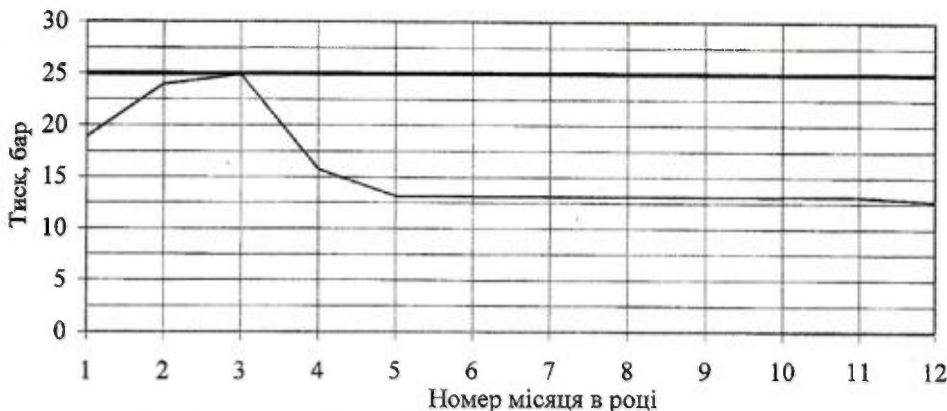


Рис.4. - Прогноз динаміки зміни втрат тиску в нафтопроводі Долина-Надвірна по місяцях року при перекачуванні долинської нафти з додаванням 0,05 % РЕНА-2210 при витраті 400 м³/год

- мінімально необхідний тиск після регуляторів НПС Долина за результатами розрахунків
- максимально допустимий робочий тиск на виході НПС Долина

ВИСНОВКИ

На основі проведених у дисертаційній роботі експериментальних та теоретичних досліджень властивостей нафт, а також їх сумішей з депресаторами, розріджувачами і протитурбулентними присадками вирішена наукова задача встановлення взаємозв'язку між реологічними характеристиками малов'язких та високов'язких нафт і енерговитратністю їх трубопровідного транспорту, запропоновані нові методи впливу на реологічні характеристики нафт з метою зниження енерговитратності їх трубопровідного транспорту, розроблені методи технологічних розрахунків нафтопроводів при перекачуванні нафт з поліпшеними транспортними властивостями.

1. Доведено, що додавання депресатора РЕНА-2210 і розріджувача – нафти сорту Urals суттєво покращує реологічні характеристики високов'язкої долинської нафти, знижуючи до 15-10 °С температуру початку прояву її в'язкопластичних властивостей. За результатами експериментальних досліджень одержані математичні моделі для визначення статичного і граничного динамічного напружень зсуву та пластичної в'язкості нафти в широкому температурному діапазоні і різних концентраціях депресатора і розріджувача.

2. Експериментальним шляхом виявлений помітний вплив протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM на закономірності зміни реологічних властивостей нафти сорту Urals, одержана аналітична залежність коефіцієнта збільшення кінематичної

в'язкості нафти від температури та концентрації присадки.

3. На базі результатів експериментальних досліджень реологічних характеристик долинської нафти і розробленої математичної моделі нафтопроводу при перекачуванні в'язкопластичної рідини, запропонований метод оцінювання впливу зміни реологічних характеристик високов'язких нафт на енерговитратність їх транспортування, який дає змогу науково обґрунтувати доцільність застосування тієї чи іншої технології.

4. На базі результатів лабораторних та промислових експериментів створена математична модель нафтопроводу, що перекачує нафту сорту Urals із додаванням протитурбулентної присадки "Liquid Power"TM. Запропонований метод оцінювання впливу зміни реологічних характеристик малов'язких нафт на енерговитратність їх перекачування нафтопроводом, що дає змогу науково обґрунтувати доцільність застосування протитурбулентної присадки у конкретних умовах експлуатації.

5. Апробація розробок для умов перекачування долинської нафти нафтопроводом Долина-Надвірна показала, що оптимальною концентрацією депресатора РЕНА-2210 з точки зору зменшення енерговитратності перекачування є 0,05-0,075 %. Апробація розробок для умов перекачування нафти сорту Urals нафтопроводом Снігурівка-Одеса засвідчила, що застосування протитурбулентних присадок "Liquid Power"TM зменшує енерговитратність трубопровідного транспорту в середньому на 24 %.

Основний зміст роботи опубліковано у таких працях

1. Пилипів Л.Д. Математичне моделювання коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при використанні протитурбулентних присадок. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 1(6). - С. 90-95.
2. Пилипів Л.Д. Розробка режимів роботи магістрального нафтопроводу Снігурівка-Одеса при використанні протитурбулентної присадки. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 2(7). - С. 18-21.
3. Пилипів Л.Д. Дослідження впливу протитурбулентних присадок на реологічні властивості нафти і пропускну здатність магістрального нафтопроводу. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2006. - № 1(18). - С. 37-40.
4. Пилипів Л.Д., Середюк М.Д. Експериментальні дослідження реологічних характеристик долинської нафти з додаванням депресатора. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2006. - № 3(20). - С. 50-54
5. Пилипів Л.Д., Середюк М.Д. Дослідження реологічних властивостей сумішей долинської нафти і нафти сорту URALS. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2006. - № 2(19). - С. 48-53.
6. Середюк М.Д., Пилипів Л.Д. Методика теплогідравлічного розрахунку нафтопроводу при перекачуванні високов'язкої нафти з додаванням депресатора. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2006. - № 4(21). - С. 48-51.
7. Середюк М.Д., Пыльпив Л.Д. Исследование реологических свойств высоковязких и высокозастывающих нефтей с целью повышения эксплуатационной надежности нефтепроводов. // Материалы V международной научно-технической конф. "Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта". - Новополюк. - 2006. - С. 124-126.

АНОТАЦІЯ

Пилипів Л.Д. Зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту нафти шляхом впливу на її реологічні властивості.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2007.

Дисертація присвячена розробці методів оцінювання впливу реологічних характеристик малов'язких і високов'язких нафт на їх транспортабельні властивості та енерговитратність трубопровідного транспорту. Виконані експериментальні дослідження реологічних характеристик малов'язкої російської нафти, транспортабельні властивості якої покращені шляхом введення протитурбулентної присадки, та високов'язкої долинської нафти, транспортабельні властивості якої покращені шляхом введення депресатора або розріджувача - малов'язкої нафти Urals. Обґрунтований вибір реологічної моделі високов'язкої та малов'язкої нафт в широкому діапазоні температур та концентрацій добавок.

Розроблені математичні моделі залежності динамічної в'язкості нафти сорту Urals та коефіцієнта гідравлічного опору при її перекачуванні нафтопроводом від температури і концентрації протитурбулентної присадки. Створено методику та програмне забезпечення для розрахунку гідродинамічних параметрів роботи нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти з протитурбулентною присадкою, які дозволяють оцінити вплив зміни реологічних характеристик нафти на енерговитратність її трубопровідного транспорту.

Встановлений взаємозв'язок між реологічними характеристиками високов'язкої нафти, транспортабельні властивості якої поліпшені шляхом введення депресатора або розріджувача, та енерговитратністю її перекачування нафтопроводом. Розроблена математична модель нафтопроводу при ізотермічному і неізотермічному перекачуванні високов'язкої нафти з покращеними реологічними властивостями.

Виконана апробація розробок шляхом виконання технологічних розрахунків та порівняння їх з фактичними режимами роботи нафтопроводів Снігурівка–Одеса і Додина–Надвірна.

Ключові слова: нафтопровід, реологія, транспортабельні властивості, протитурбулентна присадка, депресатор, розріджувач, енерговитратність.

АННОТАЦИЯ

Пыльпив Л.Д. Уменьшение энергоемкости трубопроводного транспорта нефти путем влияния на ее реологические свойства. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2007.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных литературных источников и приложений.

В первом разделе приведен анализ результатов исследований по вопросам уменьшения энергоёмкости трубопроводного транспорта нефти и сформулированы задачи исследований. Доказана актуальность исследований по вопросам уменьшения потерь энергии в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов.

Второй раздел посвящен обоснованию методики проведения и анализа результатов экспериментальных исследований реологических свойств маловязкой российской нефти сорта Urals с добавлением противотурбулентной присадки "Liquid Power"TM. Исследования проводились в широком температурном диапазоне с помощью прибора РЕОТЕСТ-2. Доказано, что российская нефть сорта Urals с добавлением противотурбулентной присадки "Liquid Power"TM в диапазоне рабочих концентраций и температур характеризуется свойствами ньютоновской жидкости. Анализ результатов экспериментов дал возможность сделать выводы, что с ростом температуры влияние присадки на динамическую вязкость нефти ослабевает, а увеличение концентрации присадки приводит к увеличению динамической вязкости нефти.

Третий раздел содержит анализ результатов экспериментальных исследований влияния депрессатора отечественного производства РЕНА-2210 на реологические характеристики и транспортабельные свойства высоковязких нефтей Долинского месторождения. Анализ реологических кривых, полученных для всего диапазона рабочих температур, дал возможность сделать вывод, что долинская нефть с добавлением депрессатора РЕНА-2210 может быть отнесена к вязкопластичным жидкостям, движение которых описывается уравнением Шведова-Бингама. Выполнено математическое моделирование зависимости реологических параметров долинской нефти с добавлением разного количества депрессатора от температуры. Доказано, что оптимальная концентрация депрессатора РЕНА-2210 в долинской нефти составляет 0,05-0,075 %.

Четвертый раздел содержит анализ результатов экспериментальных исследований влияния разбавителя – маловязкой российской нефти сорта Urals на реологические характеристики и транспортабельные свойства высоковязкой долинской нефти. Доказано, что добавление маловязкой российской нефти к долинской улучшает транспортабельные свойства смеси.

Пятый раздел посвящен установлению взаимосвязи между реологическими характеристиками высоковязких и маловязких нефтей и энергозатратами на их перекачку нефтепроводами. Предложены математические модели для определения коэффициента гидравлического сопротивления нефтепровода при перекачке нефти с добавлением противотурбулентной присадки. Для оценки эффективности мероприятий по уменьшению энергоёмкости трубопроводного транспорта маловязких нефтей с улучшенными реологическими свойствами предложено использовать коэффициент относительного уменьшения потерь давления. Создан вычислительный алгоритм и программное обеспечение для определения режимных и энергетических параметров работы нефтепровода при перекачке нефти сорта Urals с противотурбулентной присадкой. Предложен метод гидравлического расчета нефтепровода при перекачке вязкопластической жидкости, базирующийся на применении формулы Дарси-Вейсбаха и предусматривающий введение корректирующих коэффициентов увеличения гидравлического сопротивления нефтепровода. Разработаны методика и компьютерная про-

грамма Effect, которые дают возможность определить эффективность того или иного способа улучшения реологических свойств высоковязкой нефти и уменьшения энергоёмкости ее перекачивания нефтепроводом. Предложена методика теплогидравлического расчета нефтепровода при перекачке высоковязкой нефти. Апробация методик произведена путем выполнения технологических расчетов нефтепроводов и сравнения полученных результатов с фактическими режимами работы нефтепроводов Снигиревка-Одесса и Долина-Надворная. Максимальное отклонение результатов не превышает $\pm 12\%$.

Ключевые слова: нефтепровод, реология, транспортабельные свойства, противотурбулентная присадка, депрессатор, разбавитель, энергозатраты.

ABSTRACT

Pylypiv L.D. Decrease of Power Output of Oil Pipeline Transportation by Way of Influence on Oil Rheological Properties.

The thesis has been written to gain a Candidate of Science Degree according to the major 05.15.13 – Oil and Gas Pipelines, Storages and Holders. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2007.

The thesis is devoted to the development of methods for the evaluation of influence of the rheological properties of oils with low and high viscosities on their transport characteristics and power output of pipeline transport. There have been conducted experimental researches of the rheological properties of low-viscosity Russian oil, the flow characteristics of which have been improved by the introduction of drag reduce agent; of high-viscosity Dolyna oil, which flow characteristics have been improved by the introduction of depressor or diluent of low-viscosity Urals oil. The choice of rheological model of oils with low and high viscosities in a large range of temperatures and addition agents' concentration has been proved. The mathematical models have been developed to show the dependence of Urals oil dynamic viscosity as well as hydraulic resistance coefficient during the process of oil pumping through pipelines on temperature and concentration of drag reduce agent. Besides, there have been created methods and software to calculate hydrodynamic operation parameters of oil pipeline during the process of low-viscosity oil pumping with the drag reduce agent. These parameters permit to estimate the influence of oil rheological properties changes on the power output of the oil pipeline transport.

The author has settled down the interrelation between the rheological properties of high-viscosity oil, which transport characteristics were improved by the usage of depressor or diluent, and power output of this oil pumping through the pipeline. A mathematical model of pipeline having isothermal and anisothermic high-viscosity oil pumping with the improved rheological properties has been worked out.

The developments have been approved by the technological calculations and comparison of their results with the real operation regimes of Snigurivka-Odessa and Dolyna-Nadvirna pipelines.

Key words: oil pipeline, rheology, transport characteristics, drag reduce agent, depressor, diluent, power output.