

622.692.4

579

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

БОЛОННИЙ ВАСИЛЬ ТАРАСОВИЧ

УДК 622.692.4.052.7

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
НАФТОПРОВІДІВ ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ
ОСОБЛИВОСТЕЙ НАФТ ПРИКАРПАТТЯ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ-2006

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, доцент **Венгерцев Юрій Олександрович,**

Міжнародний науково-технічний університет, завідувач кафедри транспорту та зберігання нафти і газу, м. Київ.

Провідна установа – **ІВП “Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу” (ВННТРАНСГАЗ),** м. Київ.

Захист відбудеться 25 травня 2006 р. о. 14.00 год. в аудиторії спеціалізованої вченої ради Д 20.052.01 при Івано-Франківському технічному університеті нафти і газу.

76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією є можливість ознайомитися в спеціалізованій бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

адреса: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Телефон: (0362) 521111, факс: (0362) 521112.

Електронна адреса: info@nftu.edu.ua

веб-сайт: www.nftu.edu.ua

код ЄАН: 31000000000000000000

код ЄАН: 31000000000000000000



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нафти, які видобуваються в Україні, помітно різняться фізико-хімічними властивостями. Нафти східних родовищ України характеризуються малим вмістом парафіну та асфальто-смолистих речовин. Це визначає їх низьку температуру застигання, невелику кінематичну в'язкість та високі транспортбельні властивості у широкому діапазоні робочих температур, що дає змогу реалізувати традиційну ізотермічну технологію перекачування по магістральних нафтопроводах. У той же час частина сортів нафт Прикарпатського регіону характеризуються підвищеним вмістом парафіну та асфальто-смолистих речовин, що робить їх високов'язкими і швидкозастигаючими рідинами, які характеризуються низькими транспортбельними властивостями при температурах, що відповідають умовам навколишнього середовища. Особливості хімічного складу та реологічних характеристик таких нафт унеможливають традиційну технологію їх трубопровідного транспортування, що визначає необхідність використання спеціальних технологій перекачування. Серед десятків відомих на сьогодні спеціальних технологій трубопровідного транспортування високов'язких нафт найбільшого практичного застосування набула технологія перекачування з попереднім підігрівом. В Україні зазначена технологія використовується на нафтопроводі Долина-Дрогобич для транспортування високов'язкої і швидкозастигаючої нафти Долинських родовищ (далі - долинська нафта).

Надійна робота нафтопроводу Долина-Дрогобич та ефективна реалізація складної технології перекачування високов'язких нафт з попереднім підігрівом можливі лише за умов систематичного моніторингу реологічних параметрів долинської нафти, сезонних змін умов навколишнього середовища, режимних параметрів роботи трубопроводу, а також за умови вдосконалення теоретичних та методологічних основ неізотермічного перекачування рідин з аномальними реологічними властивостями.

Наявні на сьогодні результати теоретичних та експериментальних досліджень з питань перекачування підігрітих високов'язких рідин не вирішують остаточно низку важливих завдань, пов'язаних з експлуатацією неізотермічних нафтопроводів. Залишаються актуальними і важливими для науки та практики питання дослідження реологічних параметрів високов'язких нафт вітчизняних родовищ, створення адекватних математичних моделей для опису термодинамічних та гідродинамічних процесів, що характеризують процес перекачування високов'язких рідин, особливо, у зоні низьких температур, та розробки конкретних рекомендацій для їх застосування на нафтопроводах України. Слід відмітити, що у найближчій перспективі необхідним є реалізація технології перекачування високов'язкої долинської нафти на новому нафтопроводі Долина-Надвірна, що ще більше підсилює актуальність тематики, яка є предметом дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-технічних програм з розвитку нафтогазового комплексу України та її результатів у держбюджетній науково-дослідній роботі, що виконується за планами Міністерства освіти і науки України "Підвищення якості освіти та науковий розвиток" та "Вдосконалення систем газо- та нафто-

НТБ
ІФНТУНГ



as294

-МБН

постачання” (2001-2003 рр), робота виконувалась у рамках державної науково-технічної програми „Новітні технології розвитку паливно-енергетичного комплексу”, розділ „Розробка технологій розвитку нафтогазового комплексу, в тому числі експортно-імпорتنих нафто – і газопроводів”. Окрім того, робота базується на результатах госпдоговірних тем №178/ 2002 "Визначення граничних параметрів нафти і розробка оптимальних режимів роботи нафтопроводу Долина-Дрогобич" та № 161/03 “Дослідження реологічних властивостей сумішей, утворених при змішуванні у різноманітних пропорціях долинської нафти та нафти сорту URALS”, у розробці яких автор приймав безпосередню участь.

Мета і задачі дослідження. Підвищення ефективності функціонування неізотермічних нафтопроводів шляхом розробки методів прогнозування теплогідравлічних параметрів їх роботи, які враховують реологічні особливості високов'язких нафт Прикарпаття.

Поставлена мета досягається шляхом реалізації таких задач:

1. Встановити експериментальним шляхом закономірності зміни реологічних властивостей високов'язкої долинської нафти у робочому діапазоні температур з метою виявлення її транспортабельних властивостей та одержати емпіричні моделі залежності реологічних параметрів нафти від температури.

2. Розробити адекватну математичну модель, яка описує закономірності теплових та гідродинамічних процесів неізотермічного перекачування по трубопроводу високов'язких нафт і враховує внутрішнє тепло тертя потоку, приховану теплоту кристалізації парафіну, зміну режимів руху і зон турбулентного тертя та неньютонівські реологічні характеристики нафти.

3. Створити на основі вдосконаленої математичної моделі методику і програмне забезпечення для виконання проектних та експлуатаційних теплогідравлічних розрахунків неізотермічних нафтопроводів при перекачуванні високов'язких нафт в інтервалі температур, що спричинюють ньютонівські властивості транспортованої нафти.

4. Врахувати специфіку реологічних характеристик долинської нафти при розробці методики і програмного забезпечення технологічних розрахунків нафтопроводів у разі перекачування високов'язкої нафти в інтервалі температур, що спричинюють її неньютонівські властивості.

5. Розробити методику теплогідравлічного розрахунку нафтопроводу при послідовному перекачуванні підігрітих нафт, що характеризуються як ньютонівськими, так і неньютонівськими реологічними властивостями.

6. Виконати апробацію розроблених методик і програмного забезпечення шляхом виконання теплогідравлічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу Долина-Дрогобич та порівняння одержаних результатів з фактичними режимами роботи нафтопроводу.

Об'єкт дослідження - неізотермічний нафтопровід Долина-Дрогобич і високов'язка нафта, яка ним транспортується.

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

Методи дослідження. Дослідження реологічних властивостей долинської нафти проведено експериментальним методом з використанням ротаційного віс-

козиметра "Реотест-2". При розробці математичної моделі та методик розрахунку неізотермічного нафтопроводу використовували методи диференціального та інтегрального числення, а також методи математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі у результаті виконання експериментальних та теоретичних досліджень вперше:

- встановлені експериментальним шляхом закономірності зміни реологічних характеристик високов'язких нафт Долинського родовища у широкому діапазоні температур. Доведено, що реологічна характеристика долинської нафти при температурах, нижчих за 50 °С, адекватно описується реологічною моделлю Шведова-Бінгама;
- розроблений аналітичний метод визначення за даними дослідів значень коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама у робочому діапазоні температур; одержані емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долинської нафти від температури;
- запропонована універсальна математична модель для коефіцієнта гідравлічного опору в неізотермічному нафтопроводі, яка забезпечує одержання адекватних результатів у всіх зонах тертя турбулентного режиму і дає змогу врахувати зміну коефіцієнтів режиму руху у кожному перерізі неізотермічного трубопроводу;
- встановлені закономірності неізотермічного усталеного руху рідини у трубопроводі з врахуванням таких чинників: внутрішнього тепла тертя потоку, прихованої теплоти кристалізації парафіну, зміни у кожному перерізі трубопроводу режиму руху та реологічних властивостей транспортованої нафти;
- досліджено шляхом математичного моделювання на комп'ютері вплив низки чинників на величину повного коефіцієнта теплопередачі від високов'язкої нафти в навколишнє середовище, запропоновані аналітичні залежності для розрахунку зазначеного коефіцієнта стосовно нафтопроводу Долина-Дрогобич;
- доведено, що при перекачуванні високов'язкої долинської нафти гідравлічна характеристика нафтопроводу має аномальний вигляд, суттєво відмінний від характеристики ізотермічного трубопроводу. Внаслідок цього сумішена характеристика нафтоперекачувальна станція (НПС) – нафтопровід може мати дві чи одну робочу точки або взагалі не мати робочої точки; режим перекачування, який відповідає зоні стійкої роботи, може бути забезпечений при повному завантаженні нафтопроводу.

Практичне значення отриманих результатів:

- на основі дослідних даних розраховані значення коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама для долинської нафти у робочому діапазоні температур; розроблені емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долинської нафти від температури;

- на базі удосконаленої математичної моделі створений пакет методик і програм для проведення теплогідралічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні рідин, які характеризуються ньютонівськими властивостями;
- на базі дослідних реологічних моделей долинської нафти розроблені універсальні методика та програмне забезпечення для проведення теплогідралічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні рідин, які у певному діапазоні температур характеризуються ньютонівськими властивостями, а в іншому діапазоні – неньютонівськими реологічними властивостями;
- запропонована методика визначення миттєвої пропускної здатності неізотермічного нафтопроводу при послідовному перекачуванні нафт, що характеризуються неньютонівськими реологічними властивостями;
- за результатами досліджень розроблені рекомендації щодо запобігання “заморожування” та підвищення ефективності функціонування нафтопроводу Долина-Дрогобич.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Ним виконані багатосерійні експериментальні дослідження реологічних характеристик долинської нафти, здійснена математична обробка дослідних даних, побудовані графічні залежності [3]. Досліджено математичними методами за допомогою комп'ютера вплив низки факторів на величину повного коефіцієнта теплопередачі від нафти в навколишнє середовище [1]. Запропонована удосконалена модель усталеного неізотермічного руху високов'язкої рідини у трубопроводі. На цій науковій базі розроблені методики і програмне забезпечення для проведення теплогідралічних розрахунків неізотермічних нафтопроводів при перекачуванні малов'язкої [2] і високов'язкої неньютонівської нафти [4]. Виконана апробація розробок шляхом виконання теплогідралічних розрахунків нафтопроводу Долина-Дрогобич і порівняння прогнозованих технологічних параметрів його роботи з фактичними параметрами роботи [2,4]. Створена методика теплогідралічного розрахунку нафтопроводу при послідовному перекачуванні неньютонівських рідин [5]. Висловлена ідея та підготовлена формула винаходу пристрою для утворення пристінного шару рідини низької в'язкості при транспортуванні високов'язкої нафти трубопроводом [6].

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2001-2004 роки). У повному об'ємі результати досліджень доповідалися 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 5 робіт у фахових журналах і одержаний один патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, 46 рисунків, 86 таблиць, списку використаних джерел, який містить 95 найменувань, та 4 додатків і викладена на 237 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 наведений аналіз результатів досліджень з питань перекачування високов'язких нафт з підігрівом і сформульовані задачі досліджень. Вагомий внесок в розвиток перекачування високов'язких нафт і нафтопродуктів з підігрівом внесли вчені московської наукової школи В.Г. Шухов, Л.С. Лейбензон, В.С. Яблонський, В.І. Чернікін, В.А. Юфін, М.В. Лур'є, В.І. Марон, Б.Л. Кривошеїн, В.М. Агапкін та інші. Впродовж багатьох десятиліть наукові дослідження з питань транспортування високов'язких рідин проводили представники уфимської наукової школи В.Ф. Новосолов, П.І. Тугунов, В.Є. Губін, Ю.В. Скрипніков, Л.С. Абрамзон, А.К. Галлямов та їх учні. В Україні теоретичними основами трубопровідного транспорту високов'язких нафт і нафтопродуктів займалися К.Д. Фролов, І.Х. Хізгілов, М.Д. Середюк, Й.В. Якимів, М.П. Возняк, С.С. Шнерх, І.М. Порайко, Н.В. Люта. Помітний внесок у теорію транспортування високов'язких рідин з підігрівом внесли вчені інших країн світу. Це зокрема С. Акагі, М. Трібус, Ф. Форхгеймер, В.Г. Котен, Ф. Джил.

Аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених показав, що актуальність проблеми підвищення ефективності транспортування високов'язких нафт з підігрівом по трубопроводах до сьогодення часу не вичерпана і залишає широке поле для наукової діяльності.

Існуючі методи теплогідрравлічних розрахунків багато у чому схожі і базуються на введенні низки припущень, що зменшує достовірність одержаних результатів. У більшості із них не враховується тепло тертя потоку і прихована теплота кристалізації парафіну. Наявні методики використовують для опису залежності в'язкості рідини від температури прості, але недостатньо точні у робочому діапазоні температур математичні моделі. Всі вони передбачають сталу величину коефіцієнтів режиму руху рідини в узагальненій моделі Лейбензона для коефіцієнта гідравлічного опору. З цієї причини наявні розрахункові формули можна застосовувати при ламінарному режимі роботи нафтопроводу або при турбулентному режимі у зоні адекватності формули Блазіуса.

Аналогічні недоліки властиві існуючим методикам теплогідрравлічного розрахунку нафтопроводів при перекачуванні ньютонівських рідин. Наявні розрахункові формули не є універсальними. Методики містять емпіричні коефіцієнти, одержані шляхом дослідного визначення реологічних характеристик нафт російських та середньоазійських родовищ, що звужує сферу практичного застосування розрахункових формул і не дає змоги виконувати розрахунки нафтопроводів при перекачуванні високов'язкої нафти Прикарпаття. Виходячи із сучасного стану проблеми, сформульовані мета і задачі дослідження.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню методики проведення та аналізу результатів експериментальних досліджень реологічних властивостей долинської

нафти. Дослідження реологічних властивостей долинської нафти має важливе значення для правильного вибору способу її транспортування та обґрунтування режимів роботи технологічного обладнання нафтопроводу. Долинська нафта відноситься до високов'язких і швидкозастигаючих нафт, що робить її небезпечною у процесі експлуатації нафтопроводу при низьких температурах навколишнього середовища. Тому знання структурно-механічних характеристик долинської нафти у конкретних температурних умовах перекачування має вирішальне значення для забезпечення нормальних режимів експлуатації єдиного в Україні неізотермічного нафтопроводу Долина-Дрогобич.

З метою виявлення реологічних властивостей долинської нафти нами були проведені багатосерійні експериментальні дослідження за допомогою приладу „Реотест-2”. Це структурний ротаційний віскозиметр німецького виробництва, який придатний як для визначення динамічної в'язкості ньютонівської рідини, так і для проведення глибоких реологічних досліджень неньютонівських рідин (рис.1).

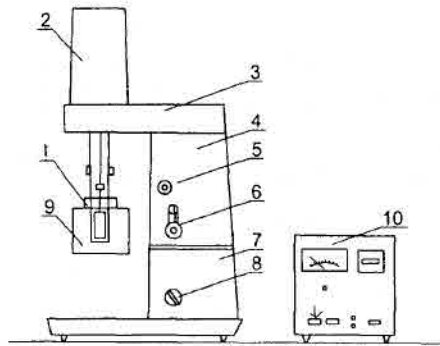


Рис. 1. Схема ротаційного віскозиметра „Реотест-2”:

1 – пристрій вимірювання; 2 – механізм вимірювального пристрою;
3 – передавальний міст; 4 – механізм приводу з коробкою передач; 5 – шкала поцілій; 6 – важіль керування передачами; 7 – ніжка; 8 – перемикач кількості обертів; 9 – посудина з термостатичною рідиною; 10 – вузол вимірювання

При проведенні дослідів для проб долинської нафти фіксувалися залежності між динамічним напруженням зсуву τ та градієнтом швидкості $\frac{du}{dr} = \gamma$ для різних значень градієнта швидкості від 0 до 1310 1/с у діапазоні температур від 65 до 5 °С. Всі залежності знімалися при збільшенні і зменшенні градієнта швидкості, тобто при прямому і зворотному ходах віскозиметра. Умови проведення дослідів були максимально наближені до виробничих умов. На рис.2 показаний приклад одержаної кривої течії долинської нафти для одного значення температури.

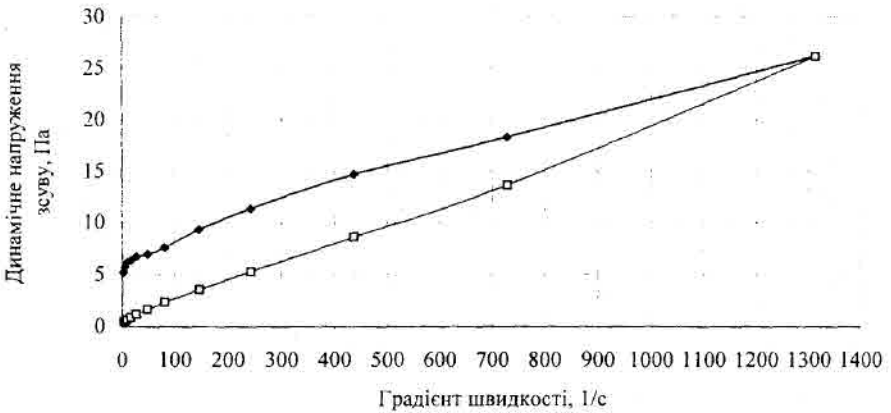


Рис. 2. Залежність динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості для долинської нафти при температурі 15°C (досліди 17 червня 2003р.)

—●— пряий хід —□— зворотний хід

Рис. 3. ілюструє динаміку зміни реологічних властивостей долинської нафти від температури для однієї із серій експериментів.

Аналіз реологічних кривих, одержаних під час всіх серій експериментів, дає змогу зробити висновок, що при температурах, нижчих за 50 °С, долинська нафта може бути віднесена до в'язкопластичних рідин, рух яких у трубопроводі в широкому діапазоні градієнтів швидкості адекватно описується рівнянням Шведова-Бінгама

$$\tau = \tau_o + \eta_{na} \frac{du}{dr} \quad (1)$$

При вищих температурах долинська нафта за реологічними властивостями близька до ньютонівської рідини.

При використанні реологічної моделі Шведова-Бінгама для розробки методик теплогідрравлічного розрахунку нафтопроводів необхідно мати числові значення коефіцієнтів, а саме - граничне динамічне напруження зсуву τ_o і пластичну в'язкість η_{na} . Для визначення коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама нами запропонований аналітичний метод моделювання реологічних кривих течії долинської нафти (рис.4) за допомогою комп'ютерних технологій, який на відміну від традиційного графічного методу є більш зручним і точним.

За результатами багатосерійних експериментальних досліджень, виконаних на ротатійному віскозиметрі "Реотест-2", визначені усереднені значення коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама для долинської нафти при прямому і зворотному ходах віскозиметра (для незруйнованої та зруйнованої структури нафти відповідно). Одержані результати наведені у табл.1.

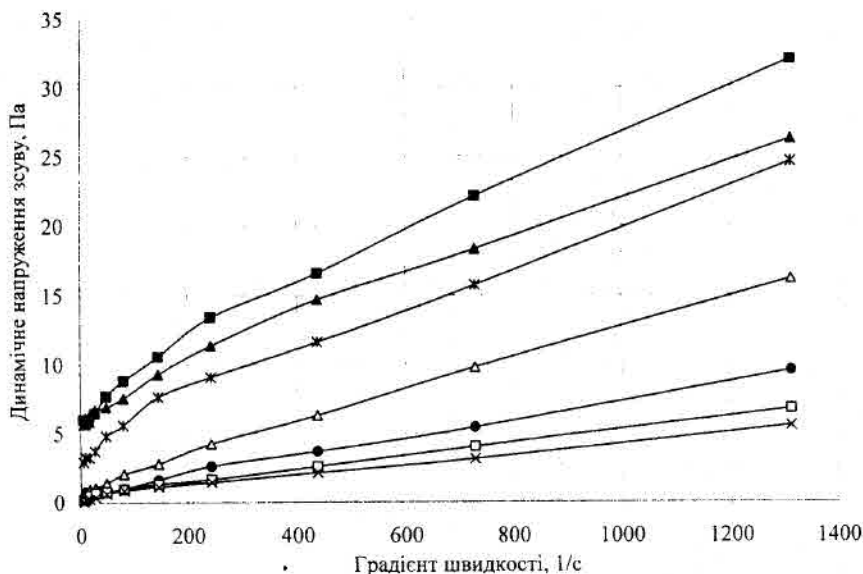


Рис. 3. Залежність динамічного напруження зсуву від градієнта швидкості для долинської нафти у діапазоні температур від 10 до 50 °C (при прямому ході віскозиметра)

- температура 10°C ▲ температура 15°C * температура 20°C
 △ температура 25°C ● температура 30°C □ температура 40°C
 × температура 50°C

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама для долинської нафти за результатами експериментальних досліджень

Температура нафти, °C	Прямий хід віскозиметра		Зворотний хід віскозиметра	
	граничне динамічне напруження зсуву, Па	пластична в'язкість нафти, Па·с	граничне динамічне напруження зсуву, Па	пластична в'язкість нафти, Па·с
5	9,46	0,0335	2,70	0,0418
10	8,44	0,0208	2,33	0,0253
15	6,91	0,0192	2,00	0,0197
20	4,68	0,0146	0,94	0,0167
25	1,33	0,0114	0,62	0,0118
30	0,72	0,0066	0,46	0,0068
40	0,54	0,0046	0,42	0,0047

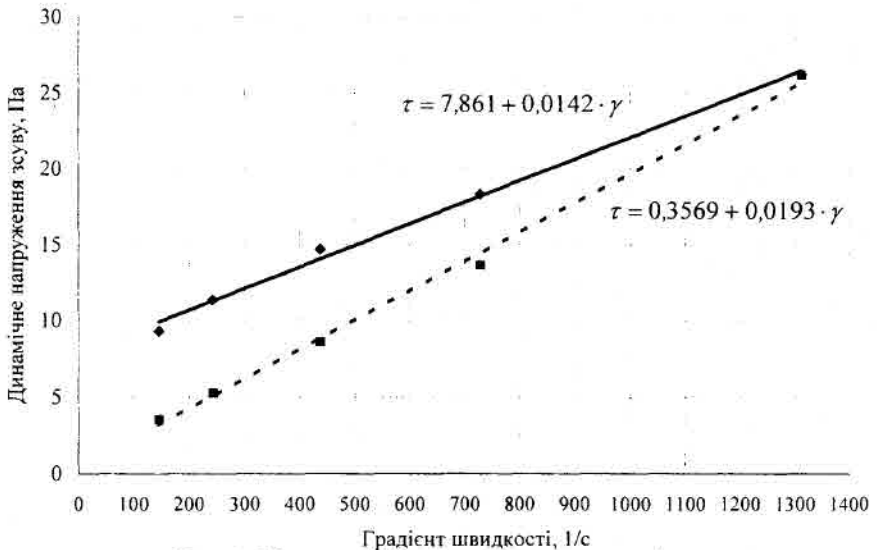


Рис. 4. Математичне моделювання реологічних характеристик долинської нафти при температурі 15 °С (досліди 17 червня 2003 р.)

◆ прямий хід

■ зворотний хід

— математична модель (прямий хід)

- - - математична модель (зворотний хід)

Для проведення технологічних розрахунків нафтопроводів, що перекачують високов'язкі нафти, необхідно мати аналітичні залежності коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама від температури.

В існуючих методиках теплогідрравлічного розрахунку неізотермічних нафтопроводів з метою спрощення вихідних рівнянь приймають, що для високов'язких нафт при зміні температури граничне динамічне напруження зсуву і пластична в'язкість змінюються за експоненціальною залежністю.

Як засвідчили експерименти, для долинської нафти експоненціальна залежність адекватно описує зміну пластичної в'язкості від температури лише при температурах, вищих за температуру початку кристалізації парафіну. При нижчих температурах за результатами математичної обробки даних експериментів нами одержані такі поліноміальні емпіричні моделі залежності пластичної в'язкості і граничного динамічного напруження зсуву долинської нафти від температури:

для пластичної в'язкості у діапазоні температур від 5 до 50 °С, (Па·с):

при прямому ході віскозиметра

$$\eta_{nl} = 0,0413 - 0,00207 \cdot t + 3,944 \cdot 10^{-5} t^2 - 2,60 \cdot 10^{-7} t^3, \quad (2)$$

при зворотному ході віскозиметра

$$\eta_{nl} = 0,0545 - 0,00327 \cdot t + 7,539 \cdot 10^{-5} t^2 - 6,05 \cdot 10^{-7} t^3; \quad (3)$$

для граничного динамічного напруження зсуву (Па):

при прямому ході віскозиметра:

у діапазоні температур від 5 до 25 °С

$$\tau_o = 10,34 - 0,1809 \cdot t + 0,002986 \cdot t^2 - 0,0004067 \cdot t^3; \quad (4)$$

у діапазоні температур від 25 до 50 °С

$$\tau_o = 20,06 - 1,534 \cdot t + 0,04012 \cdot t^2 - 0,003493 \cdot t^3; \quad (5)$$

при зворотному ході віскозиметра:

у діапазоні температур від 5 до 25 °С

$$\tau_o = 2,088 + 0,2183 \cdot t - 0,0228 \cdot t^2 + 0,0004667 \cdot t^3; \quad (6)$$

у діапазоні температур від 25 до 50 °С

$$\tau_o = 7,34 - 0,5791 \cdot t + 0,01618 \cdot t^2 - 0,0001507 \cdot t^3. \quad (7)$$

Математичні моделі (2)-(7) використані нами при розробці методики та програми теплогідравлічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу для перекачування неньютонівських рідин.

Експериментальні дослідження показали, що долиньська нафта залежно від температурних умов характеризується принципово різними реологічними властивостями. При температурах, вищих за 50°С, вона веде себе як ньютонівська рідина, а при нижчих температурах - як неньютонівська в'язкопластична рідина. Різні реологічні моделі транспортованої рідини вимагають різних методів теплогідравлічних розрахунків нафтопроводів, які розроблені нами у подальших розділах дисертації.

Третій розділ присвячений розробці математичної моделі усталеного режиму роботи неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні ньютонівських та неньютонівських рідин.

Для одержання моделі усталеного режиму роботи неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні ньютонівської рідини за початкову базу використасмо систему диференціальних рівнянь у вигляді, запропонованому М.В. Лур'є. Базова система рівнянь доповнена додатковими виразами, які враховують тепло тертя потоку і приховану теплоту кристалізації парафіну.

Основна складність гідравлічного розрахунку неізотермічного трубопроводу, так само як і традиційного ізотермічного, полягає у достовірному визначенні коефіцієнта гідравлічного опору, який у загальному випадку є функцією числа Рейнольдса і шорсткості внутрішньої поверхні труб. Традиційна методика розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору в магістральних нафтопроводах полягає у використанні різних математичних моделей залежно від того, в якій зоні турбулентного режиму відбувається процес перекачування нафти. Такий методологічний підхід має ряд недоліків, основним з яких є нестикування моделей на границях зон тертя. Це робить неможливим розробку обчислювальних алгоритмів і програм, в яких реалізується метод послідовних наближень.

Нами запропонована методика визначення коефіцієнта гідравлічного опору у неізотермічному нафтопроводі, яка не має зазначених вище недоліків.

Для коефіцієнта гідравлічної опору в неізотермічному нафтопроводі використасмо узагальнену математичну модель Лейбензона, в якій число Рейнольдса Re

і коефіцієнти режиму руху A та m на відміну від існуючих методик є величинами змінними для кожного перерізу трубопроводу x

$$\lambda = \frac{A(x)}{Re(x)^{m(x)}}. \quad (8)$$

Для визначення змінних для кожного перерізу трубопроводу значень коефіцієнтів математичної моделі Лейбензона $A(x)$ та $m(x)$ при числах Рейнольдса, які знаходяться за межею адекватності моделі Блазіуса, нами запропонований адаптивний метод, що базується на використанні універсальної формули Колбрука, яка у більшості країн світу успішно застосовується при гідравлічних розрахунках трубопроводів різного призначення.

Розроблена нами математична модель усталеного неізотермічного руху ньютонівської рідини у трубопроводі має такий вигляд

– рівняння руху потоку

$$A_{\text{зниц}} - B_{\text{зниц}} Q^2 = \int_0^L \frac{\beta(x) Q^{2-m(x)} \nu(x) dx}{D^{5-m(x)}} + (z_k - z_n) + \frac{P_k}{\rho g}, \quad (9)$$

– рівняння повної енергії потоку

$$\frac{K \pi D x}{Q \rho c} = \int_{t_0}^{t_n} \frac{dt}{t - t_0 - \varphi(t) \nu(t)^{m(t)}}. \quad (10)$$

де $A_{\text{зниц}}, B_{\text{зниц}}$ - коефіцієнти напірної характеристики головної нафтоперекачувальної станції; Q - витрата нафти; L - довжина нафтопроводу; ν - кінематична в'язкість нафти; D - внутрішній діаметр нафтопроводу; z_n, z_k - геодезичні позначки початку і кінця нафтопроводу; P_k - технологічно необхідний тиск у кінці нафтопроводу; ρ - густина нафти; g - прискорення сили тяжіння; K - повний коефіцієнт теплопередачі від нафти в навколишнє середовище; c - зведена теплосмність нафти з врахуванням прихованої теплоти кристалізації парафіну; t_n - початкова температура нафти; t_0 - температура ґрунту на глибині укладання трубопроводу; t - температура нафти на відстані x від початку трубопроводу.

Слід зазначити, що на відміну від існуючих методів розрахунку нафтопроводів, у рівняннях (9) і (10) коефіцієнти режиму руху рідини, кінематична в'язкість та розрахункові комплекси β, φ є складними функціями температури нафти, а отже і лінійної координати x . Для одержання взаємозв'язку між кінематичною в'язкістю і температурою рідини використовуємо не загальноновживану формулу Рейнольдса-Філонова, а значно точнішу формулу Фогеля-Фульчера-Таммана.

За аналогією з перекачуванням ньютонівської рідини коефіцієнт гідравлічного опору при перекачуванні неньютонівської рідини виражаємо узагальненою моделлю Лейбензона, у якій змінні по довжині трубопроводу коефіцієнти режиму руху залежать від параметра Хедстрема. Це дало змогу одержати універсальну математичну модель неізотермічного руху рідини у трубопроводі, яка залежно від особливостей реологічних властивостей рідини може описати теплогідравлічний режим нафтопроводу при перекачуванні як ньютонівських, так і неньютонівських рідин.

У загальному випадку процес неізотермічного перекачування характеризується зміною теплофізичних властивостей високов'язких нафт внаслідок пониження температури по довжині нафтопроводу. Для опису закономірностей зміни температури рідини по довжині неізотермічного нафтопроводу використаємо рівняння теплового балансу, яке враховує внутрішнє тепло тертя потоку і приховану теплоту кристалізації парафіну.

З метою дослідження впливу низки чинників на величину повного коефіцієнта теплопередачі проведені багатоваріантні розрахунки за розробленою нами програмою TERMO для умов перекачування підігрітої долиньської нафти по нафтопроводу Долина-Дрогобич. У результаті одержана залежність внутрішнього коефіцієнта тепловіддачі α_1 від нафти до стінки труби ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$) від середнього значення числа Рейнольдса Re_{cp} для діапазону режимів експлуатації нафтопроводу Долина-Дрогобич у вигляді:

$$\alpha_1 = 120,16 + 0,0117 Re_{cp} - 2 \cdot 10^{-7} Re_{cp}^2 + 1 \cdot 10^{-12} Re_{cp}^3. \quad (11)$$

Шляхом математичного моделювання, що реалізоване на комп'ютері, одержана також залежність повного коефіцієнта теплопередачі від нафти в навколишнє середовище ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$) від коефіцієнта теплопровідності ґрунту на глибині укладання нафтопроводу Долина-Дрогобич λ_{zp} ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$)

$$K = 0,1368 + 2,6155 \lambda_{zp}. \quad (12)$$

Одержані математичні моделі для повного коефіцієнта теплопередачі від нафти в навколишнє середовище використані нами при розробці методик теплогідрравлічного розрахунку нафтопроводу Долина-Дрогобич.

Четвертий розділ присвячений розробці методів теплогідрравлічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні російської нафти, що характеризується властивостями ньютонівської рідини. З метою раціонального вибору режимів роботи неізотермічного нафтопроводу, прогнозування параметрів його роботи при сезонних змінах характеристик навколишнього середовища нами розроблений пакет методик і програм для технологічних розрахунків нафтопроводу при неізотермічному перекачуванні ньютонівських рідин. Методики враховують вплив тепла тертя потоку, прихованої теплоти кристалізації парафіну і зміну режиму руху нафти у кожному перерізі трубопроводу.

Виконана апробація методик шляхом проведення теплогідрравлічних розрахунків нафтопроводу Долина-Дрогобич. Для виконання розрахунків використані одержані нами регресійна модель фактичної напірної характеристики НПС Долина (м):

$$H_{\text{сптс}} = 675 - 75533Q^2 \quad (13)$$

та залежність коефіцієнта теплопровідності ґрунту на глибині укладання нафтопроводу Долина-Дрогобич λ_{zp} ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$) від ступеня вологості ґрунту ω :

$$\lambda_{zp} = 0,302 + 0,0348\omega, \quad (14)$$

а також результати експериментальних досліджень залежності кінематичної в'язкості російської експортної суміші нафт від температури.

Аналіз фактичних режимів перекачування російської нафти по нафтопроводу Долина-Дрогобич за 2000-2004 роки засвідчив, що максимальне відхилення

розрахункових і фактичних технологічних параметрів роботи нафтопроводу за чотири роки експлуатації не перевищує $\pm 5\%$. Це доказує можливість практичного застосування розроблених методик і програмного забезпечення для проведення проектних та експлуатаційних розрахунків зазначеного нафтопроводу при перекачуванні нафт, що характеризуються ньютонівськими властивостями.

П'ятий розділ присвячений розробці методики теплогідрравлічного розрахунку нафтопроводу при перекачуванні неньютонівських рідин. Аналіз фактичних режимів роботи неізотермічного нафтопроводу Долин-Дрогобич свідчить про те, що для зимових умов перекачування внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем на значній частині трубопроводу температура нафти стає близькою до температури застигання або нижче від неї. За таких умов долиньська нафта, як показали наші дослідження, проявляє властивості в'язкопластичної рідини.

При перекачуванні підігрітих в'язкопластичних рідин у результаті зниження температури вздовж трубопроводу суттєво змінюються реологічні властивості нафти. У загальному випадку в неізотермічному нафтопроводі можуть мати місце такі режими руху: турбулентний режим руху ньютонівської рідини; турбулентний режим руху неньютонівської рідини та ламінарний (структурний) режим руху неньютонівської рідини.

На базі створених математичних моделей усталеного неізотермічного руху ньютонівської і в'язкопластичної рідини та емпіричних коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама для долиньської нафти нами розроблена універсальна методика теплогідрравлічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу, яка включає такі розрахункові блоки: визначення температури переходу від неньютонівського турбулентного руху до неньютонівського ламінарного руху; теплогідрравлічний розрахунок ділянки з турбулентним ньютонівським рухом; теплогідрравлічний розрахунок ділянки з турбулентним неньютонівським рухом та теплогідрравлічний розрахунок ділянки нафтопроводу з ламінарним неньютонівським рухом нафти. Методика реалізована у комп'ютерній програмі ANOM, яка дає змогу виконувати теплогідрравлічні розрахунки неізотермічного нафтопроводу з врахуванням тепла тертя потоку, прихованої теплоти кристалізації парафіну і реологічних особливостей транспортованої нафти.

Аналіз фактичних режимів роботи неізотермічного нафтопроводу Долина-Дрогобич свідчить, що циклічна технологія його експлуатації передбачає процес послідовного перекачування по трубопроводу підігрітих нафт, які суттєво різняться реологічними властивостями.

Нами запропонована методика теплогідрравлічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу при послідовному перекачуванні рідин з суттєвою різницею реологічних властивостей, яка базується на розроблених у попередніх розділах роботи математичних моделях руху ньютонівської та в'язкопластичної рідини. У результаті для кожного моменту положення зони контакту різносортих нафт можна одержати миттєві значення пропускної здатності та закономірності зміни температури і тиску нафти по довжині нафтопроводу.

З метою апробації розроблених методик за програмою ANOM виконані багатоваріантні теплогідрравлічні розрахунки режимів роботи нафтопроводу Долина-Дрогобич при перекачуванні долиньської нафти. Одержані результати характери-

зують суміщені гідравлічні характеристики нафтопроводу Долина-Дрогобич і НПС Долина, приклад яких наведений на рис.5.

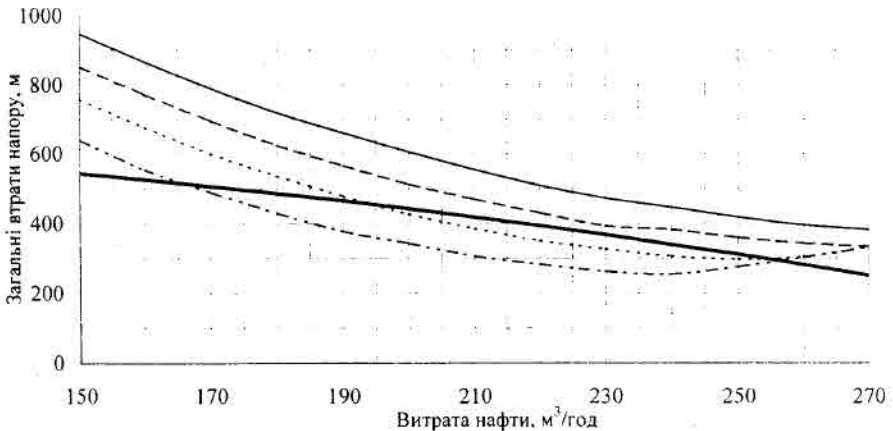


Рис.5. Суміщена характеристика нафтопроводу Долина-Дрогобич і НПС Долина для зимових умов і температури підігріву долинської нафти 65°C при різних коефіцієнтах теплопровідності ґрунту (незруйнована структура нафти):

— Напір НПС - - - - 1,2 Вт/(м град) ····· 1,3 Вт/(м град)
 - - - - 1,4 Вт/(м град) ——— 1,5 Вт/(м град)

Результати досліджень засвідчили, що лише за умови врахування реологічних особливостей долинської нафти стає можливим достовірне визначення робочих параметрів роботи нафтопроводу Долина-Дрогобич. При цьому прогнозовані режимні параметри роботи нафтопроводу достатньо співпадають (з похибкою до $\pm 8\%$) з його фактичними параметрами роботи.

Методики теплогідравлічних розрахунків неізотермічних нафтопроводів, які враховують специфіку реологічних властивостей нафт Прикарпаття, і відповідне програмне забезпечення впроваджені на об'єктах Дрогобицького нафтопроводного управління філії "Магістральні нафтопроводи "Дружба" ВАТ "Укртранснафта", що підтверджено актом. Аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень дав можливість виявити основні чинники, що впливають на теплогідравлічний режим перекачування високов'язкої долинської нафти, і запропонувати конкретні способи підвищення ефективності експлуатації нафтопроводу Долина-Дрогобич в ускладнених кліматичних умовах, а саме: підвищення температури підігріву долинської нафти на НПС Долина до 75°C , збільшення часу прогрівання трубопроводу підігрітою малов'язкою нафтою та підтримання максимально можливої витрати нафти в трубопроводі.

Нами запропонований пристрій для створення пристінного шару рідини низької в'язкості при транспортуванні високов'язкої нафти трубопроводом. Пристрій містить еластичний корпус, який складається з центральної циліндричної частини

і двох бокових частин півсферичної форми, сполучених з нею, та вузол для заправки розріджувачем, при цьому центральна циліндрична частина виконана проникною. Принцип дії пристрою полягає в тому, що за рахунок витікання розріджувача через проникну циліндричну поверхню пристрою створюється пристінний шар рідини, що має низьку в'язкість. Це дає змогу знизити енергетичні затрати на транспортування високов'язкої нафти і тим самим підвищити ефективність її транспортування. На пристрій одержаний патент України.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень використані нами для обґрунтування технології транспортування суміші долиньської і російських нафт по новому нафтопроводу Долина-Надвірна. Очікуваний економічний ефект від впровадження розробок згідно з актом становить 103 тис.грн/рік.

Методики теплогідрравлічних розрахунків неізотермічних нафтопроводів та програмне забезпечення впроваджені у навчальний процес в ІФНТУНГ і Дрогобицькому нафтовому технікумі при підготовці студентів спеціальності "Газонафтопроводи та газонафтосховища".

ВИСНОВКИ

На основі виконаних комплексних експериментальних і теоретичних досліджень закономірностей реологічних, термодинамічних та гідродинамічних процесів неізотермічного перекачування високов'язких рідин вирішено важливу науково-технічну задачу підвищення ефективності роботи та запобігання "заморожування" нафтопроводів шляхом розробки методів їх теплогідрравлічних розрахунків, які враховують реологічні особливості нафти Прикарпаття.

1. Експериментальним шляхом встановлено, що при температурах, вищих за 50 °С, долиньська нафта характеризується практичною відсутністю граничного динамічного напруження зсуву і лінійною залежністю динамічних напружень зсуву від градієнта швидкості, тобто проявляє властивості ньютонівської рідини. При температурах, нижчих за 50 °С, долиньська нафта може бути віднесена до в'язкопластичних рідин, рух яких у широкому діапазоні градієнтів швидкості з достатньою точністю описується рівнянням Шведова-Бінгама. Інтенсивний прояв аномальних реологічних властивостей долиньської нафти виявлений при температурах, нижчих за 25 °С.

2. Створення удосконаленої математичної моделі усталеного неізотермічного руху рідини у трубопроводі, що враховує вплив тепла тертя потоку, прихованого тепла кристалізації парафіну, зміну коефіцієнтів режиму руху нафти у кожному перерізі трубопроводу, а також реологічних характеристик нафти дало змогу виявити нові закономірності теплових і гідродинамічних процесів перекачування долиньської нафти і тим самим адекватно прогнозувати технологічні параметри роботи нафтопроводів.

3. Встановлення співвідношень між реологічними властивостями високов'язких нафт і закономірностями теплових і гідродинамічних процесів дали змогу розробити універсальну методику та програмне забезпечення для проведення теплогідрравлічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні як ньютонівських, так і неньютонівських рідин.

4. Встановлено, що при перекачуванні долинської нафти гідравлічна характеристика нафтопроводу має характерний перегин, який відділяє зони гідравлічно стійкої та нестійкої роботи. Небезпека переходу нафтопроводу у зону нестійкої роботи з подальшим “заморожуванням” перекачування зростає при зниженні температури підігріву нафти, зменшенні температури ґрунту і збільшенні вологості.

5. Запропонована методика теплогідравлічного розрахунку неізотермічного послідовного перекачування нафт із суттєвою різницею реологічних властивостей дає змогу для кожного моменту часу заміщення високов'язкої нафти малов'язкою достовірно прогнозувати миттєву пропускну здатність нафтопроводу та закономірності зміни температури і тиску нафти по його довжині.

6. Апробація розробок для умов перекачування долинської нафти по нафтопроводу Долина-Дрогобич показала, що у зимовий період при температурі підігріву нафти 65 °С небезпека “заморожування” перекачування прогнозується при значенні коефіцієнта теплопровідності ґрунту 1,3 Вт/(м·°С) у разі незруйнованої структури нафти і при значенні 1,5 Вт/(м·°С) у разі часткового руйнування структури долинської нафти.

Ефективним шляхом підвищення ефективності роботи нафтопроводу і запобігання його “заморожування” є зменшення ступеня аномальності реологічних властивостей долинської нафти. Цього можна досягти підвищенням температури підігріву долинської нафти у холодний період року до 75 °С, збільшенням часу прогрівання трубопроводу малов'язкою нафтою до 24 год і підвищенням ступеня турбулізації потоку при збільшенні витрати нафти в нафтопроводі до 250 м³/год.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано у таких працях

1. Болонний В.Т. Розрахунок повного коефіцієнта теплопередачі від нафти в навколишнє середовище для неізотермічного нафтопроводу // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2004. - № 1(10). – С. 78-83.
2. Середюк М.Д., Болонний В.Т. Дослідження особливостей гідравлічної характеристики неізотермічного нафтопроводу // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2003. - № 1(6). – С. 96-100. (Особистий внесок автора 50 %).
3. Болонний В.Т., Середюк М.Д. Дослідження реологічних властивостей нафти долинського родовища // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2004. - № 4 (10). – С. 34-40. (Особистий внесок автора 80 %).
4. Середюк М.Д., Болонний В.Т. Методика теплогідравлічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу з врахуванням неньютонівських властивостей нафти // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2003. - № 2(7). – С. 59-64. (Особистий внесок автора 50 %).
5. Болонний В.Т., Середюк М.Д. Методика теплогідравлічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу при послідовному перекачуванні неньютонівських рідин // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2005.-№1(11).-С.90-92. (Особистий внесок автора 80 %).
6. Пристрій для утворення пристінного шару рідини низької в'язкості при транспортуванні нафти трубопроводом: Патент 75265 Україна, МПК В08В 9/04, F17D 1/08 /М.Д. Середюк, Я.Д. Климишин, В.Т. Болонний - № 20040706119. Заявлено 22.07.2004. Опубл. 5.03.2006. Бюл. № 3. (Особистий внесок автора 30 %).

АНОТАЦІЯ

Болонний В.Т. Підвищення ефективності функціонування нафтопроводів шляхом урахування реологічних особливостей нафт Прикарпаття. – Рукопис.

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, 2006.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності функціонування нафтопроводів шляхом розробки методів прогнозування теплогідралічних параметрів їх роботи, які враховують реологічні особливості високов'язких нафт Прикарпаття. Виконані багатосерійні експериментальні дослідження реологічних характеристик високов'язкої швидкозастигаючої нафти Долинського родовища у широкому діапазоні температур. Обґрунтований вибір реологічної моделі долинської нафти у різних діапазонах температур. Розроблені емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості від температури. Розроблена універсальна математична модель для коефіцієнта гідравлічного опору в неізотермічному нафтопроводі, яка забезпечує одержання адекватних результатів у всіх зонах тертя турбулентного режиму і дає змогу врахувати зміну коефіцієнтів режиму руху рідини у кожному перерізі трубопроводу. Запропонована математична модель усталеного неізотермічного руху рідини у трубопроводі, яка враховує вплив тепла тертя потоку, прихованої теплоти кристалізації парафіну, зміну коефіцієнтів режиму руху рідини і реологічні властивості нафти.

Створено пакет методик і програмного забезпечення для проведення теплогідралічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні рідин, які характеризуються ньютонівськими і неньютонівськими властивостями. Запропоновано методику теплогідралічного розрахунку неізотермічного нафтопроводу при послідовному перекачуванні нафт із суттєвою різницею реологічних властивостей. Виконана апробація розробок шляхом виконання технологічних розрахунків і порівняння їх результатів з фактичними режимами роботи нафтопроводу Долина-Дрогобич.

Ключові слова: нафтопровід, нафта, ньютонівська рідина, неньютонівська рідина, теплогідралічний розрахунок, пропускна здатність.



АНОТАЦІЯ

Повышение эффективности функционирования нефтепроводов посредством учета реологических особенностей нефтей Прикарпатья. 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, 2006.

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

В первом разделе приведен анализ существующих работ по вопросам перекачивания высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом, выявлены нерешенные вопросы и сформулированы задачи исследований. Показано, что актуальность проблемы повышения эффективности транспортирования высоковязких нефтей с подогревом по трубопроводам не исчерпана и предоставляет широкие возможности для научной деятельности.

Второй раздел содержит методику проведения и анализ результатов экспериментальных исследований реологических свойств высоковязкой высокозастывающей долинской нефти. Исследования проводились на структурном ротационном вискозиметре «Реотест-2». На основании опытов построены графические зависимости динамического напряжения сдвига от градиента скорости для значений градиентов от 0 до 1312 1/с в диапазоне температур от 65 до 5 °С. Доказано, что долинская нефть при температурах, ниже 50 °С, проявляет свойства вязкопластичной жидкости и ее движение может быть описано уравнением Шведова-Бингама. На основании экспериментов определены значения коэффициентов реологической модели – граничное динамическое напряжение сдвига и пластическая вязкость нефти. Получены полиномиальные зависимости этих коэффициентов от температуры.

Третий раздел посвящен созданию математической модели установившегося теплогидравлического режима работы неизотермического нефтепровода при перекачивании ньютоновских и неньютоновских жидкостей. В качестве исходных выражений использована система дифференциальных уравнений в виде, предложенным М.В. Лурье. Система дополнена слагаемыми, учитывающими тепло трения потока и скрытую теплоту кристаллизации парафина. Для коэффициента гидравлического сопротивления предложена универсальная модель Лейбензона, в которой число Рейнольдса и коэффициенты режима в отличие от существующих методик являются переменными для каждого сечения трубопровода. Для определения переменных коэффициентов режима предложен адаптивный метод, основанный на использовании формулы Колбрука.

Четвертый раздел посвящен разработке методов и компьютерных программ для теплогидравлических расчетов неизотермических нефтепроводов при перекачивании ньютоновских жидкостей.

Пятый раздел содержит результаты разработки методов и компьютерных программ для теплогидравлических расчетов неизотермических нефтепроводов при перекачивании неньютоновских жидкостей. Предложена также методика теплогидравлического расчета нефтепровода при последовательной перекачке жидкостей, существенно отличающихся реологическими свойствами. Апробация методик произведена путем выполнения технологических расчетов и сравнения полученных результатов с фактическими параметрами работы нефтепровода Долина-Дрогобыч. Максимальное отклонение результатов не превышает $\pm 8\%$.

Ключевые слова: нефтепровод, нефть, ньютоновская жидкость, неньютоновская жидкость, реология, теплогидравлический расчет, пропускная способность.

ABSTRACT

Bolonnay V.T. Increase of Oil Pipeline Operation by Taking into Account the Rheological Peculiarities of oils found in the Precarpathia – Manuscript.

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, 2005.

The thesis is devoted to the increase of oil pipeline effective operation by the development of methods to forecast thermo-hydraulic parameters of the pipelines' work taking into account the rheological peculiarities of high-viscosity oils in the Precarpathia. Serial experimental research of rheological characteristics of highly solidifying oil from Dolyna deposit has been conducted in a wide temperature span. It has been acknowledged the selection of rheological model of Dolyna oil in different temperature spans. An analytical method has been applied to determine, according to the research data, the coefficient values of the rheological model of Shwedow-Bingham. The empirical models of the dependence of boundary dynamic stress fault and rigidity on temperature have been offered as well. Besides, there has been developed a universal mathematical model for the hydraulic resistance coefficient in the anisothermic pipeline with the help of which we can receive appropriate results in all friction zones of turbulent condition and get the possibility to calculate the change of liquid flow regime coefficients in every pipeline cross-section. Moreover, the author offers a mathematical model of the fixed anisothermic liquid flow in a pipeline, which includes the influence of friction heat flow, hidden heat of paraffin crystallization, coefficients change of the liquid flow regime and oil rheological peculiarities.

To make thermo-hydraulic calculations of anisothermic pipeline during the process of oil pumping there have been created a pack of methods and software which can be characterized by the Newtonian and non-Newtonian properties. It has been offered the method of thermo-hydraulic calculation of anisothermic pipeline during batching of oils with the essential difference of rheological properties. The developments have been approved by technological calculations and comparison of their results with the real operation regimes of Dolyna-Drohobych pipeline.

Key-words: oil pipeline, oil, Newtonian liquid, non-Newtonian liquid, rheology, thermo-hydraulic calculations, rate of flow.