

622.692.4
Л 96

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ЛЮТА НАТАЛІЯ ВІКТОРІВНА

УДК 622.692.4.052

МЕТОДИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ НАФТОПРОВІДІВ ПРИ
ПОСЛІДОВНОМУ ПЕРЕКАЧУВАННІ РІЗНОСОРТНИХ НАФТ

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ - 2003

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, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Грудз Володимир Ярославович,

Івано-Франківській національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри спорудження і ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ, м.Івано-Франківськ;

кандидат технічних наук,

Венгерцев Юрій Олександрович,

Міжнародний науково-технічний університет,

доцент кафедри комп'ютерних технологій і нафтової інженерії, м. Київ

Провідна організація: ІВП ВНПІТРАНСГАЗ, м. Київ

Захист в
вченої ради
університеті в
Карпатська, 15

З дисерт
Франківського
76019, Україна

Автореф
Вчений
вченої р
кандида

іалізованої
технічному
івськ, вул.

ді Івано-
ресую:

нута О.В.



an754

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми Очікуваний ріст об'ємів споживання країнами Західної і Центральної Європи природних вуглеводнів і розміщення їх запасів переважно в азійській частині Росії та країнах Каспійського регіону робить Україну з точки зору вигідного географічного розташування і наявності розвинутої мережі нафтопроводів своєрідним “енергетичним мостом” між країнами – експортерами і країнами-споживачами нафти і газу.

Україна має розвинуту нафтопровідну систему, яка забезпечує постачання нафти з Росії і Казахстану до нафтопереробних заводів України і перекачування її на експорт в Центральну Європу та інші країни. На протязі останніх п'яти років щорічні об'єми транспортування нафти через систему нафтопроводів збираються на рівні 50 – 65 млн. тон. Таким чином, Україна є сьогодні важливим нафтотранспортним вузлом в Європі.

Одним з найбільш ефективних проектів транспортування каспійської нафти в європейські країни є проект створення Євро-Азійського нафтотранспортного коридору, що проходить територією України. В минулому році в Україні прийнято в експлуатацію першу чергу нафтотерміналу на Чорному морі і з'єднувального нафтопроводу Одеса – Броди пропускною здатністю 9 млн. тон за рік як складової частини Євро-Азійського нафтотранспортного коридору. Після завершення всього комплексу робіт цим маршрутом можна транспортувати 40 млн. тон нафти за рік з країн Каспійського регіону, з них 30 млн. тон - транзитом у країни центральної і північно-східної Європи.

Конкурентоздатність системи Одеса – Броди базується, перш за все, на забезпеченні збереження якості каспійської нафти на шляху до споживачів – нафтопереробних заводів країн Європи, а також на досить привабливих економічних показниках, в першу чергу, зменшенні загального тарифу на транспортування. Вагомим позитивним фактором на користь українського проекту Євро-Азійського нафтотранспортного коридору є ступінь його готовності. Цей проект не є альтернативою проекту Баку – Джейхан, оскільки через Україну нафта буде транспортуватися в країни Східної і Західної Європи.

Введення в експлуатацію нафтопровідної ділянки Броди – Плоцьк забезпечить технічну можливість для транспортування нафти з каспійського регіону і Казахстану до споживачів Польщі, Німеччини та інших країн Європи.

Реалізація такого проекту в повному обсязі могла б значно підвищити енергетичну безпеку не тільки України, але і Європи загалом.

Іншим перспективним проектом транспортування нафти на європейській і світовий ринки є проект інтеграції нафтопроводів “Дружба” і “Адрія”. Ці трубопроводи проходять територіями Росії, Білорусі, України, Угорщини і Хорватії в напрямку глибоководного порту Омішаль, розташованого на березі Адріатичного моря.

an 453 - an 454

Таким чином, є вагомі підстави прогнозувати збільшення в найближчі десятиліття обсягів транспортування російської та каспійської нафти через територію України. Для цього уже сьогодні необхідно розробляти як нові напрямки і маршрути, так і нові технології транспортування, до яких належить технологія послідовного перекачування по трубопроводу нафт різних сортів. Україна зобов'язана використати своє геополітичне розташування і наявність розвинутої системи нафтопроводів в перспективному розвитку Євразійського регіону. Однією з важливих передумов цього є підвищення ефективності функціонування магістрального нафтопровідного транспорту шляхом:

- диверсифікації джерел надходження нафти;
- інтеграції в систему міжнародної нафтотранспортної мережі;
- розробки концепції створення нових магістральних нафтокоридорів;
- інноваційного оновлення технологій транспортування нафти.

Важливою умовою ефективного функціонування нафтокоридорів є необхідність транспортування у певному напрямі нафт різних сортів, обумовлена диверсифікацією джерел їх надходження та різними адресами кінцевих пунктів, інтегрованих єдиною міжнародною мережею. З вирішенням зазначеного питання безпосередньо пов'язана проблема збереження якості транспортованого продукту.

Як вказувалось на міжнародній науково-технічній конференції «Вопросы транспортировки газа и нефти в СНГ» (Москва, 2003 г.), проблема збереження якості транспортованої нафти на сьогодні набуває надзвичайно важливого значення. На порядку денному стоїть питання створення банку якості для трубопровідних систем країн СНД, в тому числі для України. Мета банку якості - компенсація компаніям збитків, спричинених погіршенням якості нафти в процесі її перекачування трубопроводами. Зазначені банки якості нафти уже функціонують в США, на трубопровідних системах Північного моря, на латиноамериканських нафтопроводах.

Реалізація прогресивної технології послідовного перекачування нафт різних сортів на нафтопроводах України дасть можливість підвищити ефективність використання окремих трубопроводів та їх мереж, зменшить собівартість транспортування нафти з відповідним потенціалом нарощування валютних надходжень від обслуговування міжнародних поставок, дозволить ефективно вирішити питання збереження якості кожного сорту нафти.

Слід зазначити, що експлуатація транзитних нафтопровідних систем, для яких характерні різкі зміни в режимах роботи технологічного обладнання залежно від фізико-хімічних характеристик транспортованих нафт, напрямків їх транспортування, дотримання передбачених контрактами вимог адресних поставок нафти кожного сорту, вимагає додаткових наукових досліджень, бо за-

значені особливості не властиві мононафтовим трубопровідним системам (одне родовище, один напрямок транспортування).

Переважна більшість робіт з питань послідовного перекачування присвячена дослідженням особливостей масообмінних та гідродинамічних процесів при послідовному перекачуванні по трубопроводу світлих нафтопродуктів. Специфіка процесу послідовного перекачування різносортних нафт, яка полягає у суттєвій відмінності фізичних властивостей нафти (густина, в'язкість, плавність парафіну, сірки тощо), в особливостях характеристик трубопроводів (діаметри, профіль траси, кількість насосних станцій, типи насосних агрегатів), у відмінності умов надходження кожного сорту нафти на початок трубопроводу, в особливостях умов реалізації нафти в кінці трубопроводу, досліджена ще недостатньо. Це зумовило вибір теми дисертаційної роботи, визначило предмет і об'єкт, мету, завдання і структуру дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-технічних програм з розвитку нафтогазового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт, що входили в координаційні плани Міністерства освіти і науки України: „Наукові основи розробки нових технологій транспортування, зберігання та розподілу нафти і газу з метою ресурсоенергозбереження“, номер державної реєстрації 0198U005836, робота виконувалась відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки „Екологічно чиста енергетика та ресурсоенергозберігаючі технології“ (1998-2000 рр) і “Підвищення ефективності функціонування систем газо- та нафтопостачання” (2001-2003 рр), робота виконувалась в рамках державної науково-технічної програми „Новітні технології розвитку паливно-енергетичного комплексу“, розділ „Розробка технологій розвитку нафтогазового комплексу, в тому числі експортно-імпорتنних нафто – і газопроводів.“ Дана тематика входить в Національну програму „Нафта і газ України до 2010 року”.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка нових і удосконалення існуючих методів технологічних розрахунків трубопроводів при послідовному перекачуванні нафт різних сортів і розробка рекомендацій щодо використання даної технології на нафтопроводах України.

Відповідно до мети були визначені наступні задачі досліджень:

- дослідити закономірності сумішоутворення різносортних нафт при їх послідовному перекачуванні по трубопроводу, одержати аналітичні вирази для ефективного коефіцієнта дифузії і довести їх адекватність шляхом співставлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень;

- дослідити вплив інтенсивності сумішоутворення різносортних нафт на комплекс технологічних параметрів їх послідовного перекачування по магістральних нафтопроводах з пересіченим рельєфом і довільною геометричною структурою;
- обґрунтувати вибір математичних моделей для визначення коефіцієнта гідравлічного опору, розрахункових значень фізичних властивостей різносортних нафт при їх послідовному перекачуванні по нафтопроводах;
- дослідити динаміку зміни витрати і тиску в нафтопроводі у рамках стаціонарної моделі гідродинаміки послідовного перекачування нафт різних сортів;
- дослідити динаміку зміни витрати і тиску в нафтопроводі у рамках нестационарної моделі гідродинаміки послідовного перекачування нафт різних сортів;
- оцінити вплив нестационарності на основні режимні параметри процесу послідовного перекачування нафт і обґрунтувати сферу застосування розроблених методів технологічних розрахунків нафтопроводів.

Об'єктом дослідження є магістральні нафтопроводи, на яких реалізується технологія послідовного перекачування нафт різних сортів.

Предметом дослідження є дифузійні та гідродинамічні процеси в нафтопроводах при послідовному перекачуванні різносортних нафт.

Теоретичною основою досліджень виступають напрацювання вчених московської, уфимської та івано-франківської наукових шкіл, що займалися процесом послідовного перекачування різносортних рідин. В роботі використані реальні дані з режимів роботи нафтопроводу Глинсько-Розбишевська – Кременчук, на якому реалізується технологія послідовного перекачування нафт східноукраїнських родовищ.

Методи дослідження. В роботі знайшли застосування методи математичного аналізу, математичного моделювання та інтерпретації, а також загальновідомі методи планування та проведення експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі на основі аналізу та систематизації результатів теоретичних та експериментальних досліджень з питань послідовного перекачування різносортних нафт у трубопроводах отримано ряд нових наукових результатів, які виносяться на захист:

- встановлений вплив структури турбулентного потоку на інтенсивність масообмінних процесів в нафтопроводі і одержані аналітичні залежності для ефективного коефіцієнта дифузії з врахуванням специфіки послідовного перекачування нафт різних сортів;
- встановлений вплив показників взаємного перемішування різносортних нафт на технологічні параметри їх послідовного перекачування по

магістральному нафтопроводу: об'єм суміші на напірних і самопливних ділянках, технологію її розкладання в кінці нафтопроводу, кількість циклів перекачування, необхідну резервуарну ємність, оптимальний об'єм рідинного роздільника тощо;

- розроблено математичну модель для визначення коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу, яка має широку сферу застосування і дозволяє уникнути нестикування результатів на границях зон гідравлічного тертя турбулентного режиму;
- розроблено та реалізовано в програмному забезпеченні стаціонарну модель гідродинамічних процесів у рельєфному нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів та дано рекомендації щодо її використання;
- розроблено та реалізовано в програмному забезпеченні нестационарну модель гідродинамічних процесів у рельєфному нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів та дано рекомендації щодо її використання.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення проведених досліджень полягає в розробці пакету методик і програмного забезпечення, які дають змогу виконувати проєктні та експлуатаційні технологічні розрахунки, пов'язані з реалізацією технології послідовного перекачування нафт різних сортів на магістральних нафтопроводах. Розроблені конкретні рекомендації з впровадження технології послідовного перекачування трьох сортів нафт східних родовищ України на нафтопроводах Сумського нафтопровідного управління. Очікуваний економічний ефект від реалізації запропонованих рекомендацій відповідно до акту впровадження становить 440 тис. грн./рік. Окремі положення дисертаційної роботи ввійшли у „Методику нормування питомих витрат електроенергії на транспортування нафти магістральними нафтопроводами”, яка затверджена як стандарт підприємства “Придніпровські магістральні нафтопроводи” (СТП 320.00148429.003-2002).

Методики і програмне забезпечення, розроблені в даній роботі, використовуються у навчальному процесі при вивченні дисциплін “Трубопровідний транспорт нафти”, “Проектування і експлуатація нафтопроводів”, а також в курсовому і дипломному проектуванні студентів спеціальності „Газонафтопроводи та газонафтосховища”.

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації виконана така робота:

1. Одержано аналітичні моделі ефективного коефіцієнта дифузії для зони гідравлічно гладких труб і зони змішаного тертя турбулентного режиму [1,2].

2. Розроблено математичну модель коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу, яка має широку сферу застосування і дозволяє уникнути нестикування результатів на границях зон гідравлічного тертя [3,5,10].

3. Розроблено та реалізовано в програмному забезпеченні стаціонарну модель гідродинамічних процесів у рельєфному нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів [4,8,9].

4. Розроблено та реалізовано в програмному забезпеченні нестационарну модель гідродинамічних процесів у рельєфному нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів [6].

5. Досліджено вплив нестационарності на основні технологічні параметри послідовного перекачування нафт різних сортів [7].

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались на 5-й Міжнародній конференції “Нафта-Газ України-98” (Полтава, 1998 р.), Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційна діяльність в системі державного регулювання” (Івано-Франківськ, 1999 р.), 6-й Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України – 2000” (Івано-Франківськ, 2000 р.), на наукових семінарах кафедри транспорту і зберігання нафти і газу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

В 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. По темі дисертації опубліковано 10 наукових праць, 6 з яких у фахових наукових виданнях.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, включаючи 19 таблиць і 34 рисунки, висновків, 9 додатків. Перелік використаних джерел містить 103 позиції. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 166 сторінках машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

В першому розділі приведений аналіз результатів досліджень з питань послідовного перекачування різносортих рідин у трубопроводі і сформульовані задачі досліджень.

Теоретичними і практичними аспектами послідовного перекачування світлих нафтопродуктів займалися десятки вчених. Помітний внесок у теорію сумішоутворення рідин при послідовному перекачуванні внесли вчені далекого зарубіжжя Д. Тейлор, Ф. Фоулер, Г. Броун, Ф. С'єнітцер, Р. Аріс, Х. Балей, В.

Хогарті, Л. Тіхасек. Слід відмітити значний науковий доробок засновників московської наукової школи В.С. Яблонського, В.І. Чернікіна, В.О. Юфіна, М.В. Лур'с, В.І. Марона і багатьох їх учнів, представників уфимської наукової школи М.В. Нечвала, А.Ш. Асатуряна, В.Ф. Новосолова, П.І. Тугунова, А.К. Галлямова, О.І. Гольянова, Г.З. Закірова, А.М. Шамазова та ін. В Україні питаннями послідовного перекачування нафтопродуктів займались К.Д. Фролов, І.Х. Хізгілов, М.Д. Середюк, С.С. Шнерх, Й.В. Якимів.

Аналіз досліджень з питань послідовного перекачування різносортих рідин дає підстави вважати, що одномірна модель поздовжньої турбулентної дифузії і похідні від неї формули можуть бути використані як при послідовному перекачуванні світлих нафтопродуктів, так і при послідовному перекачуванні нафт різних сортів. При цьому у всі розрахункові формули слід підставляти ефективний коефіцієнт дифузії, який враховує специфічність умов взаємного змішування нафт з суттєвою різницею фізико-хімічних властивостей.

Більшість широко вживаних математичних моделей для ефективного коефіцієнта дифузії одержані дослідним шляхом за умов послідовного перекачування світлих нафтопродуктів. Тому їх використання при послідовному перекачуванні нафт різних сортів не гарантує одержання достовірних результатів. Це свідчить про необхідність проведення додаткових досліджень, в першу чергу, аналітичних, які дозволять врахувати вплив структури турбулентного потоку на інтенсивність масообмінних процесів у зоні контакту різносортих нафт і запропонувати аналітичні залежності для ефективного коефіцієнта дифузії.

Питання впливу неізотермічності на параметри послідовного перекачування вирішені стосовно трубопровідного транспорту нафтопродуктів. Оцінка впливу неізотермічності, в тому числі, тепла тертя потоку і теплоти кристалізації парафіну на послідовне перекачування нафт різних сортів вимагає додаткових досліджень.

При реалізації технології послідовного перекачування нафт різних сортів вимагають конкретизації методи визначення кількості циклів і необхідної резервуарної ємності на початку і в кінці трубопроводу, методи врахування складної структури нафтопроводу і наявності ділянок з самопливним рухом нафти.

Технологія використання рідинних роздільників, яка розроблена для послідовного перекачування світлих нафтопродуктів, може бути успішно використана при послідовному перекачуванні нафт різних сортів. Для цього необхідно розробити методику оптимізації об'єму рідинного роздільника і технології приймання трикомпонентної суміші у кінці нафтопроводу.

Гідравлічні аспекти послідовного перекачування як різносортих нафтопродуктів, так і нафт різних сортів, вирішені недостатньо. Існуючі на сьогодні методи розрахунку гідравлічних параметрів послідовного перекачування наф-

топродуктів базуються на низці припущень, що не відповідають режимам роботи діючих магістральних нафтопроводів. Стосовно магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси дослідження особливостей гідравлічного режиму їх роботи у процесі послідовного перекачування нафт різних сортів взагалі не проводилися.

Другий розділ присвячений розробці методів розрахунку параметрів послідовного перекачування, залежних від інтенсивності сумішоутворення різносортих нафт у магістральному нафтопроводі.

Метод послідовного перекачування, характеризується комплексом специфічних технологічних параметрів. Більшість із них безпосередньо пов'язані з утворенням суміші у зоні контакту різносортих рідин. До параметрів послідовного перекачування, які безпосередньо визначаються інтенсивністю сумішоутворення різносортих рідин, належать об'єм суміші, кількість циклів послідовного перекачування, мінімальні об'єми партій транспортваних нафт, необхідний об'єм резервуарної ємності на початку і в кінці нафтопроводу тощо.

Необхідною умовою для розрахунку зазначених параметрів є отримання аналітичних моделей ефективного коефіцієнта дифузії D_e , які враховують специфіку фізичних властивостей нафти, геометричних характеристик магістральних нафтопроводів і характеристик турбулентного потоку при реалізації послідовного перекачування різносортих нафт.

Як вихідне рівняння для одержання аналітичних моделей ефективного коефіцієнта дифузії використано формальний вираз, запропонований В.І. Мароном, який визначає, що ефективний коефіцієнт дифузії є складною інтегральною функцією, яка залежить від профілю поздовжньої швидкості турбулентного потоку і коефіцієнта турбулентної дифузії.

Для одержання розрахункових моделей ефективного коефіцієнта дифузії для зони гідравлічно гладких труб і зони змішаного тертя у зазначений вище вираз було підставлено відповідні математичні моделі профілів швидкості і коефіцієнта турбулентної дифузії згідно з рекомендаціями Альтшуля та гіпотезою Бусинеска. Після чисельного інтегрування і математичних перетворень вираз для ефективного коефіцієнта дифузії можна записати в узагальненій формі як для зони гідравлічно гладких труб, так і для зони змішаного закону тертя турбулентного режиму

$$D_e = \varepsilon_0 + \frac{2}{R^2} I_2, \quad (1)$$

де: ε_0 - усереднене по перерізу труби значення коефіцієнта турбулентної дифузії; R - внутрішній радіус трубопроводу; I_2 - зовнішній інтеграл у розрахунковому виразі.

Для практичних обчислень ефективного коефіцієнта дифузії при послідовному перекачуванні різносортих нафт одержано такі розрахункові формули:

- для зони гідравлічно гладких труб

$$D_e = 1092 \left(\frac{4Q}{\pi \cdot d} \right)^{1-0,75} \nu^{0,75}, \quad (2)$$

- для зони змішаного тертя

$$D_e = 1,29 \left(\frac{4Q}{\pi \cdot d} \right)^{1-0,112} \nu^{0,112}, \quad (3)$$

де: Q - витрати нафти в нафтопроводі; d - внутрішній діаметр трубопроводу;
 ν - розрахункова в'язкість 50 %-ої суміші нафт.

Адекватність розроблених аналітичних моделей ефективного коефіцієнта дифузії перевірена шляхом порівняння результатів теоретичних досліджень з результатами обробки експериментальних даних, одержаних Й.В.Якимівим при послідовному перекачуванні різносортних рідин на лабораторному стенді.

Експериментальна установка (рис.1) дає можливість якісно моделювати процеси змішування рідин з різною в'язкістю при режимах послідовного перекачування, що мають місце на реальних нафтопроводах, оскільки при її проектуванні витримані критерії геометричної та гідродинамічної подібності.

Результати дослідів математично оброблені за розробленими в роботі методикою і програмним забезпеченням. Згідно з розрахунками гранична відносна похибка визначення дослідного значення ефективного коефіцієнта дифузії становить 9 %. Порівняння експериментальних значень ефективного коефіцієнта дифузії з розрахунковими, одержаними за розробленими нами моделями, показує, що відносна різниця

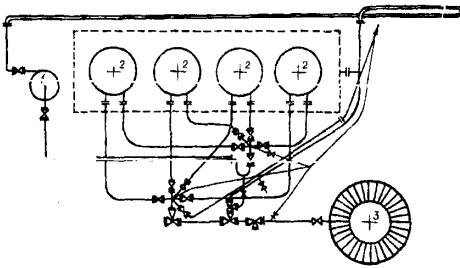


Рис.1. Схема лабораторної установки для експериментальних досліджень процесу сумішоутворення при послідовному перекачуванні рідин: 1 – насос 1,5К-6; 2 – резервуари; 3 – карусель для приймання суміші; 4 – трубопровід.

результатів на перевищує 19 %, що є допустимим при проведенні інженерних розрахунків.

На базі моделей для ефективного коефіцієнта дифузії одержані формули для кількості циклів, необхідної резервуарної ємності і розроблена технологія циклічного послідовного перекачування різносортних нафт при неповному завантаженні магістрального нафтопроводу довільної геометричної структури.

У процесі послідовного перекачування нафт з суттєвою різницею властивостей наявний об'єм резервуарної ємності на кінцевому пункті нафтопроводу може виявитися недостатнім для розкладання суміші, що може призвести до часткової втрати якості товарної нафти. Щоб не допустити цього, за аналогією з послідовним перекачуванням світлих нафтопродуктів, доцільно застосувати технологію послідовного перекачування нафт з рідинним роздільником. Рідинним роздільником може бути третій сорт нафти, який за властивостями близький до першого і другого сортів нафти. Для умов нафтопроводів України як рі-

динний роздільник можна застосувати нафту одного з вітчизняних родовищ, яка видобувається у невеликій кількості, що ускладнює формування її окремої партії. Одержано, що при перекачуванні нафт А і В з рідинним роздільником із нафти С умова відсутності збитків від пересортування нафт має вигляд

$$Z_c = -Z \frac{S_a - S_b}{S_c - S_b}, \quad (4)$$

де: Z_c, Z - аргументи інтегралу імовірностей, пропорційні об'єму роздільника і варіанту розкладання трикомпонентної суміші відповідно; S_a, S_b, S_c - вартість одиниці об'єму нафти А, В і С відповідно.

У результаті теоретичних досліджень одержано трансцендентне рівняння, розв'язок якого дає змогу знайти оптимальний об'єм роздільника, який забезпечує відсутність збитків від пересортування нафт і можливість повного розкладання суміші в наявну резервуарну ємність. За даною методикою розроблена технологія послідовного перекачування охтирської і чернігівської нафти з рідинним роздільником з полтавської нафти по нафтопроводу Глинсько-Розбишевська – Кременчук (рис.2).

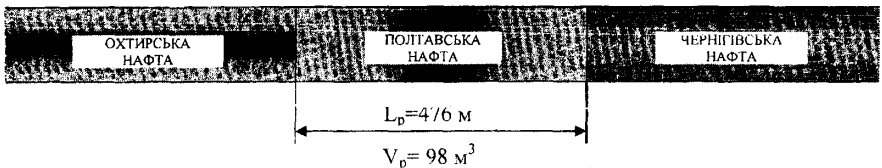


Рис.2. Схема закачування чернігівської і охтирської нафт з роздільником з полтавської нафти в нафтопровід Глинсько-Розбишевська – Кременчук

Як показали розрахунки, використання рідинного роздільника оптимального об'єму $V_p = 98 \text{ м}^3$ дає змогу уникнути будівництва додаткової резервуарної ємності, необхідної для розкладання суміші різносортих нафт на НПС Кременчук, і тим самим зекономити значні кошти на реалізацію послідовного перекачування нафт східноукраїнських родовищ.

Ряд вітчизняних нафтопроводів характеризується пересіченим рельєфом траси. У процесі експлуатації таких трубопроводів може появлятися перевальна точка і ділянки з самопливним рухом нафти. Зазначені особливості течії нафти впливають як на гідравлічний режим руху нафти, так і на особливості сумішоутворення послідовно транспортованих нафт. Використовуючи одержаний нами узагальнений вираз для ефективного коефіцієнта дифузії, зводимо параметри послідовного перекачування на самопливних ділянках до еквівалентних параметрів напірної ділянки. Рівняння для визначення об'єму суміші у випадку послідовного перекачування нафт різних сортів по нафтопроводу з n_c самопливними ділянками приймас вигляд

$$V_{cm} = \Delta_c \frac{V_{mpn}}{P e_n^{0,5}} 2(Z_1 - Z_2), \quad (5)$$

де: Δ_c - коефіцієнт зведення параметрів послідовного перекачування нафт різних сортів на самопливних ділянках до еквівалентних параметрів напірної

частини трубопроводу довжиною L_n

$$\Delta_c = \sqrt{1 + \sum_{i=2}^{n_c} \left(\frac{4R_{ci}}{d} \right)^{5+\chi} \frac{l_i}{L_n}}, \quad (6)$$

V_{mp_n} - об'єм порожнини нафтопроводу з напірним рухом нафти; Pe_n - параметр Некле для напірної ділянки нафтопроводу; Z_1, Z_2 - аргументи інтегралу імовірностей, залежні від вибору граничних концентрацій; R_{ci} - гідравлічний радіус i -ої самопливної ділянки, що має довжину l_i .

При технологічних розрахунках магістральних нафтопроводів тепло тертя потоку і сховану теплоту кристалізації парафіну прийнято враховувати тільки при теплогідравлічному розрахунку "гарячого" нафтопроводу. Однак, як свідчать результати промислових перекачувань, при традиційній технології перекачування нафт середньої в'язкості зазначені фактори можуть помітно впливати на розподіл температури по довжині трубопроводу, а отже, на гідравлічний режим роботи нафтопровідної системи і на параметри сумішоутворення різносортих нафт. Запропоновано методіку теплогідравлічного розрахунку нафтопроводу і визначення об'єму суміші з врахуванням тепла тертя потоку і схованої теплоти кристалізації парафіну, що міститься у нафті.

Третій розділ. Даний розділ присвячений розробці математичної моделі гідродинамічних процесів, що мають місце в рельєфному нафтопроводі з довільною кількістю нафтоперекачувальних станцій (НПС) при послідовному перекачуванні будь-якої кількості партій різносортих нафт.

З метою обґрунтування вибору математичних моделей залежності густини і в'язкості нафти від температури проведені експериментальні дослідження залежності цих параметрів для нафти, яка перекачується системою нафтопроводів "Придніпровські магістральні нафтопроводи".

Основна складність гідравлічного розрахунку нафтопроводу полягає у достовірному визначенні коефіцієнта гідравлічного опору, який у загальному випадку є функцією числа Рейнольдса Re і абсолютної шорсткості внутрішньої поверхні труб k_e . У роботі запропоновано математичну модель для визначення коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу λ у формі модифікованого рівняння Колбрука, яка має широку сферу застосування і дозволяє уникнути нестикування результатів на границях зон гідравлічного тертя турбулентного режиму

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_{ee}}{3,7d} \right). \quad (7)$$

$$k_{ee} = k_e \frac{Re - 4000}{Re - 4000}, \quad (8)$$

де: Re_j - перше перехідне число Рейнольдса для ідеалізованої шорсткості внутрішньої поверхні труби.

Достовірність запропонованої математичної моделі для коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу перевірена шляхом проведення довготривалого промислового експерименту на магістральному нафтопроводі Кременчук-Снігурівка. Виконана статистична обробка режимних параметрів перекачування нафти у широкому діапазоні витрат та розрахункових в'язкостей транспортованої нафти при різних схемах роботи насосних станцій і насосних агрегатів на них. Порівняння фактичних і розрахункових параметрів роботи нафтопроводу показало, що їх різниця не перевищує 3 %, що свідчить про достовірність розробленого методу розрахунку гідродинаміки перекачування нафти.

Описана вище методика визначення коефіцієнта гідравлічного опору в магістральному нафтопроводі використана при розробці гідродинамічної моделі рельєфного нафтопроводу при послідовному перекачуванні нафт різних сортів.

Гідродинамічна стаціонарна модель нафтопроводу враховує напірні та енергетичні характеристики насосів, наявність у трубопроводі кількох партій нафт, вплив переміщення контактів нафт на величину втрат енергії на подолання лінійних гідравлічних опорів, вплив профілю траси на загальний гідравлічний опір системи та її миттєву пропускну здатність.

Модель реалізована в оригінальній програмі **STA**, використання якої дає змогу дослідити динаміку зміни режимних параметрів нафтопроводу в процесі послідовного перекачування різних сортів нафти. Приклад одержаних результатів для нафтопроводу Глинсько-Розбишевська-Кременчук наведений на рис.3.

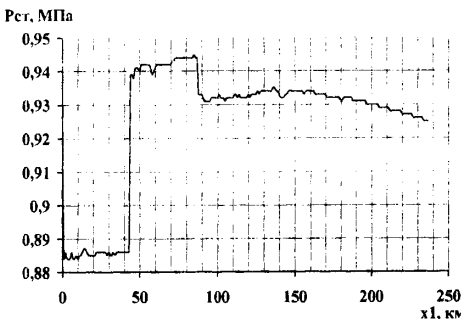


Рис.3. Динаміка зміни тиску на виході НПС Глинсько-Розбишевська при послідовному перекачуванні полтавської, охтирської і чернігівської нафт

Програма **STA** дає змогу методом ітерацій визначити миттєву пропускну здатність магістрального нафтопроводу з довільною кількістю НПС при послідовному перекачуванні довільної кількості партій нафти різного об'єму і з різними фізико-хімічними властивостями. Обчислювальний алгоритм передбачає ідентифікацію місця розташування зони контакту кожної пари нафт, визначення довжини частки кожної партії j -ої нафти, що знаходиться в межах k -ої ділянки нафтопроводу

між НПС, обчислення втрат тиску від тертя для j -ої нафти у межах k -ої ділянки нафтопроводу, знаходження втрат тиску на подолання різниці геодезичних позначок кінця і початку партії j -ої нафти у межах k -ої ділянки і моделювання напірних та енергетичних характеристик насосних агрегатів кожної із k НПС нафтопроводу. При гідравлічних розрахунках враховані технологічні обмеження тиску нафти на виході і на вході в НПС. Для протяжного нафтопрово-

ду з кількома НПС при реалізації технології послідовного перекачування нафт пропускна здатність системи визначається пропускною здатністю лімітуючої ділянки, причому, на відміну від мононафтового нафтопроводу, положення лімітуючої ділянки може з часом змінюватись залежно від місця розташування зони контактів різносортних нафт на трасі рельєфного трубопроводу.

Програма **STA** може бути застосована для проведення проектних та експлуатаційних розрахунків параметрів послідовного перекачування на магістральних нафтопроводах з метою прогнозування обсягів перекачування кожного сорту нафти, визначення режимних та енергетичних параметрів роботи насосних агрегатів НПС, оптимізації режимів роботи нафтопроводу за критерієм мінімальних витрат електроенергії на транспортування нафт різних сортів.

Четвертий розділ. Методи гідравлічного розрахунку нафтопроводу, розроблені в розділі 3 дисертації, базуються на рівняннях стаціонарного руху реальних рідин у трубопроводі. Сам по собі процес послідовного перекачування нафт з різними фізичними властивостями є неусталеним. Нестационарність викликає просування зони контакту різносортних нафт по довжині трубопроводу і відповідна зміна довжин ділянок, заповнених кожним сортом нафти. Додаткову нестационарність спричинює пересічений рельєф траси нафтопроводу. В процесі експлуатації нафтопроводу, особливо при неповному його завантаженні, часто виникає значна нестационарність, викликана необхідністю зміни кількості працюючих насосів, відключенням нафтоперекачувальних станцій, зупинками роботи тощо. У цьому зв'язку оцінка впливу нестационарності на процес послідовного перекачування нафтопроводом різносортних нафт має як теоретичне, так і важливе практичне значення.

Нами сформована і розв'язана методом характеристик система диференціальних рівнянь нерозривності та руху в трубопроводі мало стисливих рідин за початкових і граничних умов, що враховують особливості послідовного перекачування нафт різних сортів. Обчислювальний алгоритм і програма **NESTA** передбачають розрахунок миттєвої витрати і тиску для кожного моменту витіснення однієї нафти іншою у довільному перерізі нафтопроводу. Окрім того, виконується розрахунок усередненої по довжині та у часі витрати нафти, що необхідно для оцінювання балансу нафти при реалізації товаротранспортних операцій (рис.4).

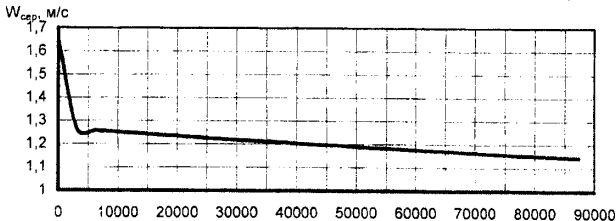


Рис.4. Динаміка зміни усередненої швидкості у процесі витіснення менш в'язкої нафти більш в'язкою після відключення насоса

З використанням стаціонарних і нестаціонарних методик розрахунку, які реалізовані в програмах **STA** і **NESTA** відповідно, для модельного нафтопроводу визначались та аналізувались пропускна здатність для кожного моменту процесу заміщення нафт, динаміка зміни тиску, параметри роботи НПС та інтегральне значення швидкості і витрати нафти за час витіснення однієї нафти іншою. Приклад одержаних результатів для випадку відключення одного насоса на НПС модельного нафтопроводу наведено у табл.1.

З використанням стаціонарних і нестаціонарних методик розрахунку, які реалізовані в програмах **STA** і **NESTA** відповідно, для модельного нафтопроводу визначались та аналізувались пропускна здатність для кожного моменту процесу заміщення нафт, динаміка зміни тиску, параметри роботи НПС та інтегральне значення швидкості і витрати нафти за час витіснення однієї нафти іншою. Приклад одержаних результатів для випадку відключення одного насоса на НПС модельного нафтопроводу наведено у табл.1.

Таблиця 1 -

Результати дослідження впливу нестаціонарності на усереднену витрату за період витіснення менш в'язкої нафти більш в'язкою після відключення насоса

| Характеристика профілю трубопроводу | Різниця геодезичних позначок кінця і початку трубопроводу, м | Усереднена швидкість руху, м/с, визначена | | |
|-------------------------------------|--|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | | з врахуванням нестаціонарності | без врахування нестаціонарності | відносна різниця результатів, % |
| Рівнинний | 0 | 1,144 | 1,152 | -0,69 |
| Висхідний | 100 | 0,953 | 0,963 | -1,04 |
| Висхідний | 200 | 0,721 | 0,735 | 1,90 |
| Висхідний | 300 | 0,410 | 0,426 | -3,76 |
| Низхідний | -100 | 1,310 | 1,318 | -0,61 |
| Низхідний | -200 | 1,461 | 1,469 | -0,54 |
| Низхідний | -300 | 1,598 | 1,607 | -0,56 |
| Пересічений | 100 | 0,956 | 0,966 | -1,04 |

Аналіз результатів досліджень дав змогу чітко розмежувати ті виробничі ситуації, при яких у процесі проведення проектних та експлуатаційних розрахунків послідовного перекачування різносортних нафт на магістральних нафтопроводах можна використовувати методику стаціонарного руху рідин, і ті, при яких виникає необхідність застосування значно складніших нестаціонарних моделей.

Нестаціонарність, спричинена переміщенням зони контакту різносортних нафт по довжині рівнинного нафтопроводу, практично не впливає на величину усередненої витрати. Накладання додаткової нестаціонарності, спричиненої раптовою зупинкою насоса, викликає більш значні зміни у часі режимних параметрів роботи нафтопроводу, що може призвести до неточного визначення усередненої витрати нафти при користуванні загальновідомими рівняннями стаціонарного руху рідини в трубопроводі.

ВИСНОВКИ

На основі проведених в дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних досліджень особливостей дифузійних і гідродинамічних процесів у нафтопроводах при послідовному перекачуванні нафт різних сортів розроблені нові та вдосконалені існуючі методи технологічних розрахунків, запропоновані рекомендації з впровадження зазначеної технології на нафтопроводах України.

1 Розроблені аналітичні моделі для визначення величини ефективного коефіцієнта дифузії при послідовному перекачуванні нафт в зонах гідравлічно гладких труб та змішаного закону тертя турбулентного режиму, достовірність яких перевірена шляхом співставлення результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

2 На базі створених математичних моделей для ефективного коефіцієнта дифузії розроблений пакет методик і програмного забезпечення, які дозволяють розрахувати весь комплекс технологічних параметрів послідовного перекачування нафт різних сортів при проектуванні та експлуатації магістрального нафтопроводу.

3 В результаті теоретичних і експериментальних досліджень вибрані найбільш адекватні математичні моделі для визначення розрахункових значень фізичних властивостей нафти та коефіцієнта гідравлічного опору в магістральних нафтопроводах. Розроблена універсальна модель для коефіцієнта гідравлічного опору в нафтопроводі, яка органічно охоплює зону гідравлічно гладких труб і зону змішаного тертя турбулентного режиму, включаючи границю переходу між ними, і дає змогу прогнозувати режимні параметри роботи нафтопроводу з точністю до 3%.

4 Розроблено і реалізовано в програмному забезпеченні стаціонарну математичну модель гідродинамічних процесів рельєфного нафтопроводу, яка дає змогу прогнозувати режими його роботи при послідовному перекачуванні довірливої кількості партій нафт різних сортів.

5 Розроблено і реалізовано в програмному забезпеченні нестационарну математичну модель гідродинамічних процесів нафтопроводу, яка дає змогу врахувати нестационарність, спричинену пересуванням контакту нафт з різними фізичними властивостями по довжині рельєфного трубопроводу, а також додаткову нестационарність, викликану змінами схем роботи насосних станцій і насосів на них.

6. Гідравлічні розрахунки послідовного перекачування нафт різних сортів на магістральних нафтопроводах при незмінній схемі роботи насосних станцій і насосів на них з точністю до 2 % можна виконувати за методикою, що базується на стаціонарній моделі руху нафти. Для достовірного прогнозування виробничих ситуацій, що виникають при змінах схем роботи насосних станцій

та насосів на них необхідно використовувати більш складну методику, яка базується на рівняннях нестационарного руху нестисливої рідини у трубопроводі.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано у таких працях

1. Середюк М.Д., Люта Н.В. Розробка математичних моделей для ефективного коефіцієнта змішування у зоні гідравлічно гладких труб// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.-Вип.35.Том1. - 1998.С.183–188.
2. Середюк М.Д. Люта Н.В. Теоретичні моделі для визначення ефективного коефіцієнта змішування при послідовному перекачуванні різносортих нафт у зоні змішаного тертя. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - Вип.35, Том 3. – 1998. – С. 17-21.
3. Люта Н.В., Середюк М.Д., Залеський В.М., Стахів І.М. Аналіз математичних моделей для коефіцієнта гідравлічного опору в нафтопроводах. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.-Вип. 36, том 5.–1999.– С. 8-13.
4. Люта Н.В. Математична модель гідродинамічного режиму роботи нафтопроводу при послідовному перекачуванні нафт різних сортів//Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.-Вип. 35.Том3, 1998.–С. 22-28.
5. Середюк М.Д., Люта Н.В. Обґрунтування вибору математичних моделей для коефіцієнта гідравлічного опору в нафтопроводах. //Нафтова і газова промисловість. - 2000. - № 2. - С. 35 - 37.
6. Люта Н.В., Середюк М.Д. Дослідження впливу нестационарності на пропускну здатність нафтопроводу при послідовному перекачуванні різносортих нафт//Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. -№1. – С. 53-57.
7. Середюк М.Д., Люта Н.В. Визначення пропускну здатності нафтопроводу при неусталеному режимі послідовного перекачування різносортих нафт//Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції “Нафта і газ України – 2000”. – Том 3. – Івано-Франківськ.–2000.–С. 40-43.
8. Люта Н.В. Інноваційні енергозберігаючі технології послідовного транспорту нафт різних фізико-хімічних характеристик на основі оперативного моделювання процесу.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Інноваційна діяльність в системі державного регулювання.-Івано-Франківськ. - 1999. - С.35-36.
9. Середюк М.Д., Петренко Н.В. Розробка методичного і програмного забезпечення послідовного перекачування нафт різних сортів на магістральних нафтопроводах.// Матеріали 5-ої Міжнародної конференції “Нафта-газ України”.-Полтава.- 1998.-С.302.
10. СТП 320.00148429.003-2002. Методика нормування питомих витрат електроенергії на транспортування нафти магістральними нафтопроводами ДАТ “ГДМН”. – Введ. 01.01.2002. – К.: – Вид-во “Укртранснафти”, 2001. – 51с.

АНОТАЦІЯ

Люта Н.В. Методи технологічних розрахунків нафтопроводів при послідовному перекачуванні різносортних нафт. – 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, 2003

Дисертацію присвячено розробці методів технологічних розрахунків нафтопроводів при послідовному перекачуванні різносортних нафт з метою впровадження даної технології на нафтопроводах України. Розроблені аналітичні моделі ефективного коефіцієнта дифузії, які враховують специфіку масообмінних процесів у нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів. Створено пакет методик та програм для розрахунку комплексу параметрів послідовного перекачування різносортних нафт, що залежать від інтенсивності їх сумішоутворення. Розроблено методику розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу. Запропоновано стаціонарну і нестаціонарну модель гідродинамічних процесів, що відбуваються у нафтопроводі при послідовному перекачуванні нафт різних сортів. Досліджено вплив нестаціонарності на режимні параметри послідовного перекачування і конкретизовано сфери використання розроблених методів технологічних розрахунків нафтопроводів.

Ключові слова : послідовне перекачування, нафтопровід, пропускна здатність, різносортні нафти.

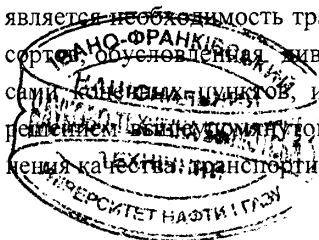
АННОТАЦИЯ

Лютая Н.В. Методы технологических расчетов нефтепроводов при последовательной перекачке разноразных нефтей. – 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, 2003.

Диссертация посвящена разработке методов технологических расчетов нефтепроводов при последовательной перекачке разноразных нефтей с целью внедрения данной технологии на нефтепроводах Украины.

Важнейшим условием эффективного функционирования нефтепроводов является необходимость транспортировки в одном направлении нефтей разных сортов, обусловленная диверсификацией источников их поступления и адресами потребителей, интегрированных единой международной сетью. С решением этой задачи непосредственно связана проблема сохранения качества транспортируемого продукта.



Реализация прогрессивной технологии последовательной перекачки нефтей разных сортов на нефтепроводах Украины позволит повысить эффективность использования отдельных трубопроводов и их сетей, уменьшит себестоимость транспортировки нефти с соответствующим потенциалом наращивания валютных поступлений от обслуживания международных поставок, позволит эффективно решить проблему сохранения качества каждого сорта нефти.

На основе теоретических и экспериментальных исследований предложены аналитические модели эффективного коэффициента диффузии для зоны гидравлически гладких труб и зоны смешанного трения, учитывающие специфику массообменных процессов в трубопроводе при последовательной перекачке нефтей разных сортов.

Достоверность аналитических моделей эффективного коэффициента диффузии доказана путем сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Разработаны методики расчета параметров последовательной перекачки, непосредственно зависящих от интенсивности смесеобразования последовательно перекачиваемых жидкостей: определение количества циклов и необходимой резервуарной емкости для раскладки смеси, расчет оптимального объема жидкостного разделителя, расчет объема смеси при последовательной перекачке нефтей по нефтепроводу с самостоятельными участками, расчет объема смеси с учетом тепла трения потока и скрытой теплоты кристаллизации парафина, содержащегося в нефти. В работе разработана технология последовательной перекачки двух нефтей восточных месторождений Украины с разделителем из третьей нефти по участку нефтепровода Глинско-Розбышевская – Кременчуг.

Выполнено экспериментальное исследование зависимости физических свойств нефти, перекачиваемой системой трубопроводов «Приднепровские магистральные нефтепроводы», от температуры.

Разработана методика определения коэффициента гидравлического сопротивления нефтепровода, основанная на использовании модифицированной формулы Колбрука. Предложенная модель, достоверность которой доказана промышленным экспериментом на нефтепроводе Кременчуг-Снегиревка, имеет широкую область применения, исключает необходимость разбиения турбулентного режима на отдельные зоны гидравлического трения и удобна для использования при программировании на ЭВМ. Модель для определения коэффициента гидравлического сопротивления нефтепровода вошла в нормативный документ «Методика нормирования удельных затрат электроэнергии на транспортировку нефти магистральными нефтепроводами филиала «Приднепровские

магистральные нефтепроводы» ВАТ «Укртранснефть», утвержденный в качестве Стандарта предприятия.

Разработаны стационарная и нестационарная модели гидродинамических процессов, происходящих в рельефном нефтепроводе с произвольным количеством нефтеперекачивающих станций при последовательной перекачке произвольного количества партий нефти различных сортов. В результате теоретических исследований влияния нестационарности на режимные параметры последовательной перекачки нефтей определена сфера использования разработанных моделей. Для проведения расчетов замещения жидкостей в нефтепроводе при неизменной схеме работы насосов и насосных станций с достаточной точностью можно использовать стационарную модель гидродинамических режимов в нефтепроводе при последовательной перекачке различных сортов нефти. Для прогнозирования и анализа штатных и нештатных ситуаций, связанных с отключением насосных агрегатов, необходимо использовать нестационарную модель гидродинамических режимов работы нефтепровода при последовательной перекачке разнородных нефтей.

Ключевые слова: последовательная перекачка, нефтепровод, пропускная способность, разнородные нефти.

ABSTRACT

Lyuta N.V. Methods of technological calculations of oil pipelines at batching of various oil grades. – Manuscript.

This Thesis is to gain the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences according to the speciality 05.15.13 – Oil and Gas Pipelines, Tank Farms and Storages. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2003.

The Thesis is devoted to the method development of technological calculations of oil pipelines at batching of various oil grades. The goal of it is to apply the above mentioned methods on oil pipelines of Ukraine. It has been offered the analytical models of diffusion effective coefficient and has been developed the number of methods for calculation of batching characteristics that depend on the carburetion intensity. In the Thesis there has been developed the method for calculation of wall friction coefficient in oil pipelines. It has been offered stationary and nonstationary models of hydrodynamic processes that take place in oil pipeline at batching of various oil grades. It has been investigated the influence of nonstationary state on the operating conditions of batching and it has been concretely defined the usage sphere of the developed models of the process.

Key words: batching, oil pipeline, transmission capacity, various oil grades.