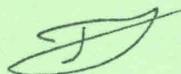


622.692.4(043)
Г 83

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ГРИГОРСЬКИЙ СТАНІСЛАВ ЯРОСЛАВОВИЧ



УДК 622.692.4

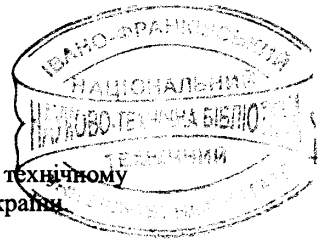
**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОПРОВІДІВ
З УРАХУВАННЯМ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2015



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, доцент **Зайцев Валерій Володимирович**,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, (м. Миколаїв),
професор кафедри морської логістики;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Братах Михайло Іванович,
УкрНДІгаз ПАТ “Укргазвидобування”, (м. Харків),
завідувач відділу транспортування газу.

Захист відбудеться 22 вересня 2015 року о 10⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 11 » серпня 2015 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 20.052.04
к.т.н., доцент

Л.Д. Пилипів



АЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У процесі експлуатації магістральних нафтопроводів, особливо за неповного їх завантаження, нерідко мають місце нештатні ситуації. Більшість із них пов'язані із реалізацією різних способів регулювання режимів роботи, а саме: запуск і зупинка нафтоперекачувальних станцій (НПС), запуск і зупинка окремих насосних агрегатів, повне або часткове перекирвання запірної арматури, підключення резервуарів, відкриття або закриття відводів тощо. Відключення нафтоперекачувальної станції (НПС) або окремих насосів призводить до підвищення тиску в лінії всмоктування та до падіння тиску в лінії нагнітання. Зазначені ситуації спричинюють суттєві зміни режиму експлуатації трубопроводів, які можуть призвести до перевитрат енергії на транспортування нафти, а в деяких випадках до виникнення аварій.

При експлуатації нафтопроводів, що мають пересічений профіль траси, будь-яка зміна режиму роботи призводить до виникнення або ліквідації самопливних ділянок. На самопливних ділянках має місце безнапірний режим руху рідини, гідродинамічні закономірності якого різняться від традиційного напірного руху рідини в трубопроводі. Для оперативного контролю процесу перекачування нафти необхідно знати положення самопливних ділянок, їх довжину, а основне – ступінь заповнення рідиною. Останнє дуже важливе для контролю матеріального балансу нафти у певний момент часу експлуатації трубопроводу.

На даний час в Україні термін експлуатації магістральних нафтопроводів наблизився або перевищив проектний. Ця обставина значно збільшує ймовірність аварії на лінійній частині нафтопроводу. Ось чому сьогодні одним із важливих завдань є розроблення уточнених методів розрахунку гідродинамічних параметрів нештатних режимів експлуатації нафтопроводів з метою підвищення ефективності та надійності трубопровідного транспорту нафти.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до положень “Енергетичної стратегії України на період до 2030 року”, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України №1071-р від 24.07.2013 р., “Програми енергозбереження на підприємствах “Нафтогаз України” на 2010-2014 роки”, держбюджетної НДР “Удосконалення технологічних процесів транспортування, зберігання і розподілу вуглеводнів з урахуванням вимог енергоефективності” та госпдоговірної НДР “Дослідження необхідності систем згладжування хвиль тиску на НПС “Плешівка”, НПС “Чижівка”, НПС “Новини” магістрального нафтопроводу “Мозир-Броди”(№ держресстрації 0113U001389).

Мета і задачі дослідження. Підвищення ефективності та надійності експлуатації магістральних нафтопроводів шляхом мінімізації негативного впливу нештатних ситуацій.

Поставлена мета реалізується через вирішення таких задач:

- виявлення взаємозв'язку між зміною параметрів роботи нафтових насосів у процесі їх зупинки та динамікою зміни тиску нафти на вході і виході НПС;
- встановлення закономірностей перехідних гідродинамічних процесів, спричинених зупинками одного і кількох насосних агрегатів, у довільній точці траси наф-

топроводу, а також на вході в попередні НПС;

- встановлення взаємозв'язку між геометричними характеристиками траси нафтопроводу, його пропускною здатністю, кількістю ділянок з безнапірним рухом нафти, місцем їх розташування та ступенем заповнення нафтою;
- розроблення математичних моделей для визначення гідродинамічних параметрів нештатних режимів експлуатації нафтопроводів;
- розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності та надійності експлуатації вітчизняних магістральних нафтопроводів шляхом мінімізації негативного впливу нештатних ситуацій.

Об'єктом досліджень є вітчизняні магістральні нафтопроводи.

Предметом досліджень є гідродинамічні процеси на напірних та безнапірних ділянках магістральних нафтопроводів під час реалізації нештатних ситуацій.

Методи дослідження. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана з використанням методів статистичного аналізу. При розробленні математичних моделей гідродинамічних процесів за нештатних режимів експлуатації магістральних нафтопроводів використовувались методи диференціального та інтегрального числення, а також методи математичного моделювання, які реалізовані у комп'ютерних програмах.

Положення, що захищаються. Закономірності гідродинамічних процесів на напірних та безнапірних ділянках нафтопроводів за нештатних ситуацій, що характеризуються зміною енергетичних характеристик насосів та особливостями траси трубопроводу.

Наукова новизна отриманих результатів така:

- уточнено тривалість процесу зупинки нафтових насосів серії НМ, одержано залежності зміни у часі тиску насоса та тиску нафти на вході і виході НПС з урахуванням особливостей технології експлуатації нафтопроводу;
- вперше встановлено динаміку зміни у часі швидкості підвищення тиску на вході НПС на різних етапах перехідного процесу при зупинці одного і двох насосів;
- вперше одержано фактичну швидкість поширення хвилі тиску в нафтопроводі з урахуванням його геометричних і гідродинамічних характеристик;
- уточнено закономірності впливу на інтенсивність затухання хвилі тиску кількості зупинених насосів, геометричних і гідродинамічних характеристик нафтопроводу, режиму перекачування нафти до виникнення нештатної ситуації;
- вперше одержано математичні моделі коефіцієнта затухання хвилі тиску як функцію витрати нафти, числа Рейнольдса, діаметра трубопроводу та швидкості поширення хвилі тиску у випадку зупинки на НПС одного, двох і трьох насосів;
- уточнено закономірності формування самопливних ділянок та вплив параметрів їх роботи на пропускну здатність нафтопроводу, одержано математичні моделі ступеня заповнення самопливних ділянок від витрати та режиму руху нафти.

Практична цінність отриманих результатів.

Запропоновано аналітичні залежності для розрахунку обертової частоти, тиску та продуктивності нафтових насосів серії НМ у процесі їх зупинки.

Розроблено регресійні моделі для коефіцієнта затухання хвилі тиску в магістральному нафтопроводі при зупинках і запусках насосних агрегатів.

Запропоновано метод розрахунку параметрів перехідних процесів, спричинених зупинкою одного, двох і трьох насосних агрегатів на НПС, який дає змогу:

- визначати пропускну здатність, режимні та енергетичні параметри за усталених режимів експлуатації нафтопроводу;
- прогнозувати зміни тиску на вході і виході НПС, а також у довільній точці траси нафтопроводу за першого і завершального етапів перехідного процесу.

Розроблено метод розрахунку технологічних параметрів нафтопроводу з пересіченим профілем траси, який дає змогу:

- визначати пропускну здатність, режимні та енергетичні параметри з урахуванням гідравлічного опору самопливних ділянок;
- знаходити кількість самопливних ділянок, місце їх розташування на трасі нафтопроводу;
- визначати ступінь заповнення перерізу самопливних ділянок нафтою для турбулентного режиму руху в зоні гладкостінного та змішаного тертя;
- контролювати матеріальний баланс транспортованої нафтопроводом нафти для кожного моменту експлуатації.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності та надійності експлуатації системи магістральних нафтопроводів “Дружба” шляхом мінімізації негативного впливу нештатних ситуацій.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. В опублікованих роботах автором особисто:

- досліджені перехідні процеси, спричинені зупинками насосних агрегатів, та їх вплив на режим роботи нафтопроводу [1-4, 13];
- досліджені закономірності зміни обертової частоти, тиску та продуктивності нафтових насосів серії НМ у часі при їх зупинці [1, 15];
- одержані аналітичні формули, які дають можливість достовірно прогнозувати динаміку зміни тиску на початковому та завершальному етапах перехідного процесу, спричиненого зупинкою на НПС одного чи декількох насосних агрегатів [2, 3];
- розроблено алгоритм математичної обробки результатів експериментальних досліджень коефіцієнта затухання хвилі тиску [3, 4, 14];
- визначено фактичну швидкість розповсюдження хвилі тиску під час перехідних процесів в досліджуваному нафтопроводі [3, 13];
- за результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку неусталених гідродинамічних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів [5];
- запропоновано метод визначення положення та ступеня заповнення самопливних ділянок нафтопроводів залежно від витрати та режиму руху нафти [7, 8, 10-12];
- розроблено метод розрахунку пропускну здатності магістральних нафтопроводів з урахуванням ділянок з безнапірним рухом нафти [9, 16].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на:

- VII Міжнародній навчально-науково-практичній конференції “Трубопровідний транспорт - 2011” (м. Уфа, 2011);
- VIII Міжнародній навчально-науково-практичній конференції “Трубопровід-

ний транспорт - 2012” (м. Уфа, 2012);

- Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів “Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії - 2012” (м. Івано-Франківськ, 2012);

- Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика - 2013” (м. Івано-Франківськ, 2013);

- IX Міжнародній навчально-науково-практичній конференції “Трубопровідний транспорт - 2013” (м. Уфа, 2013);

- VIII Міжнародній науково-технічній конференції “Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта” (м. Новополюськ, 2014);

- Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи”, присвяченій 70-річчю газонафтопромислового факультету (м. Івано-Франківськ, 2014).

У повному об’ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри транспорту і зберігання нафти і газу ІФНТУНГ та науковому семінарі інституту нафтогазової інженерії зазначеного університету.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих праць, із них 9 у фахових виданнях, одна з яких включена до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Структура та обсяг роботи. Дисертація викладена на 174 сторінках, складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, 59 рисунків, 15 таблиць, списку використаних джерел, який містить 119 найменувань, та 2 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи обґрунтована актуальність теми, показано зв’язок роботи з науковими програмами, визначені мета і задачі дослідження, сформульовано наукові положення, наукова новизна та практична цінність роботи.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел з питань методології розрахунків нафтопроводів за нештатних режимів експлуатації. Наведено характеристику неусталених нештатних режимів руху нафти в нафтопроводах, що пов’язані, передусім, з різними технологічними операціями, які здійснюються у процесі перекачування нафти. Проведено аналіз методів розрахунку перехідних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів у магістральних нафтопроводах, та методів розрахунку параметрів роботи магістральних нафтопроводів з безнапірним рухом рідини. Наведено характеристику сучасного стану нафтотранспортної системи України і режимів її експлуатації.

Запуск і зупинка нафтопроводу, включення або відключення насосних агрегатів на головній або проміжній НПС, спрацювання запірної арматури, перемикання резервуарів, включення або відключення відводів – усе це призводить до того, що в нафтопроводі виникають неусталені гідродинамічні процеси. Вони тривають до встановлення нового усталеного режиму роботи, тому зазначені процеси називають ще перехідними процесами. За реалізації перехідних процесів у магістральному нафтопроводі виникають хвилі підвищеного та пониженого тиску, які розповсюджу-

ються в обох напрямках від джерела збурення. Хвилі підвищеного і пониженого тиску становлять небезпеку для експлуатації нафтопроводу, оскільки можуть призводити до непланових зупинок НПС, а також до аварійних розривів трубопроводу.

Значний доробок у дослідження закономірностей перехідних процесів при реалізації нештатних ситуацій в трубопроводах внесли такі вчені, як Н. Е. Жуковський, І. А. Чарний, Л. С. Лейбензон, А. А. Сурін, М. А. Мостков, П. А. Мороз, Д. Н. Смирнов, М. В. Лурье, Л. В. Полянська, В. І. Марон, В. А. Юфін, А. Н. Крилов, Е. В. В'язунов, С. І. Перевошиков, М. А. Гусейн-Заде, В. Ф. Новосьолов, Б. Л. Кривошеїн, А. Г. Гумерова, Г. Д. Розенберг, А. Б. Штурмін, Л. Аллієві, Р. Леві, О. Шнідер, Л. Бержерон, К. Егер, Р. В. Ангус, А. Гібсон, В. Л. Стрітєр, Ж. Пікфорд, Д. Ж. Вуд, Ж. П. Тюліз, Д. А. Фокс та інші. В Україні зазначеними питаннями стосовно газонафтопроводів займалися В. Я. Грудз, Д. Ф. Тимків, М. Д. Середюк, В. С. Костишин.

Огляд літературних джерел виявив, що за роки незалежності в Україні не опубліковано ні однієї роботи, яка б дослідила теоретично або експериментально закономірності гідродинамічних процесів у нафтопроводі, спричинені зупинками насосних агрегатів. Враховуючи неповну завантаженість вітчизняних нафтопровідних систем, необхідність регулювання їх продуктивності шляхом зміни кількості працюючих насосів на НПС, велику імовірність зупинки насосних агрегатів у разі спрацювання систем технологічного захисту НПС, питання виявлення закономірностей гідродинамічних процесів у нафтопроводі, спричинених зупинками насосних агрегатів, має велике теоретичне і практичне значення.

Щодо методів розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок магістральних нафтопроводів, то переважна більшість робіт присвячена дослідженню відкритих каналів та русел і не враховує особливості безнапірного руху нафти в трубопроводах. Для розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок магістральних нафтопроводів застосовують переважно графічні методи, які є недостатньо точними та незручними для практичного користування. Виходячи із сучасного стану проблеми, сформульовано мету та задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено експериментальним дослідженням гідродинамічних процесів у магістральних нафтопроводах за нештатних режимів експлуатації. Промислові експерименти гідродинаміки перехідних процесів виконано на вітчизняному нафтопроводі з внутрішнім діаметром 702 мм і довжиною 400 км. Перекачування нафти здійснюють чотири НПС з нафтовими насосами серії НМ. На трасі нафтопроводу передбачено 15 контрольних пунктів (КП), оснащених сучасними засобами реєстрації і контролю режимних параметрів. Для вимірювання тиску нафти використано давачі тиску типу Mikrotran F-R Fishers з класом точності 0,075-0,1. Аналізу підлягали дані експлуатації нафтопроводу за 2012-2013 рр. При проведенні промислових експериментів розрахункова густина нафти змінювалась у діапазоні від 866 до 875 кг/м³. Коефіцієнт кінематичної в'язкості нафти варіював у діапазоні від 16 до 27 сСт. Фізичні властивості нафти визначались в умовах сертифікованої лабораторії філії "Магістральні нафтопроводи "Дружба".

Першим етапом експериментальних досліджень перехідних процесів в нафтопроводах стало встановлення закономірностей зміни обертової частоти, створеного насосом тиску, а також величини стрибкоподібного підвищення тиску нафти на вхо-

ді НПС під час зупинки нафтових насосних агрегатів. Дослідження проведено для кількох типів нафтових насосів серії НМ, які широко застосовуються на вітчизняних нафтопроводах. Аналіз експериментальних даних засвідчив, що процес зменшення обертової частоти вала насоса можна розбити на два етапи. Перший етап, тривалістю до 30 с, характеризується значною інтенсивністю зменшення обертової частоти, на другому етапі, обертова частота вала насоса зменшується повільніше. Так для насоса марки НМ 3600-230 зміну обертової частоти вала насоса (об/хв) у часі (с) для першого етапу зупинки можна достовірно описати експоненціальною функцією

$$n = 3000 \exp(-0,055 \cdot t). \quad (1)$$

Дослідження показали, що протягом короткого часу (до 20 с) від початку зупинки насосного агрегату створений ним тиск інтенсивно зменшується від 2,0 МПа до 0,2 МПа, далі насос перестає виконувати свою функцію збільшення тиску транспортованої рідини і перетворюється у значний місцевий гідравлічний опір.

Метод прогнозування зміни параметрів роботи насоса під час його зупинки, що пропонується у даній роботі, передбачає використання фактичних закономірностей зміни обертової частоти вала насоса, які одержуються шляхом опрацювання дослідних даних для кожної марки нафтових насосів. Проведено порівняння результатів розрахунку величини підвищення тиску рідини на вході НПС залежно від часу за методом, що пропонується, та двома раніше розробленими методами (рисунк 1).

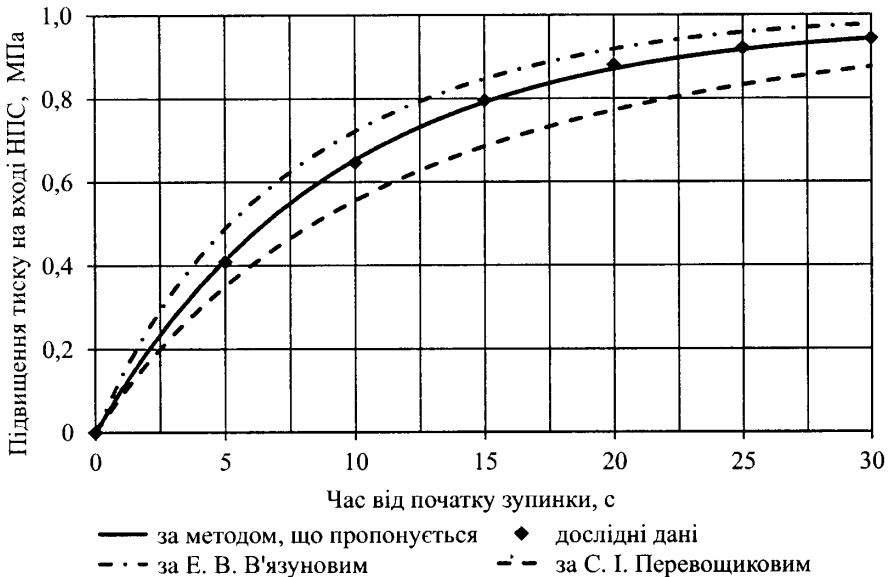


Рисунок 1 – Порівняння існуючих та запропонованого методів прогнозування підвищення тиску рідини на вході НПС, спричиненого зупинкою насоса

Аналіз засвідчує, що на відміну від пропонованого методу існуючі методи не забезпечують необхідну точність розрахунку величини підвищення тиску на вході НПС після зупинки насосних агрегатів. Метод розрахунку, запропонований Е. В. В'язуновим, завищує значення тиску рідини за фіксованого значення тривалості процесу зупинки насоса, максимальне відхилення результатів становить 30 %. Метод розрахунку С. І. Перевощикова, навпаки, занижує тиск рідини на 15 %.

З точки зору експлуатації нафтопроводу найбільш важливе значення має питання прогнозування максимальної величини стрибкоподібного підвищення тиску на вході НПС при зупинці одного чи кількох послідовно працюючих насосів. За результатами обробки експериментальних даних за два роки експлуатації нафтопроводу, що був об'єктом досліджень, встановлено, що фактична величина стрибкоподібного підвищення тиску на вході НПС дещо менша за теоретично очікуване значення, а саме половину тиску, що створювали в момент відключення зупинені насоси.

Формула для розрахунку величини стрибкоподібного підвищення тиску на вході НПС, спричиненого зупинкою насосних агрегатів, набуває вигляду

$$\Delta P_{\text{rx}} = k_p \cdot 0,5 \cdot P_0, \quad (2)$$

де k_p – емпіричний коефіцієнт зменшення величини стрибкоподібного підвищення тиску на вході НПС при зупинці насосів, зумовлений впливом низки технологічних чинників; P_0 – тиск, що створювали насосні агрегати до їх зупинки.

Конкретне значення коефіцієнта k_p , як показали дослідження, залежить від десятків чинників, а саме від особливостей трубопровідної об'язки НПС, технічних характеристик зворотних клапанів, типу і кількості насосів, що зупиняються, режимних параметрів перекачування нафти до початку зупинки тощо. Відповідно до даних промислового експерименту для умов експлуатації ділянки вітчизняного нафтопроводу за 2012-2013 рр. дослідні значення цього коефіцієнта знаходились у діапазоні 0,77-0,97. Для прогнозних розрахунків параметрів перехідних процесів у нафтопроводі, спричинених зупинками насосних агрегатів, доцільно приймати максимальне значення $k_p = 0,97$. Ці результати стали базою для подальших досліджень закономірностей поширення хвиль підвищеного тиску в лінійній частині нафтопроводу після зупинки одного чи кількох насосних агрегатів на НПС.

Для визначення фактичної швидкості поширення хвиль тиску в нафтопроводі опрацьовані дані значної кількості промислових експериментів, проведених під час зупинок насосних агрегатів. Згідно з результатами експериментів усереднене значення швидкості поширення хвилі тиску в нафтопроводі становить $c = 1110$ м/с, що на 12 % перевищує значення, розраховане за формулою Жуковського. Це значення слід використовувати при прогнозуванні часу приходу хвиль підвищення чи зниження тиску в довільну точку траси нафтопроводу, який досліджувався.

Для одержання закономірностей зміни тиску в лінійній частині нафтопроводу, спричинених зупинками насосних агрегатів, для певного випадку зупинки насосів будувались графічні залежності тиску від часу, виміряні на кожному із 15 контрольних пунктів. Для прикладу на рисунку 2 наведено результати вимірювання зміни тиску нафти на КП 8, який розміщений на відстані 54 км до НПС 4, на якій відбу-

лось відключення насосного агрегату.

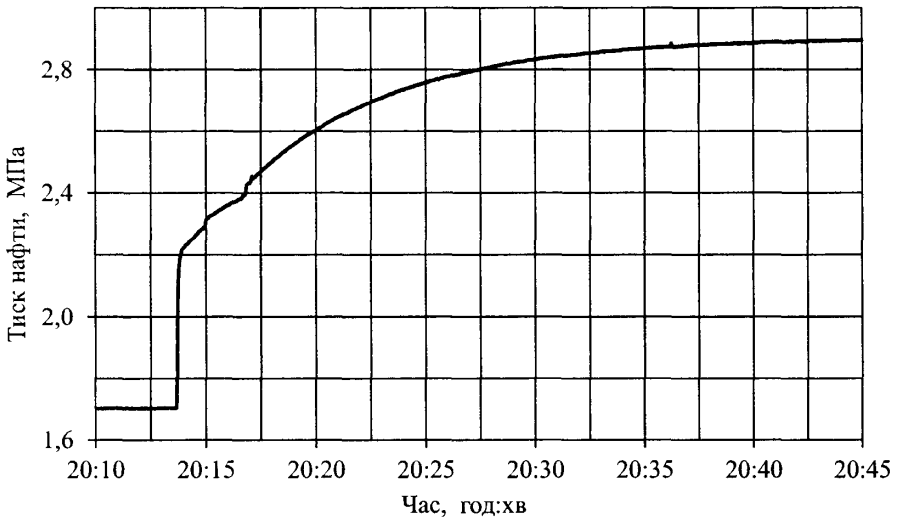


Рисунок 2 – Зміна тиску нафти на відстані 54 км до НПС 4 при зупинці насосного агрегату за результатами експерименту (витрата нафти до зупинки 1689 м³/год)

У результаті експериментальних досліджень виявлена однакова тенденція зміни тиску нафти на лінійній частині нафтопроводу під час перехідного процесу, спричиненого зупинками насосних агрегатів. У момент підходу хвилі підвищеного тиску до контрольного пункту спостерігалось стрибкоподібне зростання тиску нафти, після цього тиск нафти у даному перерізі трубопроводу протягом 25-30 хв повільно зростає, і далі стабілізувався на величині, що відповідає новому усталеному режиму експлуатації нафтопроводу. Чим далі від місця збурення знаходився контрольний пункт, тим менша величина стрибкоподібного підвищення тиску нафти внаслідок затухання перехідного процесу, спричиненого гідравлічними втратами енергії. За дослідними даними для кожного випадку зупинки насосів побудовано графічну залежність величини стрибкоподібного підвищення тиску нафти при перехідному процесі від відстані по трасі трубопроводу до місця відключення насоса (рисунк 3).

Шляхом математичного моделювання з використанням комп'ютерних технологій одержані експоненціальні моделі залежності величини стрибкоподібного підвищення тиску при перехідному процесі від відстані до місця виникнення збурення – зупинки або запуску одного чи кількох насосних агрегатів. Оскільки нафта є реальною рідиною і характеризується в'язкістю, амплітуда хвилі тиску при русі трубопроводом помітно зменшується, що призводить до її затухання.

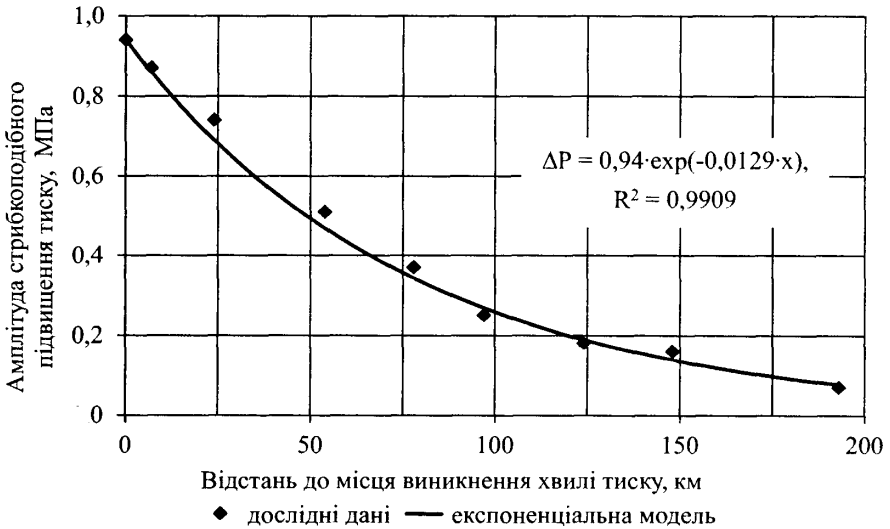


Рисунок 3 – Залежність величини стрибкоподібного підвищення тиску нафти від відстані до НПС 4, де зупинили насосний агрегат, за результатами експерименту (витрата нафти до зупинки 1689 м³/год)

Встановлено, що по мірі просування хвилі підвищеного тиску по частині нафтопроводу, що знаходиться до місця виникнення збурення, амплітуда стрибкоподібного підвищення тиску зменшується за експоненціальним законом

$$\Delta P = \Delta P_n \exp(-K_3 x), \quad (3)$$

де ΔP_n – стрибкоподібне підвищення тиску на вході НПС, де відбулася зупинка одного або кількох послідовно працюючих насосів; K_3 – коефіцієнт затухання хвилі підвищеного тиску; x – відстань по трасі нафтопроводу від місця виникнення збурення тиску до довільної точки траси, що розміщена до точки збурення.

За результатами експериментальних досліджень для конкретної нафтопровідної системи, на якій проводили промислові експерименти, розроблені регресійні моделі для коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску. За відомої швидкості поширення хвилі $c = 1110$ м/с та внутрішнього діаметра трубопроводу $D = 0,702$ м коефіцієнт затухання хвилі підвищеного тиску в нафтопроводі представляли степеневою функцією годинної витрати нафти до початку зупинки Q_{zod} і числа Рейнольдса Re .

Коефіцієнти регресії визначались методом найменших квадратів. Регресійна модель у разі зупинки на НПС одного насосного агрегату має вигляд

$$K_3 = 2,84 \cdot 10^{-4} \frac{Q_{zod}^{0,728}}{Re^{0,153}}. \quad (4)$$

Результати розрахунків коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску в дослідному нафтопроводі за регресійними моделями добре корелюються з результатами опрацювання промислових експериментів. Максимальне відхилення результатів не перевищує $\pm 6\%$. Отже, ці залежності можна застосовувати для розрахунку стрибкоподібних змін тиску при перехідних процесах, спричинених зупинкою чи запуском насосних агрегатів на НПС нафтопроводу, що був об'єктом досліджень.

Шляхом опрацювання даних промислових експериментів одержано закономірність підвищення тиску від часу у довільному перерізі нафтопроводу на заключному етапі перехідного процесу, спричиненого зупинкою насосного агрегату

$$P(x, t) = P_{nc} + (P_{y_{ns}} - P_{nc})[1 - \exp(-\mu t)], \quad (5)$$

де P_{nc} – тиск рідини у довільному перерізі нафтопроводу після стрибкоподібного підвищення ΔP , визначеного за формулою (3); $P_{y_{ns}}$ – тиск нафти у тому ж перерізі нафтопроводу за нового усталеного режиму експлуатації; μ – коефіцієнт математичної моделі,

$$\mu = -\frac{1}{1200} \ln \left(1 - \frac{0,995 P_{y_{ns}} - P_{nc}}{P_{y_{ns}} - P_{nc}} \right). \quad (6)$$

Як зазначалось вище, перший стрибкоподібний і другий заключний, більш повільний, етапи зміни тиску у будь-якому перерізі трубопроводу за перехідного процесу суттєво відрізняються за швидкістю зміни тиску нафти. За результатами промислових експериментів визначена динаміка зміни у часі швидкості підвищення тиску на вході НПС при зупинці одного і двох насосних агрегатів. На рисунку 4 зображена динаміка зміни у часі швидкості підвищення тиску на вході НПС при зупинці одного насоса на першому етапі перехідного процесу. Із рисунка 4 випливає, що протягом 10 с швидкість підвищення тиску на вході НПС зменшується за експоненціальним законом від значення 0,34 до 0,01 МПа/с. На рисунку 5 зображена динаміка зміни у часі швидкості підвищення тиску на вході НПС при зупинці одного насоса на завершальному етапі перехідного процесу. Із рисунка 5 випливає, що протягом 20 хв швидкість підвищення тиску на вході НПС зменшується від $1,8 \cdot 10^{-3}$ МПа/с практично до нуля, що відповідає стабілізації тиску і встановленню нового усталеного режиму роботи нафтопроводу.

Максимальне значення швидкості підвищення тиску під час першого етапу перехідного процесу у випадку зупинки одного насоса майже у 200 разів перевищує аналогічне значення для завершального етапу. Очевидно, що швидкість зміни тиску на вході НПС буде залежати від кількості одночасно зупинених насосів. За одночасної зупинки на НПС двох послідовно працюючих насосів максимальне значення швидкості підвищення тиску під час першого етапу перехідного процесу в 430 разів перевищує аналогічне значення для завершального етапу. Звідси випливає, що значну небезпеку для експлуатації нафтопроводу представляє виключно перший етап перехідного процесу – стрибкоподібне підвищення тиску при зупинці або запуску насосів на НПС.

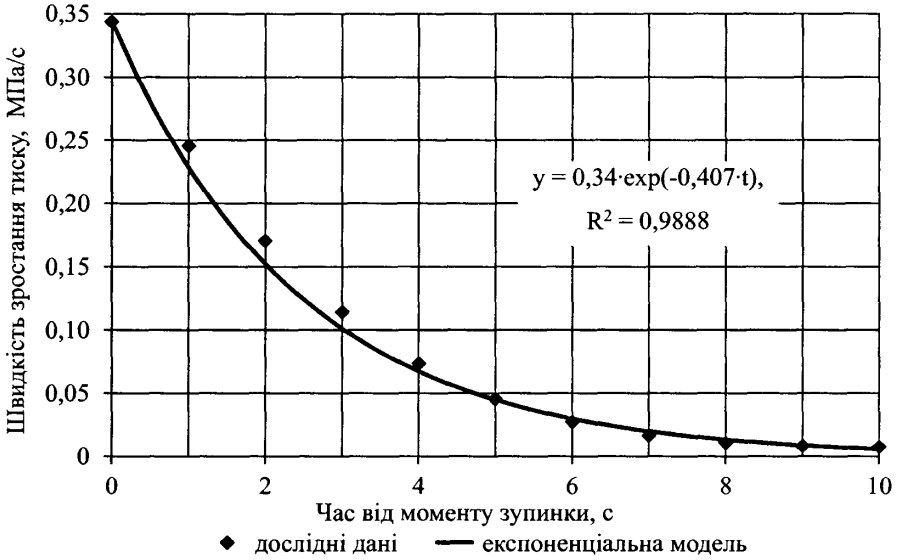


Рисунок 4 – Динаміка зміни швидкості підвищення тиску на вході НПС після зупинки насоса (перший етап перехідного процесу)

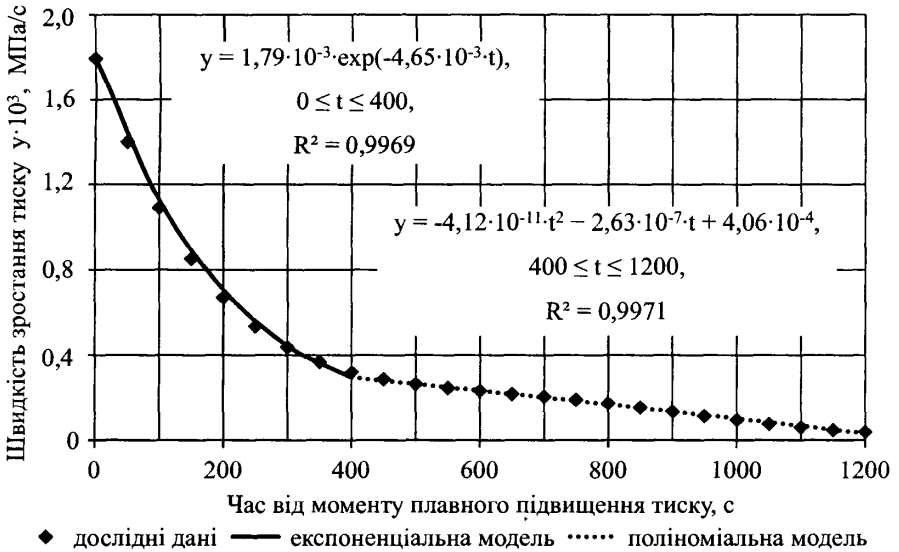


Рисунок 5 – Динаміка зміни швидкості підвищення тиску на вході НПС після зупинки насоса (завершальний етап перехідного процесу)

У процесі експлуатації нафтопроводу виникнення хвилі підвищеного тиску найбільш небезпечно в тих місцях траси, які характеризуються найвищими значеннями робочого тиску нафти. Ці місця знаходяться, в першу чергу, на виході попередніх НПС, що розміщені по трасі до станції, на якій відбулась зупинка насосів. Аналіз розрахунків, виконаних для всієї множини промислових експериментів, підтвердив можливість застосування регресійних моделей для прогнозування підвищення тиску при перехідних процесах в небезпечних точках траси нафтопроводу.

Третій розділ містить результати теоретичних досліджень гідродинамічних процесів у магістральних нафтопроводах за нештатних режимів експлуатації. Оскільки проведення експериментальних досліджень та одержання дослідних значень коефіцієнта затухання хвилі тиску для всіх можливих режимів роботи нафтопроводу є неможливим, то необхідним є виконання теоретичних досліджень, які б дали можливість розробити універсальні залежності коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску від геометричних характеристик трубопроводу, фізичних властивостей транспортованої нафти і режимних параметрів її перекачування.

Математична модель неусталеної течії мало стисливої рідини в трубопроводі базується на застосуванні системи гідродинамічних рівнянь, яку необхідно розв'язати спільно з конкретними початковими і граничними умовами, а також умовами сумісності, що моделюють роботу технологічного обладнання. Оскільки система диференціальних рівнянь не розв'язується аналітично в явному вигляді, для одержання розв'язків необхідно застосовувати ті чи інші числові методи, які реалізуються за допомогою комп'ютерних технологій.

З використанням стандартизованого програмного комплексу виконано математичне моделювання неусталених гідродинамічних процесів, що супроводжують зупинки насосних агрегатів на НПС нафтопроводу. У результаті одержано графічні закономірності стрибкоподібних змін тиску у різних точках траси нафтопроводу під час перехідного процесу, спричиненого зупинками насосних агрегатів на НПС нафтопроводу, що був об'єктом промислового експерименту. Аналіз засвідчив, що тенденції стрибкоподібних змін тиску, одержані теоретично, аналогічні тим, що встановлені дослідним шляхом для всіх нештатних режимів експлуатації нафтопроводу. Для прикладу на рисунку 6 зображено одержані теоретично та визначені експериментальним шляхом графічні закономірності зміни по довжині нафтопроводу величини стрибкоподібного підвищення тиску, спричиненого зупинкою насосного агрегату для режиму експлуатації нафтопроводу, що мав місце 25 квітня 2012 р. Засобами Microsoft Excel виконано математичне моделювання графічних залежностей експоненціальними функціями. Порівняння теоретично прогнозованих і фактично зафіксованих закономірностей стрибкоподібних змін тиску за перехідного процесу, спричиненого зупинкою насоса, засвідчило збіжність результатів для всіх режимів експлуатації нафтопроводу.

З метою одержання узагальнених математичних моделей коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску як функції режимних параметрів і фізичних властивостей нафти для нафтотранспортної системи будь-якого діаметра з використанням комп'ютерного комплексу виконано багатоваріантні гідродинамічні розрахунки модельного нафтопроводу довжиною 100 км.

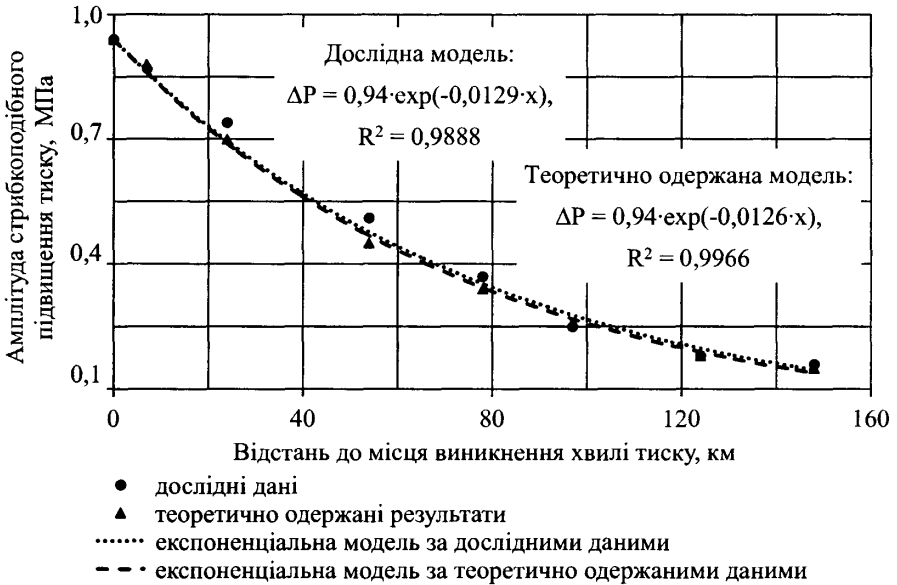


Рисунок 6 – Порівняння теоретично одержаної величини стрибкоподібного підвищення тиску в нафтопроводі з дослідними даними

У процесі досліджень робочу витрату нафти в нафтопроводі змінювали у межах від 450 до 8500 м³/год, розрахункову кінематичну в'язкість варіювали у діапазоні від 10 до 30 сСт. Дослідження проводились для таких значень зовнішніх діаметрів нафтопроводу: 530, 720, 820 та 1020 мм.

У результаті одержано таку формулу для розрахунку коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску в нафтопроводі при зупинці на НПС одного насоса:

$$K_3 = 4,840 \cdot 10^{-3} \frac{Q_{зод}^{1,109}}{c \cdot Re^{0,145} d^{3,25}}, \quad (7)$$

де d – внутрішній діаметр нафтопроводу, м; c – швидкість розповсюдження хвилі тиску в нафтопроводі, м/с.

Аналогічні залежності одержано для випадків одночасної зупинки на НПС двох і трьох послідовно працюючих насосних агрегатів. Для визначення можливості застосування розроблених формул з метою прогнозування стрибкоподібного підвищення тиску при зупинці одного або декількох насосних агрегатів виконано порівняння результатів розрахунків з даними промислових експериментів. Максимальне відхилення результатів не перевищує $\pm 10\%$. У той же час встановлено, що традиційна методика розрахунку параметрів перехідного процесу занижує значення коефіцієнта хвилі затухання хвилі тиску на 36% для зупинки одного насоса та на 21% для зупинки двох насосних агрегатів.

Значна частина вітчизняних нафтопроводів проходить в гірській місцевості і характеризується пересіченим профілем траси. На таких нафтопроводах, окрім напірних, мають місце безнапірні (самопливні) ділянки руху нафти. Часті зміни схем роботи насосів на НПС призводять до суттєвих змін робочої витрати нафти, що в свою чергу спричинює виникнення або ліквідацію самопливних ділянок. Такі нештатні ситуації значно ускладнюють експлуатацію магістральних нафтопроводів.

З метою удосконалення експлуатації нафтопроводів з пересіченим профілем траси проведені теоретичні дослідження особливостей гідродинамічних процесів на самопливних ділянках трубопроводів. Отримана така формула для розрахунку гідравлічного нахилу самопливної ділянки у випадку руху рідини в зоні гідравлічно гладких труб турбулентного режиму:

$$i_c = \frac{2^{5-3m} A}{g} \cdot \frac{v^m Q^{2-m}}{d^{5-m}} \cdot \frac{\varphi^{m+1}}{(\varphi - \sin \varphi)^3}, \quad (8)$$

де A , m – коефіцієнти режиму руху у формулі Блазіуса для коефіцієнта гідравлічного опору; g – прискорення сили тяжіння; v – розрахункова кінематична в'язкість транспортованої рідини; Q – об'ємна витрата рідини; φ – центральний кут, під яким видно заповнену рідиною частину перерізу труби на самопливній ділянці.

Введено поняття коефіцієнта γ , що характеризує інтенсивність втрати енергії транспортованої рідини на самопливній ділянці та є відношенням геометричного нахилу ділянки i_{geom} до гідравлічного нахилу напірної ділянки трубопроводу i_0 .

Для встановлення зв'язку між коефіцієнтом інтенсивності втрат енергії на самопливній ділянці та центральним кутом заповнення перерізу (ступенем заповнення перерізу) розроблено програмне забезпечення та виконані багатоваріантні розрахунки режимів роботи модельного трубопроводу із самопливною ділянкою. При дослідженнях діапазон чисел Рейнольдса становив від 10000 до 300000, геометричні нахили самопливних ділянок вибирались до значення 300 м/км. У результаті одержано розрахункові формули, які з точністю до 2 % описують експоненціальною функцією залежність між центральним кутом заповнення перерізу труби самопливної ділянки, витратою та значенням числа Рейнольдса.

Четвертий розділ присвячений реалізації математичних моделей та розробленню рекомендацій щодо удосконалення технології експлуатації нафтопроводів за нештатних ситуацій. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку параметрів гідродинамічних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів НПС нафтопроводу, що включає такі блоки:

- визначення пропускної здатності та тиску у довільній точці нафтопроводу до зупинки за певної схеми роботи насосних агрегатів і лінійної частини, заданих технологічних обмежень тиску та розрахункових значень властивостей нафти;
- прогнозування зміни тиску на вході і виході НПС, а також у довільній точці траси нафтопроводу за першого та завершального етапів перехідного процесу;
- визначення пропускної здатності і тиску у довільній точці нафтопроводу після завершення перехідного процесу за нової схеми роботи насосних агрегатів.

Виконано апробацію методу шляхом розроблення технологічних карт оптимальних, з точки зору безпечності при виникненні нештатних ситуацій, режимів експлуатації нафтопроводу “Дружба”. Встановлено, що за неповного завантаження нафтопроводу доцільним з точки зору зменшення негативного впливу перехідних процесів є вибір режимів експлуатації, які передбачають роботу одного насоса на всіх НПС або двох насосів на головній НПС і одного насоса на всіх проміжних НПС. За необхідності реалізації режимів перекачування з двома послідовно працюючими на НПС насосами, доцільним є зменшення уставки максимального робочого тиску САР на величину 0,5 МПа, що гарантує забезпечення міцності нафтопроводу у випадку відключення будь-якої проміжної НПС.

Узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей перехідних процесів у нафтопроводі, спричинених зупинками насосів, дало змогу довести, що своєчасне у межах 80 с відключення насоса на попередній НПС дає змогу без будь-яких технічних засобів компенсувати хвилю підвищеного тиску, спричинену зупинкою двох насосів на наступній НПС. Підвищений тиск буде компенсований на виході попередньої НПС і на початковій частині ділянки нафтопроводу, яка характеризується високими робочими тисками. Саме ця частина траси нафтопроводу може бути надійно захищена від перевантажень тиску шляхом оперативного створення зустрічної хвилі пониженого тиску.

За результатами теоретичних досліджень розроблено метод визначення пропускної здатності магістрального нафтопроводу із урахуванням гідравлічного опору безнапірних ділянок. Метод дає змогу в режимі реального часу визначати кількість, положення на трасі і заповнення нафтою самопливних ділянок, створює можливість оперативного контролю матеріального балансу нафти в трубопроводі.

Розроблені методи розрахунку режимів роботи нафтопроводів за нештатних ситуацій успішно апробовані на одній із ділянок магістрального нафтопроводу. Пакет розроблених методів та комп'ютерних програм розрахунку впроваджено на філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ПАТ “Укртранснафта”. Економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи для зазначеної філії становить 350 тис. грн. Авторський внесок в удосконалення технології експлуатації ділянки нафтопроводу Мозир-Броди шляхом мінімізації негативного впливу нештатних ситуацій становить 70 тис. грн.

ВИСНОВКИ

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень вирішена наукова задача підвищення ефективності та надійності експлуатації магістральних нафтопроводів шляхом встановлення закономірностей гідродинамічних процесів, спричинених нештатними ситуаціями, та розроблення рекомендацій щодо мінімізації негативного їх впливу на транспортування нафти, а саме:

1. Встановлено, що процес зупинки насосного агрегату серії НМ не перевищує 80 с і включає два етапи, що характеризуються різною інтенсивністю зменшення обертової частоти. У кінці першого етапу тривалістю до 20 с насос втрачає 90 %

створеного напору і перестас виконувати свою функцію. При відключенні насосів спостерігається стрибкоподібне підвищення тиску на вході НПС і відповідне зменшення тиску на її виході. Максимальна зміна тиску на вході НПС на 3-23 % менша за половину тиску відключених насосів до їх зупинки.

2. При проходженні хвилі підвищеного тиску по нафтопроводу амплітуда стрибкоподібного підвищення тиску зменшується за експоненціальним законом. Коефіцієнт затухання хвилі тиску в нафтопроводі у випадку зупинки одного і кількох послідовно працюючих на НПС насосів можна достовірно виразити як функцію витрати нафти, числа Рейнольдса, в'язкості нафти, діаметра та швидкості поширення збурення. Одержано, що за довжини перегону 100 км амплітуда стрибкоподібного підвищення тиску на вході в попередню НПС не перевищує 0,36 МПа при зупинці одного насоса та 0,54 МПа при зупинці двох насосів.

3. Для нафтопроводів з пересіченим профілем траси одержані аналітичні залежності між геометричними характеристиками траси, пропускною здатністю, кількістю самопливних ділянок, місцем їх виникнення та ступенем заповнення нафтою. Доведено, що ступінь заповнення безнапірної ділянки нафтою однозначно визначається значенням коефіцієнта інтенсивності втрати енергії на ній. Позакано, що регулюючи кількість працюючих насосів на НПС, можна добитися зменшення кількості та довжини самопливних ділянок і тим самим зменшити вплив нештатних ситуацій на надійність експлуатації нафтопроводів.

4. Результати теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей експлуатації нафтопроводів при нештатних ситуаціях представлені у вигляді математичних моделей, алгоритмів та комп'ютерних програм. Результати розрахунку параметрів нештатних ситуацій за розробленими моделями з точністю до $\pm 6\%$ співпадають з даними промислових експериментів на вітчизняному нафтопроводі.

5. На базі створених моделей та методів розрахунку розроблені рекомендації щодо зменшення негативного впливу нештатних ситуацій на ефективність та надійність експлуатації системи магістральних нафтопроводів "Дружба". Доведено, що вибір конкретних схем роботи насосів, коригування уставок максимальних тисків, створення зустрічної хвилі пониженого тиску з попередньої НПС дають змогу мінімізувати негативний вплив нештатних ситуацій на процес транспортування нафти, забезпечуючи безаварійну експлуатацію нафтопроводу. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень та використання розробок складає 350 тис. грн. Авторський внесок в удосконалення технології експлуатації нафтопроводу Мозир-Броди з урахуванням нештатних ситуацій становить 70 тис. грн.

Основний зміст роботи опубліковано у таких працях:

1. Середюк М. Д. Експериментальні дослідження перехідних процесів у магістральних нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів / М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2013. - № 2 (35). - С. 16-29.

2. Григорський С. Я. Результати експериментальних досліджень закономірностей гідродинамічних процесів у нафтопроводі за зміни кількості працюючих насосних агрегатів // С. Я. Григорський, М. Д. Середюк / Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2014. - № 1 (50). - С. 161-172.

3. Григорський С. Я. Дослідження впливу зупинок насосних агрегатів на режим роботи магістральних нафтопроводів // С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2014. - № 1 (36) - С. 92-102.

4. Середюк М. Д. Закономерности изменения давления в нефтепроводах при остановках насосных агрегатов / М. Д. Середюк, С. Я. Григорский // Нефтяное хозяйство. - 2015. - № 2 - С. 100-104. [фахове видання включене до міжнародної наукометричної бази Scopus].

5. Григорський С. Я. Методика розрахунку гідродинамічних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів магістрального нафтопроводу // С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2014. - № 4 (53). - С. 65-71.

6. Григорський С. Я. Методи зменшення негативного впливу перехідних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів, на режими експлуатації нафтопроводу // С. Я. Григорський / Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2014. - № 2 (37) - С. 128-139.

7. Григорський С. Я. Визначення положення та ступеня заповнення самопливних ділянок магістральних трубопроводів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2012. - № 4 (45). - С. 198-209.

8. Середюк М. Д. Дослідження залежності ступеня заповнення самопливних ділянок від витрати і режиму руху нафти в трубопроводі // М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Нафтогазова енергетика: всеукр. наук.-техн. журн. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. - 2014. - № 2 (22). - С. 98-104.

9. Григорський С. Я. Визначення пропускної здатності магістральних нафтопроводів з урахуванням гідравлічного опору самопливних ділянок // С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2014. - № 3 (52) - С. 116-127.

10. Григорский С. Я. Определение положения и степени заполнения самотечных участков магистральных трубопроводов / С. Я. Григорский, М. Д. Середюк // Материалы VII Международной учебно-научно-практической конференции “Трубопроводный транспорт – 2011”. - Уфа: Уфимский государственный технический университет, 2011. - С. 100-102.

11. Григорский С. Я. Сравнение методик расчета степени заполнения самотечных участков магистральных трубопроводов / С. Я. Григорский, М. Д. Середюк // Материалы VIII Международной учебно-научно-практической конференции “Трубопроводный транспорт – 2012”. - Уфа: Уфимский государственный технический университет, 2012. - С. 344-346.

12. Григорський С. Я. Порівняльний аналіз методик розрахунку ступеня заповнення самопливних ділянок магістральних трубопроводів // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів “Техніка і прогресив-

ні технології у нафтогазовій інженерії - 2012". - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. - С. 67-69.

13. Григорський С. Я. Дослідження закономірностей перехідних процесів в діючих нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика - 2013". - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - С. 482-486.

14. Григорский С. Я. Математическое моделирование коэффициента затухания волн повышенного давления, вызванных остановками насосных агрегатов / С. Я. Григорский, М. Д. Середюк // Материалы IX Международной учебно-научно-практической конференции "Трубопроводный транспорт – 2013". - Уфа: Уфимский государственный технический университет, 2013. - С. 47-49.

15. Середюк М. Д. Исследования влияния остановок насосных агрегатов на эксплуатационную надежность нефтепроводов / М. Д. Середюк, С. Я. Григорский // Материалы VIII Международной научно-технической конференции "Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта". - Новополоцк: УО "Полоц. гос. ун-т", 2014. - С. 58-60.

16. Середюк М. Д. Методика оперативного контролю балансу транспортованої рідини в рельєфному магістральному трубопроводі / М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи" - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. - С. 241-243.

АНОТАЦІЯ

Григорський С. Я. – Удосконалення технології експлуатації нафтопроводів з урахуванням нештатних ситуацій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2015.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень вирішена наукова задача підвищення ефективності та надійності експлуатації магістральних нафтопроводів шляхом мінімізації негативного впливу нештатних ситуацій.

Проведено експериментальні дослідження гідродинаміки перехідних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів на нафтоперекачувальних станціях (НПС) нафтопроводу. Встановлені закономірності зміни обертової частоти вала насосних агрегатів типу НМ у часі в процесі їх зупинки. Визначена фактична швидкість розповсюдження хвилі тиску нафтопроводом під час перехідного процесу. Встановлені закономірності зміни тиску в часі у довільному перерізі нафтопроводу на початковому та завершальному етапах перехідного процесу. Досліджена динаміка зміни швидкості зростання тиску на вході НПС при зупинці одного та двох насосних агрегатів на всіх етапах перехідного процесу.

Виконано математичне моделювання неусталених гідродинамічних процесів, що супроводжують зупинки насосних агрегатів на НПС. Одержано узагальнені регресійні моделі для розрахунку коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску в

нафтопроводі при зупинці на НПС одного, двох і трьох насосних агрегатів.

Створено пакет алгоритмів та комп'ютерних програм для розрахунку параметрів експлуатації нафтопроводу з урахуванням нештатних ситуацій. Розроблено рекомендації щодо зменшення негативного впливу перехідних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів на НПС, та рекомендації щодо удосконалення експлуатації ділянок нафтопроводів з пересіченим профілем траси.

Ключові слова: зупинка насосного агрегату, неусталений гідродинамічний процес, хвиля підвищеного тиску, швидкість поширення хвилі тиску, коефіцієнт затухання хвилі тиску, самопливна ділянка, ступінь заповнення перерізу труби, нештатна ситуація.

АННОТАЦІЯ

Григорский С. Я. – Усовершенствование технологии эксплуатации нефтепроводов с учетом нештатных ситуаций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2015.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованных источников и приложений.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований решена научная задача повышения эффективности и надежности эксплуатации магистральных нефтепроводов путем установления закономерностей гидродинамических процессов, вызванных нештатными ситуациями, разработаны рекомендации по уменьшению отрицательного их влияния на транспортирование нефти.

Во введении обоснована актуальность темы, показана связь работы с научными программами, определены цель и задачи исследования, сформулированы научные положения, научная новизна и практическая ценность работы.

В первом разделе проведен анализ литературных источников по вопросам методологии расчетов нефтепроводов при нештатных режимах эксплуатации. Приведена характеристика неустановившихся нештатных режимов перекачивания нефти в нефтепроводах, связанных, прежде всего, с различными технологическими операциями, осуществляемыми в процессе перекачивания нефти. Выполнен анализ методов расчета переходных процессов, вызванных остановками насосных агрегатов на нефтеперекачивающих станциях (НПС) магистральных нефтепроводов, а также методов расчета параметров работы магистральных нефтепроводов с безнапорным движением жидкости. Приведена характеристика современного состояния системы нефтепроводов Украины.

Второй раздел посвящен экспериментальным исследованиям гидродинамических процессов в магистральных нефтепроводах при нештатных режимах эксплуатации. Установлены закономерности изменения частоты вращения, созданного насосом давления, а также величины скачкообразного повышения давления нефти

на входе НПС во время остановки нефтяных насосных агрегатов серии НМ. Определена фактическая скорость распространения волны давления по нефтепроводу во время переходного процесса. Установлены закономерности изменения давления во времени на входе и выходе из НПС, где имела место остановка насосных агрегатов, и в произвольном сечении нефтепровода на начальном и заключительном этапах переходного процесса. По результатам промышленных экспериментов определена динамика изменения во времени скорости повышения давления на входе НПС при остановке одного и двух насосных агрегатов.

Третий раздел содержит результаты теоретических исследований гидродинамических процессов в магистральных нефтепроводах при нештатных режимах эксплуатации. С использованием стандартизированного программного комплекса выполнено математическое моделирование неустановившихся гидродинамических процессов, сопровождающих остановки насосных агрегатов на НПС нефтепровода. Получены обобщенные математические модели коэффициента затухания волны повышенного давления в виде функции режимных параметров и физических свойств нефти для магистрального нефтепровода любого диаметра. С целью усовершенствования эксплуатации нефтепроводов с пересеченным профилем трассы проведены теоретические исследования особенностей гидродинамических процессов на самотечных участках трубопроводов. В результате получены расчетные формулы, которые с точностью до 2 % описывают экспоненциальной функцией зависимость между центральным углом заполнения сечения трубы самотечного участка, объемным расходом и значением числа Рейнольдса.

Четвертый раздел посвящен реализации математических моделей и разработке рекомендаций по совершенствованию технологии эксплуатации нефтепроводов при нештатных ситуациях. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработан метод расчета параметров гидродинамических процессов, вызванных остановками насосных агрегатов НПС нефтепровода. Предложен метод определения пропускной способности магистрального нефтепровода с учетом гидравлического сопротивления безнапорных участков. Метод дает возможность в режиме реального времени определять количество, положение на трассе и заполнение нефтью самотечных участков, создает возможность оперативного контроля материального баланса нефти в трубопроводе.

Ключевые слова: неустановившийся гидродинамический процесс, волна повышенного давления, скорость распространения волны давления, коэффициент затухания волны давления, скачкообразное повышение давления, самотечный участок, степень заполнения сечения трубы, нештатная ситуация.

ABSTRACT

Ryhorskyi S. Y. – Improving the technology of oil exploitation on the basis of abnormal situations. – Manuscript.

Dissertation for the scientific doctor degree of technical sciences (engineering); speciality 05.15.13 – Pipeline transport. Ivano-Frankivsk National



an2534

Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2015.

According to the results of theoretical and experimental research solved a scientific problem of improving the efficiency and reliability of main oil pipelines by minimizing the negative impact of abnormal situations.

Experimental studies of hydrodynamics transients caused by stops pumping units for oil pumping stations (OPS) oil pipeline. The established patterns of change rotary frequency of the shaft type pump units OM in time during their stop. Determined actual velocity of the pressure wave pipeline during the transition process. The established patterns of pressure changes over time in any section of the pipeline at the initial and final stages of the transition process. The dynamics of changes in the rate of growth NPS inlet pressure when you stop one and two pumping units at all stages of the transition process.

Done mathematical modeling of unsteady hydrodynamic processes that accompany stops pumping units on the OPS. Obtain generalized regression models for the calculation of the pressure wave attenuation in the oil pipeline at a stop on the OPS one, two and three pump units.

A package of algorithms and computer programs for calculating the parameters of operation of the pipeline on the basis of abnormal situations. Recommendations to reduce the negative effects of transients caused by stops pumping units on the OPS and recommendations for improving the operation of sections of the pipeline crossed the road profile.

Key words: stop pumping unit, unstable hydrodynamic process, the pressure wave, the speed of propagation pressure damping pressure waves, flowing section, the degree of filling pipe section, abnormal situation.