

Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

УДК 622.691.4

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

М.Д.Середюк, В.Я.Грудз

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166
tzn g@n u n g . e d u . u a

Обобщены результаты исследований ученых факультета нефтегазопроводов ИФНТУНГ, направленные на повышение эффективности и уменьшения энергоемкости процессов транспорта и хранения нефти, нефтепродуктов и газа

The results of research of scientific of facility of oil and gas pipelines are summarized. This work is directed for increasing of effectiveness and decreasing energy intensity of transportation and storage of oil and gas.

Наукові дослідження вчених факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу скеровані на створення наукових і методологічних основ підвищення ефективності та зменшення енерговитратності технологічних процесів транспортування та зберігання нафти, нафтопродуктів і газу.

Система магістральних та розподільних нафтопроводів і газопроводів, мережа підземних сховищ газу та нафтобаз відіграють надзвичайно важливу роль у газонафтопостачанні України.

Трубопровідний транспорт нафти відноситься до енергоємних виробництв. На сьогодні магістральні нафтопроводи України працюють зі значним недовантаженням, що змушує реалізувати на них режими роботи, які далекі від оптимальних. Робота насосів при малих подачах характеризується низькими коефіцієнтами корисної дії, що суттєво збільшує витрати електроенергії на транспортування нафти. Особливістю сучасних нафтопроводів є складна гідравлічна структура і різноманітність типорозмірів роторів насосів. Останнє дає можливість реалізувати десятки або навіть сотні різних варіантів роботи нафтопроводів, які різняться пропускною здатністю і енергетичними витратами. Тому актуальними є питання оптимізації

режимів роботи нафтопроводів за критерієм мінімальних витрат електроенергії. З питаннями оптимізації режимів роботи нафтопроводів тісно пов'язано питання нормування питомих витрат електроенергії на транспортування нафти, яке є конкретним заходом з енергозбереження у трубопровідному транспорті нафти.

Враховуючи актуальність проблеми, науковцями факультету розроблена методика нормування питомих витрат електроенергії на транспортування нафти по магістральних нафтопроводах.

Методика і відповідне програмне забезпечення призначені для проведення гідродинамічних та оптимізаційних розрахунків з метою нормування витрат електроенергії на транспортування нафти магістральними нафтопроводами. Дана методика передбачає:

– визначення фактичних напірних та енергетичних характеристик насосних агрегатів шляхом обробки статистичної інформації;

– знаходження гідравлічної ефективності лінійної частини трубопроводів за даними диспетчерських служб;

– прогнозування пропускної здатності нафтопроводів для різних схем роботи насосних агрегатів і лінійної частини з врахуванням сезонних змін умов перекачування;

– оптимізацію режимів роботи нафтопроводів за критерієм мінімальних енерговитрат на перекачування нафти;

– розрахунок науково обґрунтованих питомих норм витрат електроенергії на транспортування нафти.

Розробка оформлена у вигляді Стандарту підприємства, затверджена в НАК “Нафтогаз України” та Держкомітеті з енергозбереження і впроваджується на нафтопроводах ВАТ “Укртранснафта”.

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

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

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

Покращання транспортабельних властивостей малов'язких нафт за механізмом дії принципово відрізняється від покращання транспортабельних властивостей високов'язких нафт. Ефективним способом впливу на реологічні властивості малов'язких нафт є додавання до них протитурбулентних присадок, які дають змогу гасити турбулентні завихрення потоку і

тим самим помітно зменшують енерговитратність перекачування. В Україні на магістральному нафтопроводі Снігурівка – Одеса вже декілька років реалізується технологія перекачування російської нафти сорту Urals з додаванням протитурбулентної присадки “Liquid Power”TM виробництва компанії “Коноко”. Незважаючи на практичне використання, на сьогодні метод транспортування малов'язких нафт із протитурбулентними присадками ще недостатньо вивчений, немає чіткої картини впливу присадок на реологічні властивості нафт, відсутні методи розрахунку гідродинаміки нафтопроводу, що транспортує нафту з додаванням присадки.

Одним із наукових напрямів кафедри транспорту і зберігання нафти і газу є розробка методів оцінювання впливу реологічних характеристик малов'язких і високов'язких нафт на їх транспортабельні властивості та енерговитратність трубопровідного транспорту.

Дослідження реологічних властивостей долинської нафти з додаванням депресатора та розріджувача, а також російської нафти з додаванням протитурбулентної присадки проведені експериментальним методом з використанням ротаційного віскозиметра «Реотест2».

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено взаємозв'язок між реологічними властивостями високов'язких і малов'язких нафт та енерговитратністю їх перекачування магістральними нафтопроводами. При цьому вперше отримано низку нових наукових результатів:

– встановлені експериментальним шляхом закономірності зміни реологічних характеристик високов'язкої долинської нафти з додаванням депресатора та розріджувача у широкому діапазоні температур та концентрацій;

– доведено, що додавання депресатора і розріджувача суттєво зменшує діапазон температур, в якому проявляються в'язкопластичні властивості долинської нафти. Це покращує транспортабельні властивості долинської нафти, помітно зменшуючи енерговитратність її трубопровідного транспорту;

– експериментальним шляхом встановлено закономірності впливу протитурбулентної присадки на реологічні характеристики малов'язкої російської нафти у широкому діапазоні температур і концентрації присадки;

– запропоновано математичну модель коефіцієнта гідравлічного опору нафтопроводу при перекачуванні малов'язкої нафти з додаванням протитурбулентної присадки, яка дає змогу оцінити ефект зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту;

– розроблено математичні моделі коригуючих коефіцієнтів, що пов'язують між собою покращання реологічних характеристик в'язкопластичних рідин та ефект зменшення гідравлічного опору та енерговитратності їх трубопровідного транспорту.

Практичне значення отриманих результатів таке:

– на основі дослідних даних розраховано значення коефіцієнтів реологічної моделі Шве-

дова-Бінгама для долинської нафти з додаванням депресатора та розріджувача у робочому діапазоні температур; розроблено емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долинської нафти з додаванням депресатора та розріджувача від температури для робочої зони концентрації добавок;

– на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику та програмне забезпечення, що дають змогу оцінити вплив покращання реологічних властивостей високов'язкої долинської нафти на теплогідравлічні та енергетичні параметри роботи нафтопроводів;

– розроблено методику та програмне забезпечення для визначення гідродинамічних та енергетичних параметрів роботи нафтопроводу, що перекачує малов'язку нафту з додаванням протитурбулентних присадок;

– за результатами досліджень розроблено рекомендації щодо зменшення енерговитратності та запобігання «заморожуванню» нафтопроводу Долина-Надвірна при перекачуванні високов'язкої долинської нафти.

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

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

основ неізотермічного перекачування рідин з аномальними реологічними властивостями.

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

Враховуючи актуальність тематики, одним і з напрямів наукової роботи кафедри транспорту і зберігання нафти і газу є підвищення ефективності функціонування неізотермічних нафтопроводів шляхом розробки методів прогнозування теплогідравлічних параметрів їх роботи, які враховують реологічні особливості високов'язких нафт Прикарпаття.

Дослідження реологічних властивостей долинської нафти проведено експериментальним методом з використанням ротаційного віскозиметра "Реотест-2". У результаті виконання експериментальних та теоретичних досліджень одержано такі результати:

– встановлено експериментальним шляхом закономірності зміни реологічних характеристик високов'язких нафт Долинського родовища у широкому діапазоні температур. Доведено, що реологічна характеристика долинської нафти за температур, нижчих 50°C, адекватно описується реологічною моделлю Шведова-Бінгама;

– розроблено аналітичний метод визначення за даними дослідів значень коефіцієнтів реологічної моделі Шведова-Бінгама у робочому діапазоні температур; одержано емпіричні моделі залежності граничного динамічного напруження зсуву і пластичної в'язкості долинської нафти від температури;

– запропоновано універсальну математичну модель для коефіцієнта гідравлічного опору в неізотермічному нафтопроводі, яка забезпечує одержання адекватних результатів у всіх зонах тертя турбулентного режиму і дає змогу врахувати зміну коефіцієнтів режиму руху у кожному перерізі неізотермічного трубопроводу;

– виявлено закономірності неізотермічного усталеного руху рідини у трубопроводі з врахуванням таких чинників: внутрішнього тепла тертя потоку, прихованої теплоти кристалізації парафіну, зміни у кожному перерізі трубопроводу режиму руху та реологічних властивостей транспортованої нафти;

– досліджено шляхом математичного моделювання на комп'ютері вплив низки чинників на величину повного коефіцієнта теплопередачі від високов'язкої нафти в навколишнє середовище, запропоновано аналітичні залежності для розрахунку зазначеного коефіцієнта стосовно нафтопроводу Долина-Дрогобич;

– доведено, що при перекачуванні високов'язкої долинської нафти гідравлічна характеристика нафтопроводу має аномальний вигляд, суттєво відмінний від характеристики ізотермічного трубопроводу. Внаслідок цього суміщенна характеристика „нафтоперекачувальна станція (НПС) – нафтопровід” може мати дві чи одну робочу точку або взагалі не мати робочої точки; режим перекачування, який відповідає зоні стійкої роботи, може бути забезпечений при повному завантаженні нафтопроводу.

Практичне значення отриманих результатів таке:

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

– на базі удосконаленої математичної моделі створено пакет методик і програм для проведення теплогідравлічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні рідин, які характеризуються ньютонівськими властивостями;

– на базі дослідних реологічних моделей долинської нафти розроблено універсальні методика та програмне забезпечення для проведення теплогідравлічних розрахунків неізотермічного нафтопроводу при перекачуванні рідин, які у певному діапазоні температур характеризуються ньютонівськими властивостями, а в іншому діапазоні – неньютонівськими реологічними властивостями;

– запропоновано методику визначення миттєвої пропускної здатності неізотермічного нафтопроводу при послідовному перекачуванні нафт, що характеризуються неньютонівськими реологічними властивостями;

– за результатами досліджень розроблено рекомендації щодо запобігання “заморожування” та підвищення ефективності функціонування нафтопроводу Долина-Дрогобич.

Тривалий час на кафедрах факультету нафтогазопроводів проводяться теоретичні та експериментальні дослідження турбулентності газових і рідинних потоків, в процесі яких конкретизуються наукові уявлення про структуру турбулентного потоку, характер розподілу локальних швидкостей в рідинних і газових потоках великого діаметра, формування і розвиток турбулентної структури на початкових ділянках рідинних потоків, характер в'язкого тертя на границі ламінарного шару і турбулентного ядра. Досліджувався вплив параметрів трубопроводу та характеристик рідини чи газу на кінематику потоку.

Проведені фундаментальні дослідження дали змогу вирішити низку важливих проблем нафтогазової гідромеханіки. Так, розв'язано задачу про характер перетоків через тверду пружну границю в трифазному потоці, спрочинених формуванням епіюр турбулентних швидкостей в рідкій фазі. Це дало можливість оптимізувати процес очищення трубопроводів механічними очисними засобами, створити ряд нових конструкцій очисних пристроїв, скоротити об'єм суміші різносортних нафтопродуктів при послідовному їх перекачуванні трубопроводом.

Дослідження впливу фізичних властивостей рідин на характер формування структури турбулентного потоку покладено в основу розробки методу послідовного перекачування нафтопродуктів з рідинними роздільниками, що дає суттєву економію шляхом скорочення втрат від пересортування товарних нафтопродуктів. Процес послідовного перекачування різносортних рідин в трубопроводі обов'язково супроводжується їх взаємним змішуванням, що суттєво впливає на гідродинамічні процеси і зміну показників якості транспортованих продуктів. Інтенсивність сумішоутворення в трубопроводі визначається характеристиками турбулентного потоку, які в свою чергу залежать від властивостей транспортованих рідин.

Комплексним параметром, що характеризує інтенсивність сумішоутворення рідин, є ефективний коефіцієнт дифузії. У результаті експериментальних та теоретичних досліджень розроблено математичні моделі для ефективного коефіцієнта дифузії з врахуванням параметрів турбулентного потоку. Досліджений вплив в'язкості послідовно транспортованих рідин на інтенсивність їх сумішоутворення. Запропоновано математичні моделі для опису процесів турбулентної дифузії в трубопроводі з врахуванням несиметричності і фізичної обмеженості розмірів “голови суміші”.

З метою збереження якості послідовно транспортованих продуктів запропоновано використання рідинних роздільників. Роздільником може бути одна чи декілька рідин, що за своїми властивостями більш сумісні з кожним транспортованим продуктом, ніж між собою.

Досліджений механізм масопереносу при закачуванні в контакт послідовно транспортованих рідин однієї чи декількох пробок із буферних продуктів. Одержано закономірності розподілу концентрацій двох і багатоконпонентних сумішей по довжині зони змішування з врахуванням характеристик турбулентного потоку, фізико-хімічних властивостей транспортованих рідин. Досліджено вплив неізотермічності на інтенсивність утворення та якісні показники багатоконпонентних рідинних сумішей.

Ці теоретичні та експериментальні дослідження стали базою розробки технології послідовного перекачування світлих нафтопродуктів з рідинними роздільниками. Розроблено методику приймання багатоконпонентної суміші в кінці трубопроводу. Виконана оптимізація об'ємів рідинних роздільників за критерієм макси-

мального збереження якості транспортованих нафтопродуктів. Запропоновано формули для мінімальних об'ємів партій нафтопродуктів та оптимальної циклічності послідовного перекачування.

У результаті досліджень розроблений методико-програмний комплекс для технологічних розрахунків трубопроводів складної конфігурації, що транспортують різносортні нафти або нафтопродукти методом послідовного перекачування. Комплекс включає пакет методик і програм, що дають можливість виконувати проектні або експлуатаційні технологічні розрахунки транспортно-розподільних мереж складної конфігурації.

Методико-програмний комплекс містить:

- методику багатоваріантних гідравлічних розрахунків трубопроводної системи для різних варіантів роботи відводів;

- методику математичного моделювання характеристик насосів перекачувальних станцій за статистичними даними фактичних режимів їх роботи;

- методику математичного моделювання процесу сумішоутворення нафти або нафтопродуктів при їх послідовному перекачуванні у рельєфних трубопроводах;

- методику розрахунку параметрів послідовного перекачування різносортних нафт або нафтопродуктів у розгалужених трубопроводних системах при прямому контактуванні рідин і при застосуванні рідинних роздільників;

- методику оптимізації параметрів циклічного послідовного перекачування різносортних нафт або нафтопродуктів в трубопроводах складної конфігурації при їх неповному завантаженні.

Сферою використання розробки є проектні організації та виробничі підприємства, що здійснюють проектування або експлуатацію магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів.

Використання розробки при технологічному проектуванні трубопроводів зменшує тривалість і вартість проектних робіт, підвищує якість проектних розробок, забезпечує закладання перспективних технологій трубопроводного транспорту нафти або нафтопродуктів вже на етапі проектування об'єкту.

Впровадження методико-програмного комплексу на діючих трубопроводних системах дасть можливість оптимізувати режими перекачування нафти і нафтопродуктів, на 5-10 відсотків зменшить енергоємність транспортування, створить гарантії збереження якості послідовно транспортованих нафтових енергоносіїв.

Закономірності тепломасопереносу в процесі послідовного перекачування різносортних рідин використані при розробці математико-економічної моделі розгалуженого нафтопродуктопроводу як транспортно-розподільної системи, що здійснює транспортування і розподіл споживачам широкого спектру нафтових палив. Розроблено методику оптимізації параметрів розгалужених нафтопродуктопроводів. Вона дає змогу оптимізувати нафтопродуктопровідні

системи з телескопічною структурою основної магістралі, вводить технологічні обмеження швидкості руху рідини на ділянках трубопроводу, враховує вплив шляхових відборів нафтопродуктів на режим послідовного перекачування, дає змогу визначити оптимальну циклічність та відповідний об'єм резервуарної ємності. Досліджений вплив розподільної функції (частки шляхового відбору) на величину технологічних параметрів та техніко-економічні показники транспортно-розподільних систем. Математико-економічна модель розгалуженої нафтопродуктопроводної системи реалізована у вигляді оптимізаційного алгоритму та пакету прикладних програм для персональних комп'ютерів.

Процеси транспортування, зберігання та розподілу нафти і нафтопродуктів неминуче пов'язані з втратами вуглеводнів. Величина природних втрат нафти і нафтопродуктів залежить від багатьох факторів, в першу чергу – від досконалості технологічних процесів, температурних умов, за яких вони реалізуються, та фізико-хімічних властивостей нафти і нафтопродуктів. В умовах гострого дефіциту вуглеводневих енергоносіїв проблема науково обґрунтованого нормування втрат нафти і нафтопродуктів є надзвичайно актуальною. За останні роки почастішали випадки кримінальних відборів нафти і нафтопродуктів, які нерідко супроводжуються пошкодженнями трубопроводів та резервуарів. Тому дуже важливим питанням є розмежування об'єктивних природних втрат вуглеводнів при транспортуванні та зберіганні і втрат, що викликані суб'єктивними факторами (безвідповідальність персоналу, кримінальні відбори з трубопроводів, резервуарів тощо).

Значна частка від загальних втрат має місце в процесах зберігання та реалізації нафти і нафтопродуктів. Існуюча нормативна база з даних питань морально застаріла, не прив'язана до температурних умов України, базується на застарілій технології і техніці зберігання нафти і нафтопродуктів, не враховує особливостей ринкової економіки. В Україні при визначенні викидів розрахунковим шляхом для технологічних процесів однієї спрямованості використовуються різноманітні методології розрахунку, внаслідок чого результати розрахунку мають різний ступінь достовірності і не піддаються співставленню. Суттєво відрізняються методології проведення інвентаризації викидів, що призводить до розбіжностей в їх оцінюванні. На міжнародному рівні спроби гармонізації правил інвентаризації викидів між різними міжнародними організаціями – Європейською Комісією, Економічною Комісією ООН для Європи, Міжурядовою групою експертів по зміні клімату (МГЕЗК), Евростатом, Міжнародним Енергетичним Агентством і іншими – продовжуються впродовж тривалого часу. Одночасно з цим ведеться робота щодо вдосконалення методології оцінки викидів з різних джерел. Тому актуальною є розробка науково обґрунтованих методів нормування втрат нафти і нафтопродуктів у процесах їх транспортування і зберігання.

Впродовж 2005-2006 рр. кафедрою транспорту і зберігання нафти і газу велися дослідження з метою вдосконалення методик інвентаризації викидів вуглеводнів із резервуарів нафтоперекачувальних станцій, визначення компонентного складу та характеристик газоповітряних сумішей, що надходять в атмосферне повітря під час різного виду «дыхань» резервуарів. На підставі проведених досліджень було розроблено і затверджено в Міністерстві охорони навколишнього природного середовища України:

– Методику визначення показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час транспортування та зберігання нафти в резервуарних парках ВАТ «Укртранснафта»;

– Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час транспортування та зберігання нафти в резервуарних парках ВАТ «Укртранснафта».

Розроблені нормативні документи дають змогу на підставі доступної персоналу об'єктів магістральних нафтопроводів інформації (характеристика резервуарів, режим їх роботи, оснащення засобами скорочення втрат, фізичні властивості транспортованої нафти та ін.) розраховувати питомі (на тонну нафти, що перекачується) викиди вуглеводнів, у тому числі метану та неметанових летких органічних сполук.

Отримані за допомогою питомих показників викидів валові викиди забруднюючих речовин можуть використовуватись у таких випадках:

– при довгостроковому плануванні і розробці заходів із зниження обсягів викидів парів нафти з резервуарів;

– при визначенні питомих капітальних вкладень та експлуатаційних затрат на заходи з охорони довкілля від забруднень;

– при проведенні галузевого обліку;

– при складанні державної звітності;

– при стягненні зборів за забруднення атмосферного повітря.

Газотранспортна система України, друга за потужністю у Європі після російської, виконує важливі функції транзитних поставок природного газу в Європу, а також забезпечення газом вітчизняних споживачів. Вона зв'язана із газотранспортними системами сусідніх європейських країн і через них інтегрована в загальноєвропейську газову мережу. Основний потік експортних поставок російського газу здійснюється якраз територією України, при цьому наявна газотранспортна система здатна забезпечити транзит зростаючих обсягів газу.

На сьогодні одним із важливих завдань у сфері трубопровідного транспорту газу є оцінювання фактичної пропускної здатності газотранспортних систем із врахуванням реального технічного стану та розробка рекомендацій щодо збільшення їх транспортних можливостей та зменшення енергоємності технологічних процесів.

Системи трубопровідного транспорту газу належать до надскладних технічних систем і

включають велику кількість елементів, які газодинамічно пов'язані між собою. Сучасні газотранспортні системи мають складну геометричну конфігурацію (різні діаметри експлуатаційних ділянок, наявність кількох ниток з перемичками, наявність лупінгів, відводів до споживачів тощо). Компресорні станції газопроводів оснащені різними типами відцентрових нагнітачів та газотурбінних установок. Тому на протяжних кільканиткових газопроводах можуть бути реалізовані сотні варіантів їх роботи, що різняться як схемами роботи лінійної частини (включення чи відключення окремих ниток, лупінгів, відводів, перемичок між нитками тощо), так і схемою роботи газоперекачувальних агрегатів на кожній КС. Кожному варіанту роботи складної газотранспортної системи відповідає певний розподіл потоків газу між нитками газопроводів, певна пропускна здатність системи загалом і певні енергетичні витрати на транспортування газу. Задана транспортна робота може бути виконана шляхом реалізації не одного, а множини технологічно можливих варіантів роботи газопроводу. Тому виникає проблема знаходження оптимальних режимів роботи складних газотранспортних систем. Враховуючи пріоритетність для економіки України проблем ресурсоенергозбереження, як критерій оптимізації режимів роботи складних газотранспортних систем доцільно вибрати мінімальні енерговитрати на транспортування природного газу по магістральних газопроводах.

Для вирішення зазначеної мети необхідно розробити методологію та обчислювальні алгоритми для визначення пропускної здатності, розподілу потоків газу та визначення режимних та енергетичних параметрів роботи газотранспортних систем складної структури з врахуванням низки технологічних обмежень.

Протягом останніх років на кафедрі транспорту і зберігання нафти і газу проведено дослідження, метою яких є розробка методології та обчислювальних алгоритмів визначення пропускної здатності та режиму роботи кільканиткового газопроводу з врахуванням взаємодії газопроводів, тобто при будь-якій комбінації відкритих перемичок між нитками на лінійних ділянках, а також при будь-якій комбінації відкритих перемичок на вході чи виході компресорних станцій.

Пропускна здатність – це максимальна кількість газу, яку можна транспортувати кільканитковим газопроводом для певної комбінації відкритих перемичок, заданій кількості працюючих ГПА на кожній компресорній станції та при умовах навколишнього середовища, що відповідають розрахунковому періоду. Розрахунок проводиться при певних граничних умовах: при заданих значеннях тиску і температури газу на вході у першу компресорну станцію та заданому тиску газу у кінці газопроводу.

Якщо при автономній роботі ниток газопроводів з певних міркувань задається величина витрати газу через нагнітачі першої КС, то у цьому випадку необхідно розрахувати режим

роботи газотранспортної системи при заданих обсягах перекачування. При такому розрахунку знайдена величина тиску газу у кінці газопроводів не коригується, а підлягає аналізу.

Об'єктом досліджень були газотранспортні системи, які складаються із кількох паралельних газопроводів і здійснюють транзитне транспортування газу. Компресорні станції газопроводів (ниток) оснащені різними типами газоперекачувальних агрегатів (ГПА). Конкретним прикладом такої системи є триниткова газотранспортна система "Союз", Уренгой-Помари-Ужгород та "Прогрес" на ділянці КС Бар – КС Богородчани.

Дана методика розроблена для сучасних кільканиткових газотранспортних систем, компресорні станції яких оснащені повнонапірними відцентровими нагнітачами з газотурбінним приводом. За наявності електричного приводу, як це має місце на деяких КС газопроводу "Прогрес", повинна бути передбачена технічна можливість регулювання режимів роботи шляхом зміни обертової частоти нагнітачів.

Розрахунки режимів роботи компресорних станцій і лінійних ділянок проводяться з врахуванням чинних технологічних обмежень параметрів їх роботи. Якщо у процесі розрахунків будь-яке технологічне обмеження порушується, то передбачається вимушене регулювання шляхом зменшення обертової частоти нагнітачів відповідної компресорної станції. Якщо застосування даного способу регулювання не дає змоги добитися виконання всіх технологічних обмежень та узгодження параметрів роботи компресорних станцій різних ниток при відкритих перемичках, то методикою передбачається вимушене перепускання частини потоку газу із нагнітального колектора у всмоктувальний, або зміна кількості працюючих ГПА на відповідній КС.

Методико-програмний комплекс дає можливість:

- прогнозувати пропускну здатність кожної нитки газопроводу при її автономній роботі для різних схем роботи ГПА на кожній КС із врахуванням сезонних змін умов перекачування;

- прогнозувати пропускну здатність кожної нитки і кільканиткової системи загалом, розрахувати режим роботи кожної КС для будь-якої комбінації відкритих перемичок між нитками на лінійних ділянках;

- прогнозувати пропускну здатність кожної нитки і кільканиткової системи загалом, розрахувати режим роботи кожної КС для будь-якої комбінації відкритих перемичок як на вході, так і виході компресорних станцій;

- розрахувати режим роботи кожної нитки газопроводу при її автономній роботі із заданою витратою газу для різних схем роботи ГПА на кожній КС з врахуванням сезонних змін умов перекачування;

- прогнозувати вплив будь-якої комбінації відкритих перемичок між нитками на лінійних ділянках на режим роботи кожної нитки із заданою витратою газу;

- прогнозувати вплив будь-якої комбінації відкритих перемичок як на вході, так і виході компресорних станцій на режим роботи кожної нитки із заданою витратою газу;

- за результатами розрахунків проводити оптимізацію режимів роботи складних газотранспортних систем залежно від заданої транспортної роботи за критерієм мінімальних енерговитрат.

Підземні сховища газу (ПСГ) є невід'ємною складовою частиною газотранспортної системи (ГТС) України. Зобов'язання перед споживачами Західної Європи з транспортування природного газу територією України ставлять перед системою підземного зберігання газу України низку завдань, пов'язаних із забезпеченням надійного та безперебійного постачання газу за умов складної економічної ситуації в газовій промисловості України. Режим роботи сховища газу безпосередньо впливає на режим роботи газопроводу, а тому одним із шляхів підвищення ефективності роботи ГТС є вибір раціональних режимів експлуатації ПСГ.

Підземні сховища газу з газовим режимом роботи складають понад 50 відсотків від загальної кількості ПСГ в Україні. Станом на сьогоднішній день значна кількість газу зберігається в таких сховищах, крім того сховища з газовим режимом роботи відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійності транзиту газу споживачам Західної Європи. Режими роботи ПСГ характеризуються значними змінами в часі залежно від потреб споживачів, що ускладнює надійну та ефективну роботу сховищ.

У процесі циклічної експлуатації низки сховищ України було виявлено збільшення газонасиченого порового об'єму сховищ, що супроводжувалося падінням максимального пластового тиску в сховищі. Аналіз гідрогазодинамічних показників сховищ доводив, що загалом всі об'єкти залишалися герметичними.

Наукові дослідження особливостей роботи ПСГ з газовим режимом їх експлуатації, що спрямовані на вивчення особливостей формування активного газонасиченого порового об'єму, і вивчення впливу застійних зон сховища є надзвичайно актуальними з точки зору підвищення надійності постачання газу та зменшення енерговитратності використання існуючих систем зберігання газу шляхом економії енергоресурсів.

На кафедрах факультету нафтогазопроводів виконані дослідження, метою яких було обґрунтування збільшення обсягів активного газу в ПСГ, що експлуатуються в умовах газового режиму роботи покладу за рахунок осушення порового простору і зменшення обсягів застійних зон сховища в умовах циклічної експлуатації ПСГ. Основні результати досліджень такі:

- розроблено математичну модель процесу осушення порового простору ПСГ в процесі циклічної експлуатації, що дало змогу встановити закономірності зміни водонасиченості порового простору та зміни загального порового об'єму сховищ;

– на основі експериментальних досліджень встановлено закономірність зміни залишкової водонасиченості від параметрів пористого середовища та режимів роботи покладів;

– шляхом статистичного аналізу режимів роботи сховищ методом побудови годографів циклічної експлуатації встановлено, що стабілізація порового простору сховища з газовим режимом роботи відбувається після 5-8 років циклічної експлуатації.

– доведено, що за рахунок осушення порового простору для умов підземних сховищ газу України можливе збільшення активного газонасиченого порового об'єму пластів ПСГ на 6–8%.

Теоретичні та експериментальні дослідження процесів формування газонасиченого порового об'єму підземних сховищ газу дали можливість розробити методи розрахунку змін порового об'єму сховищ, які обґрунтували

зменшення максимальних тисків у сховищах із газовим режимом роботи. За результатами їх реалізації розроблено методику розрахунку параметрів підземного сховища газу на підставі даних аналізу його циклічної експлуатації. Розроблена методика впроваджена на об'єктах УМГ «Львівтрансгаз».

Результати наукових досліджень вчених факультету нафтогазопроводів широко впроваджені у всі форми навчального процесу при підготовці фахівців із спеціальності «Газонафтопроводи та газонафтосховища». Студенти зазначеної спеціальності виконують курсові та дипломні проекти науково-дослідного характеру. Магістерські роботи випускників факультету нафтогазопроводів присвячені вирішенню актуальних завдань підвищення ефективності та зменшення енерговитратності трубопровідного транспорту нафти, нафтопродуктів та газу.

УДК 658.272

КОМПЛЕКС ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ З ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В ГАЗОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ

В.В.Колодяжний, В.В.Дубровський, В.Г.Старовойтов

*НДПІАСУтрансгаз, 61004, м. Харків, вул. Маршала Конєва, 16,
тел. (057) 7330756, 7122563*

Предложен комплекс инновационных проектов, позволяющих экономить энергоресурсы на объектах газотранспортной системы Украины. Комплекс включает 11 проектов, по каждому из которых разработана пояснительная записка, в которой указаны актуальность и метод решения проблемы, определены основные факторы эффективности и выполнены расчеты экономической эффективности.

The complex of innovative projects allowing to save power resources on the objects of the gas-transport system of Ukraine is offered. A complex includes 11 projects, on each of which an explanation message actuality and method of decision of problem are indicated in which is developed, the basic factors of efficiency are certain and the calculations of economic efficiency are executed.

Економія паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в газотранспортній системі України можлива за умов реалізації оптимальних щодо витрат ПЕР режимів експлуатації та якісного оптимального ремонтного обслуговування технологічного обладнання та систем ГТС.

Значну частку (до 75%) газу, використаного на технологічні потреби, складає паливний газ. Витрати паливного газу оптимальні при використанні номінальної потужності ГПА (не нижче 80%), а зниження цієї величини призведе до перевитрат паливного газу.

За оцінками фахівців ДК «Укртрансгаз» перевитрати паливного газу щороку складають від 350 до 700 млн. м³, тобто резерви енергозбереження у транспорті газу є значними. Тому основною задачею науково-технічних робіт з енергозбереження та раціонального використання енергетичних ресурсів є удосконалення обладнання, розроблення та впровадження сучасних методів, засобів, методик з метою зни-

ження енерговитрат на експлуатацію обладнання ДК «Укртрансгаз». [1]

В останнє десятиліття економічні та екологічні умови функціонування газотранспортної системи України складаються так, що невпинно зростають вимоги щодо економічності системи газопостачання. Вимоги щодо істотного покращання цього показника зумовлюють необхідність оптимізації керування технологічним процесом, модернізації обладнання, проведення спеціалізованих розробок, спрямованих на економію енергоресурсів, оптимізацію технічного обслуговування і ремонту, покращання обліку енергетичних ресурсів.

Вирішення цих завдань повинно ґрунтуватися на оптимізації розподілення навантажень між елементами ГТС, покращанні технічного стану та режимів роботи окремих об'єктів ГТС, модернізації обладнання, впровадженні нових енергоекономічних технологій на основі наукових досягнень в галузі термогазодинамічних