

І.І. Капцов, О.І. Наливайко, О.В. Ромашко, Р.Б. Ткаченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ НАФТИ ТРУБОПРОВІДНИМ ТРАНСПОРТОМ

*Наведено основні аспекти аналізу процесу транспортування високов'язкої нафти шляхом застосування технології впливу дії постійного магнітного поля на парафінові нафти з метою запобігання утворення і відкладення парафіну в насосно-компресорних трубах. Реалізація досліджених заходів сприятиме оптимізації роботи та підвищенню ефективності транспортування нафти і нафтопродуктів.*

**Ключові слова:** трубопровідний транспорт нафтопродуктів, магістральні нафтопроводи, високов'язкі нафти, відкладення парафіну, постійне магнітне поле.

### Постановка проблеми

На території України існує три нафтогазових регіони: Карпатський, Дніпрово-Донецький, Причорноморсько-Кримський. В нашій країні нафтова галузь одна з ведучих і та, яка швидко розвивається, промисловість, у яку введені новітні технології машинобудування автоматизації і техніки.

Об'єкти нафтової промисловості зосереджені на всій території країни, у них задіяна велика кількість ресурсів. Зараз з родовищ, що в розробці (нафти і газу) добувається на рік близько 4 млн. т нафти і 16-18 млрд. м<sup>3</sup> газу. Довжина нафтопроводів складає 3,8 тис. км з 31 нафто-перекачувальною станцією.

На сьогоднішній день, існують декілька способів транспортування нафтопродуктів від місця їх здобичі до заводів по переробці або місць збуту. До них відносяться: залізничний, водний, автомобільний і трубопровідний транспорт.

Найбільш економічним видом транспорту нафтопродуктів є трубопровідний, який забезпечує перекачування великої кількості нафтопродукту на будь-які відстані. Трубопроводи, що перекачують продукцію на значні відстані, називаються магістральними.

Магістральні трубопроводи, залежно від рідини що перекачується, називаються відповідно: нафтопроводами при перекачуванні нафти; нафтопродуктопроводами – при перекачуванні рідких нафтопродуктів.

Магістральний трубопровід складається з наступних комплексів споруд:

- трубопроводів, що підводять, зв'язують поклади нафти або нафтопродуктів з основними спорудженнями трубопроводу. По цих трубопроводах перекачують нафту від промислу або нафтопродукт від заводу в резервуари головної станції;

- головної перекачувальної станції, на якій збирають нафту і нафтопродукти, призначені для перекачування по магістральному трубопроводу. Тут виробляють приймання нафтопродуктів, розділення їх по сортах, облік і перекачування на наступну станцію;

- проміжних перекачувальних станцій, на яких нафта, що поступає з попередньої станції, перекачується далі;

- кінцевих пунктів, де приймають продукт з трубопроводу, розподіляють споживачам або відправляють далі іншими видами транспорту;

- лінійних споруджень трубопроводу.

До них відносяться власне трубопровід, лінійні колодязі на трасі, станції катодного і протекторного захисту, дренажні установки, а так само переходи через водні перешкоди залізні і автогужові дороги.

Основною складовою частиною магістрального трубопроводу є власне трубопровід. Глибину заставлення трубопроводу визначають залежно від кліматичних і геологічних умов, а так само з врахуванням специфічних умов, пов'язаних з необхідністю підтримки температури перекачуваного продукту, здатності трубопроводу, можливість перекачування декількох сортів нафти і нафтопродуктів по одному трубопроводу.

Трубопровідний транспорт служить для розміщення великої кількості нафти, нафтопродуктів і зріджених нафтових газів в одному напрямі.

**Переваги:** невеликі питомі капітальні вкладення на одиницю вантажу, що транспортується, найбільш низька собівартість перекачування, безперервне постачання протягом року, висока продуктивність праці, незначні втрати нафти і нафтопродуктів при перекачуванні, порівняно короткі терміни будівництва, можливість нарощування пропускної здібності трубопроводу, можливість перекачування де-

кількох сортів нафти і нафтопродуктів по одному трубопроводу.

**Недоліки:** потреба в крупних матеріальних витратах на заповнення всього трубопроводу нафтою або нафтопродуктом при введенні в експлуатацію, проблемні питання при технології перекачування високов'язких і застигаючих нафт, високою в'язкістю (при буденних температурах), що володіє, або що містить величезну кількість парафіну по трубопроводах звичайним методом утруднена.

Для їх транспортування використовують наступні способи збільшення текучості нафт: зменшення крупні одноразові капітальні вкладення в будівництво в'язких з малов'язкими і спільне їх перекачування, зменшення і перекачування з водою, термообробка в'язких нафт і наступне їх перекачування, перекачування заздалегідь нагрітих нафт, додавання присадок-депресаторів в нафту.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У нафтовидобуванні є два основних напрями використання магнітного методу: для обробки нафти, що видобувається, з метою запобігання (зменшення) АСПВ утворення в об'ємі нафти численних центрів міцелутворення (кристалізації) парафінів. Запобігання утворенням АСПВ пояснюється як наслідок утворення агрегатів феромагнітних частинок із розмірами: довжина 0...0,5 МКМ, діаметром у 7...9 разів меншим і масою порядку 10-14 г. У одній тонні нафти загальна площа поверхні феромагнітних частинок становить від 200 до 10000 м<sup>2</sup>. Підкреслюється, що загальна площа феромагнітних частинок, які містяться у нафті, набагато перевищує площу поверхні обладнання, яке необхідно захищати.

Великий вклад у вирішення теоретичних і практичних питань парафінових відкладень внесли А.А. Абрамзон, Ю.В. Антипін, Г.А. Бабалян, А.З. Биккулов, Н.Ф. Богданов, Д.Е. Бугай, М.Д. Валеев, С.Н. Головкин, М.Ю. Долматов, Н.Г. Ибрагимов, А.И. Комісаров, Ю.Я. Кулиджанов, С.Ф. Люшин, Б.А. Мазепа, В.Ф. Нежевенко, Н.Н. Непримеров, М.Ф. Пустовалов, А.Н. Переверзев, А.И. Пагуба, В.А. Рагулин, Ю.В. Ревізський, Ф.Л. Саяхов, Н.И. Таюшева, В.П. Тронів, К.Р. Уразаков, З.А. Хабибуллин, Ю.В. Шамрай, В.В. Шайдаков та ін.

Цими вченими не лише досліджувався механізм відкладення парафіну, закономірності відкладення парафіну на різні поверхні, особливості і профілі відкладення на НКТ і в нафтопроводах але їх роботи спрямовані щодо впливу на практичне рішення проблем боротьби з парафіно-відкладеннями.

Досвід фахівців Румунії показав, що використання протягом двох років пристроїв із постійними магнітами для запобігання АСПВ дало змогу значно підвищити ефективність не тільки свердловинного видобування, але і при експлуатації мережі нафтопроводів на нафтопереробних установках [1].

Значною перевагою приладів на постійних магнітах є простота експлуатації й відсутність необхідності використання зовнішніх джерел енергії.

Слід відмітити, що методики, розроблені для боротьби з АСПВ, рекомендовано використовувати для намагнічування інших рідин, з іншими цілями обробки. Наприклад, намагнічування рідини застосовують для зниження корозійної активності рідин, запобігання відкладенню солі на стінках теплооб-

мінників, підвищення класу бетону, обробки вуглеводного палива для двигунів внутрішнього згоряння тощо.

Велика кількість дослідних робіт присвячена механізму магнітної обробки нафти, воднонафтових і водних систем. Запропоновано теорію магнітного впливу на рідкі середовища, які містять домішки феромагнітних частинок. В основі теорії лежить експериментально встановлений факт руйнування (подрібнення) у магнітному полі агрегатів із феромагнітними частинками. Такі частинки завжди наявні, як природні домішки, у воді й нафті. Ці частинки є додатковими центрами кристалотворення, які підвищують на порядки величин площі внутрішньої адсорбції. Слід підкреслити, що при магнітній обробці дистильованої води ніяких ефектів не виникає [2].

Роботи [2,3] присвячено використанню магнітної обробки нафти для запобігання утворенню АСПВ. У них також наголошується важливість утворення в об'ємі нафти численних центрів міцелутворення (кристалізації) парафінів. Запобігання утворенням АСПВ пояснюється як наслідок утворення агрегатів феромагнітних частинок із розмірами: довжина 0...0,5 МКМ, діаметром у 7...9 разів меншим і масою порядку 10-14 г. У одній тонні нафти загальна площа поверхні феромагнітних частинок становить від 200 до 10000 м<sup>2</sup>. Підкреслюється, що загальна площа феромагнітних частинок, які містяться у нафті, набагато перевищує площу поверхні обладнання, яке необхідно захищати.

### Визначення мети та задачі дослідження

**Проблематика дослідження** – особливості транспортування високов'язкої нафти трубопроводним транспортом.

**Об'єкт дослідження** – розробка економічних та екологічно безпечних ефективних конструктивно-технологічних рішень об'єктів транспортування нафтопродуктів, що забезпечують проектні технологічні вимоги при їх експлуатації.

**Предмет дослідження** – проектні технологічні вимоги до конструкцій об'єктів транспортування нафтопродуктів в складних інженерно-геологічних умовах.

**Мета роботи:** розробити і досліджувати модель транспортування високов'язкої нафти шляхом застосування технології впливу дії постійного магнітного поля на парафінової нафти з метою запобігання утворення і відкладення парафіну в насосно-компресорних трубах (НКТ) та при транспортуванні нафти нафтопроводами різних діаметрів.

**Опис проблеми, на вирішення якої спрямовано дослідження:** нафта родовищ України характерна високою в'язкістю, смолистістю при значному вмісті сірчистих з'єднань. Для транспортування та-

ких нафт необхідний певний тепловий режим, оскільки звичайне перекачування традиційним способом може привести до серйозних наслідків таким, як утворення пробок, велика парафінізація і повна зупинка роботи нафтопроводу із-за застигання нафти.

Актуальним є створення окремого (самостійного) магнітного методу запобігання утворення відкладень парафіну при транспортуванні нафті трубопроводами, шляхом запобігання кристалізації парафіну на внутрішніх стінках трубопроводів, тобто створення моделі «постійного магнітного поля» нафтопроводу, в умовах різного рельєфу місцевості країни.

## Виклад основного матеріалу дослідження

В даний час транспорт таких нафт по трубопроводах здійснюється всіма перерахованими методами. Але вибір методу перекачування має бути обумовлений техніко-економічним розрахунком.

*Перекачування з розчинниками.* Поліпшення параметрів реологій в'язких нафт (в'язкість, температура застигання, напруга зрушення) можна досягти методом змішення їх з розчинниками. Як розчинники можуть застосовуватися конденсати, бензини, гас, мало в'язкі нафти. Якщо на родовищі добуваються нафти різних видів - в'язкі і мало в'язкі, то, сполучаючи їх, можна досягти різкого пониження в'язкості і температури застигання.

Для деяких в'язких нафт потрібно додавати надзвичайно величезну кількість розчинника (до 70 %). Потрібна кількість розчинника для кожного сорту нафти визначається лабораторними дослідницькими роботами.

Подача світлого розчинника на родовище, зазвичай, здійснюється по паралельному трубопроводу, споруда і експлуатація якого вимагають додаткових витрат [4].

*Гідротранспорт в'язких нафт.* Спільне перекачування в'язких нафт з водою є одним з дієвих методів транспорту. Існує декілька варіантів гідротранспорту.

1) У трубопроводі відразу закачують воду і в'язкий нафтопродукт, таким чином, щоб нафтопродукт рухався усередині водяного кільця. Щоб не відбувалося спливання нафти у водяному кільці, згустку привласнюють обертання вживанням «спіральних» труб.

Такі труби на внутрішній поверхні мають гвинтоподібну вирізку промислового виробництва або приварені залізні смуги (проволікатиму) потрібних розмірів. Спіральна вирізка викликає обертання потоку, що пересувається, у результаті чого з'являються відцентрові сили, що відкидають найбільш м'яку воду до стін труби, із-за того що потік в основній частині складається з нафти, то різко зростає витрата води при малих витрат енергії по зіставленню з

перекачуванням однієї прохолодної в'язкої нафти. Таким методом можуть перекачуватися нафти, що мають щільність нижче, ніж вода. Розділення води і нафти на кінцевому етапі робиться будь-яким відомим методом (хімічним методом, тепловим, відстоєм і ін.) [4,5].

Широкого поширення цей метод не набув із-за труднощі виробництва гвинтоподібних нарізок на внутрішній поверхні труби.

2) Метод полягає в утворенні консистенції нафти з водою. Коли з'являється суміш типу нафта у воді (Н/В), частинки нафти оточені водяною плівкою і контакту нафти з внутрішньою поверхнею труби не відбувається.

З'являється водяне кільце, усередині якого коває водонафтова суміш. Це приводить до пониження витрат на тертя при перекачуванні. При різкому зменшенні швидкості перекачування і температури суміш типу Н/В може перейти в оборотну - типу «вода в нафті» (В/Н). Така суміш має в'язкість більше, ніж початкова нафта. Стійкість емульсії типу Н/В залежить від багатьох причин. У результаті експериментальних дослідницьких робіт було встановлено, що мала кількість води повинна складати близько 30 % загального розміру консистенції, що транспортується [1].

*Перекачування термооброблених нафт.* Нагріваючи з метою конфігурації параметрів реологій нафти іменується термообробкою. Вона полягає в наступному. Нафту нагрівають до якоїсь температури, а потім охолоджують з певною швидкістю. Температуру нагріву і швидкість охолодження підбирають лабораторним методом для кожного нафтопродукту. У результаті цього різко знижуються в'язкість і температура застигання термообробленої нафти. Якщо ці параметри зберігаються низькими деякий час (одні нафти відновлюють свої характеристики за 3 діб, останні - за 20 діб), то нафту можна перекачувати по трубопроводу як звичайну мало в'язку рідину [4,5].

*Перекачування нафт з присадками.* Для поліпшення параметрів реологій нафт перед їх перекачуванням по трубопроводах застосовуються додавання особливих нафто розчинених присадок. Це беззольні сополімери етилену і присадки на базі складних ефірів метакрилової кислоти. Механізм дії присадок ще не абсолютно ясний. Передбачається, що молекули присадок адсорбуються на поверхні кристалів парафіну, заважаючи їх зростанню. З'являється суспензія парафіну з величезною кількістю маленьких кристалів і високою мірою дисперсності [5].

Перед додаванням присадок нафту слід нагрівати до повного розплавлення парафіну. Надалі, при русі нафти з присадками по трубопроводу, вона не потребує підігрівання на проміжних станціях. Перекачування заздалегідь нагрітих нафт більш універ-

сальний метод трубопровідного транспорту в'язких нафт, також іменоване «гаряче перекачування». При цьому нафта гріється на головному трубопроводі і насосами закачується в магістраль. Через кожних 25-100 км. по довжині траси інсталиються проміжні термо-станції, де заholола нафта знов підігрівається [3,5].

У наш час для транспортування в'язкої нафти застосовують всі приведені вище методи. Але найбільш поширений метод перекачування заздалегідь нагрітих нафт. Проте повністю вирішити проблему відкладень парафіну при транспортування нафті не вдалося.

Тому на сьогодні існує нагальна потреба в розвитку і модернізації трубопровідного транспорту на рівні міжнародних стандартів у цій галузі при одночасному забезпеченні суперечливих вимог щодо економічності, конструктивної надійності та екологічної безпеки. Об'єкти транспортування нафтопродуктів мають найвищу категорію складності та класифікуються як інженерні споруди підвищеної відповідальності та екологічної небезпеки, зокрема комплексне врахування цих факторів потребує розроблення ефективних конструктивно-технологічних рішень для зведення сучасних економічних та безпечних об'єктів транспортування нафтопродуктів, а також забезпечення проектних технологічних вимог при їх експлуатації.

Існуючі методи боротьби з відкладеннями АСПВ розподіляють на теплові, механічні, хімічні та використанням покриттів. Перелічені методи використовують у свердловинах із різними способами видобування нафти (фонтанному, насосному і їх різновидами), а також при транспортуванні нафти трубопроводами.

Використання хімічних реагентів для боротьби з АСПВ у багатьох випадках суміщають із захистом нафтопромислового обладнання покриттями від корозії, сольових відкладень, процесом руйнування (запобіганням утворенню) стійких воднонафтових емульсій. Метод використання покриттів дав у цілому позитивний ефект. Перші дослідження із застосування лакофарбових покриттів для запобігання АСПВ було проведено ще у 50-і роки ХХ сторіччя. Але великі витрати на виробництво труб з емальованим і епоксидним покриттям призвели до звертання робіт з використання НКТ із покриттям. Сьогодні застосування цього методу значно обмежене.

Перспективним напрямом розв'язання цієї проблеми є використання магнітних полів для обробки потоку нафти на різних етапах її руху.

Механізм дії магнітного поля, розробленого магнітного пристрою (МАП) направлено на предмет зміни в'язкості рідини, що проходить через пристрій і приводить до збільшення міжремонтного періоду свердловин.

Магнітні пристрої відносно дешеві, а технології їх використання на перший погляд прості й мало витратні. Все це дає можливість одержати "швидкий" результат безпосередньо на виробництві.

Але параметри магнітного поля, які у ньому рекомендовано, слід вважати застарілими. Відповідно до цих рекомендацій, у центрі каналу кільцевого перерізу напруження магнітного поля повинне становити від 3,7 до 4,3 кА/м (48...54 Э). У сучасних пристроях напруження магнітного поля перевищує 80 кА/м (1000 Э).

Запропоновано та впроваджено у практику видобування і транспортування нафти велику кількість конструкцій магнітних пристроїв, накопичено певний досвід їх використання. Але інформація про результати цієї роботи суперечлива. У доступних літературних джерелах немає статистичних даних про достовірність повторення результатів, відсутні переконливі критерії умов, у яких магнітні технології ефективні, а також обґрунтування технічних вимог до магнітних приладів.

З аналізу патентної літератури бачимо, що пристрої, які пропонуються, суттєво розрізняються не тільки за параметрами магнітного поля, а і за розподілом силових ліній цих полів. Переважають конструкції, котрі створюють здебільшого поперечні до напрямку потоку магнітні поля, але є конструкції, які використовують поздовжні магнітні поля. Відомі пристрої, в котрих магнітне поле рівномірно розподілене за всім перерізом каналу з рідиною. Використовують також конструкції, що створюють суттєві напруження лише у частині поперечного перерізу каналу. Останнє характерно для пристроїв, які призначено для потоків великого перерізу тому, що складно створити необхідну напругу магнітного поля за всім перерізом великого потоку.

На рисунку 1 наведено схему пристрою, у якому на зовнішній поверхні трубопроводу вздовж кола труби розміщено чотири магніти у формі плит (дві пари) [3]. При цьому пари зміщені між собою вздовж труби. Магніти пар орієнтовані різними полюсами одне до одного.

Утворюється складне магнітне поле, яке є суперпозицією двох взаємно перпендикулярних полів із переважно поперечними складовими.

Оригінальним є використання простору над зовнішніми магнітами як каналу для рідини за рахунок зовнішнього корпусу магнітів і отворів у трубопроводі на цій ділянці. За рахунок цього потік рідини розділяється на два, й кожен із них обробляється у поперечних полях різної конфігурації.

Недоліками цього пристрою є мала довжина каналу з полем, відповідно малий термін обробки та обмежена можливість створення високих напружень і градієнтів, особливо біля осі труби.

Для підвищення напруження і градієнта магні-

тного поля, а також терміну обробки використовують принцип послідовності опозитно розміщених постійних магнітів з оберненими до каналу полюсними поверхнями. Поряд розміщені магніти встановлюють таким чином, щоб їх напрямлення намагні-

чування були протилежними. В звичайному випадку така схема може бути реалізована встановленням вздовж труби послідовно пар магнітів, коли кожна пару магнітів повернути вздовж осі труби на 180° відносно попередньої.

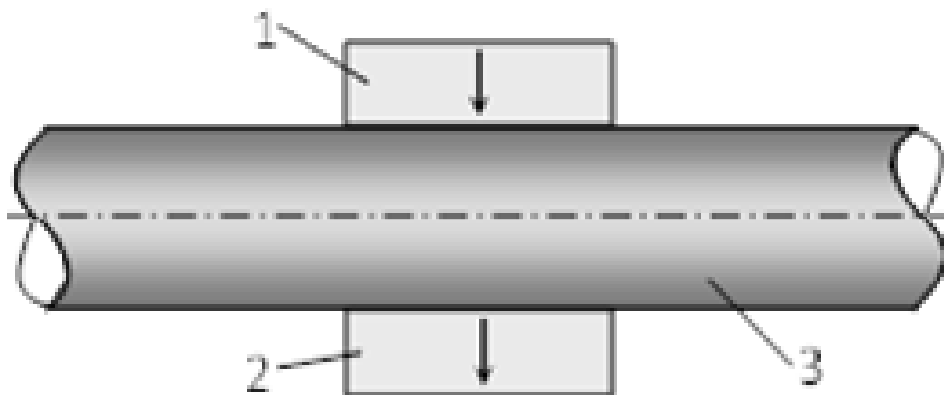


Рис. 1. Намагнічувальний прилад (стрілками показано напрямки намагнічування)

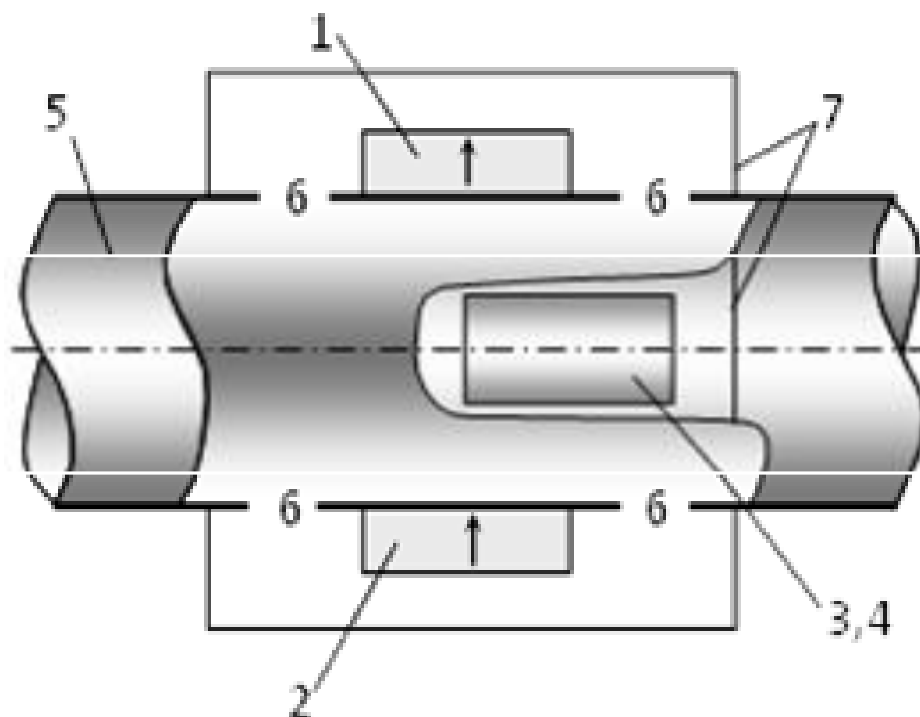


Рис. 2. Схема магнітного кола намагнічувального приладу:

1, 2, 3, 4 – постійні магніти; 5 – трубопровід; 6 – перфораційні отвори в трубопроводі; 7 – корпус

Отже вздовж труби можна одержати багатоперверсне (знакозмінне) поле заданої довжини області взаємодії й високоградієнтним полем. Широкі можливості з'являються при цьому щодо збільшення градієнта напруження магнітного поля, тому що є багато конструктивних заходів зменшення області зміни знаку поля. Принципову схему такого пристрою показано на рисунку 3 [1].

Прикладом удосконалення магнітного пристрою може служити схема магнітного кола, яку наведено на рисунку 4 [1]. Воно утворене послідовно встановленими вздовж труби парами плитних магнітів. Опозитно розміщені магніти обернені полюсами до каналу з рідиною і різними полюсами одне до одного.



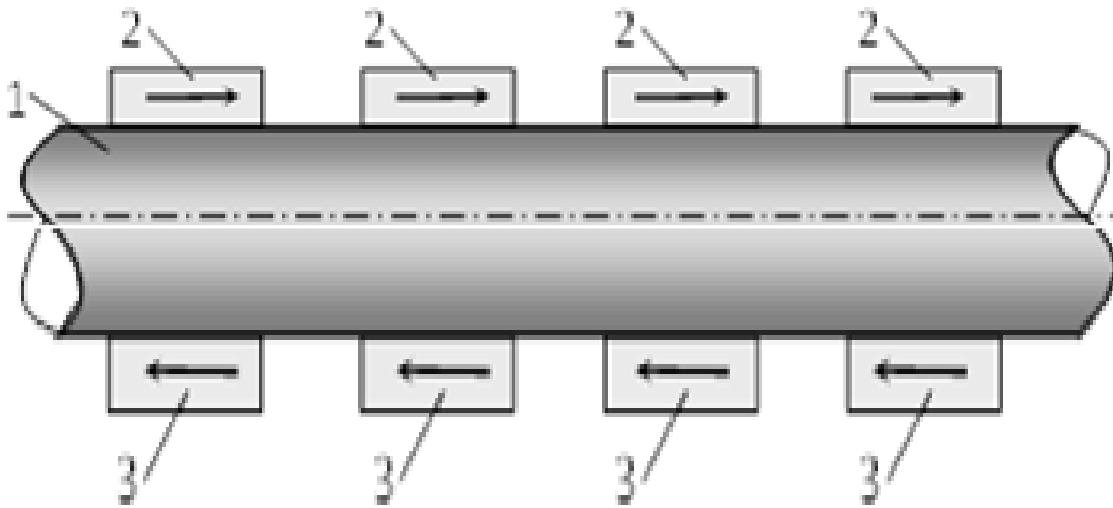


Рис. 3. Схема намагнічувального приладу:  
1 – трубопровід; 2, 3 – постійні магніти

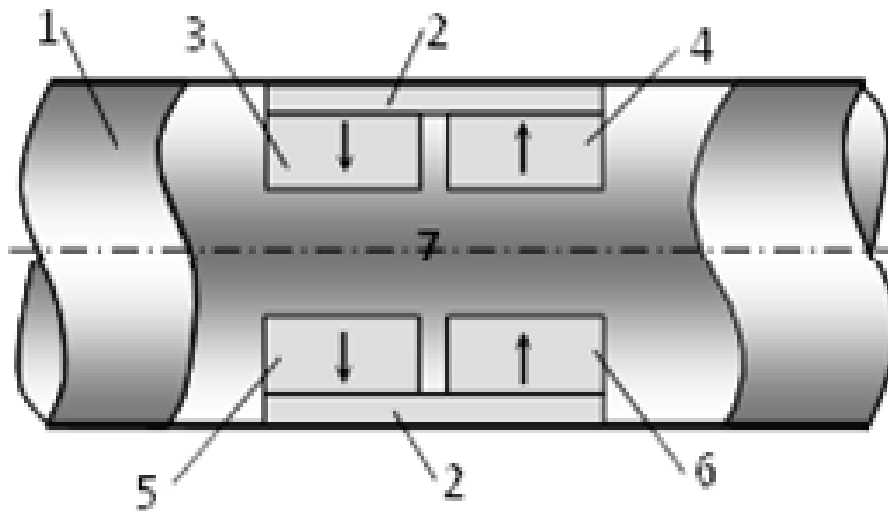


Рис. 4. Схема намагнічувального приладу:  
1 – трубопровід; 2 – зовнішній магнітопровід; 3-6 – постійні магніти; 7 – канал для рідини, яка обробляється

Це дозволяє отримати у перерізі каналу неоднорідне реверсивне магнітне поле з переважно перпендикулярними до потоку рідини силовими лініями. Окремі пари магнітів теж розділено немагнітними проміжками.

Для зменшення втрат енергії на розсіяння магнітного потоку всі зовнішні полюси магнітів об'єднані загальним магнітопроводом. Особливість полягає у тому, що пари магнітів і магнітопровід розміщено у внутрі трубопроводу та каналом для рідини є проміжок між полюсами опозитно встановлених магнітів. Для підвищення неоднорідності поля використовують також несиметричне розміщення опозитно розміщених магнітів відносно осі каналу. Все це підвищує можливості збільшення напруження й градієнта поля. При використанні сучасних магнітів з рідкоземельними металами (РЗМ) максимальне напруження поля може

досягти кілька сотень кА/м (кілька тисяч Ерстед). До недоліків пристрою слід віднести низьке використання перерізу трубопроводу на ділянці розміщення пристрою, тому що значну частину перерізу зайнято магнітами і магнітопроводом. При використанні магнітів із РЗМ суттєво зростає вартість пристрою. [6].

Аналіз складу АСПВ із нафти у Західній Україні свідчить, що за відношенням вмісту парафінів до вмісту асфальтосмолистих речовин відклади належать до парафінового типу. Для родовищ Львівщини нафти за щільністю легкі –  $\rho = 810 \dots 860 \text{ кг/м}^3$  і середні –  $\rho = 869 \dots 890 \text{ кг/м}^3$ . За хімічним складом вони належать до групи метано-нафтоароматичних з'єднань. Тиск насичення нафти газом до 9,7 МПа. Нафта малосмолиста (вміст сірки до 0,7%), парафінисті й високопарафінисті (вміст па-

парафіну більше ніж 6%). Великим вмістом парафіну пояснюються високі температури насичення нафти парафіном – 39...48 °С. Нафта має високу температуру застигання.

Усі відкладення високоплавкі – 63,6...85,0 °С, вміст парафіну 27,2...54,2 % маси, температура плавлення парафінів 74,4...84,2 °С, що свідчить про наявність у складі АСПВ високомолекулярних парафінів.

Вміст смол коливається – від 2,8 % до 5 %, асфальтенів – від 2,1 % до 18 % , частині проб спостерігається високий уміст механічних домішок – 24 %.

Зміна термобаричних умов і дегазації нафти супроводжуються інтенсивним утворенням АСПВ на обладнанні. [2,3].

**Нові або оновлені методи та засоби, методика та методологія досліджень, що створюватимуться авторами у ході виконання проекту.** Аналіз застосування існуючих магнітних пристроїв свідчить про високу ефективність магнітного методу. Але ці магнітні пристрої мають низку суттєвих недоліків до механізму магнітного впливу і до вимог до технічних параметрів магнітних пристроїв магніту.

Проте разом з явними позитивними чинниками відносно вживаною магнітною обробки вуглеводнів є і істотний недолік і особливо при використанні їх з трубопроводами великого діаметру: складно отримати в

існуючих пристроях високі напруженості і градієнти напруженості діючого високоградієнтного магнітного поля в усьому об'ємі каналу, тобто ефективне високоградієнтне поле фактично в цьому пристрої створюється безпосередньо у торці полюсного наконечнику магнітної системи. Для отримання потрібних параметрів дії магнітного поля на вуглеводні при поліпшенні їх економічної рентабельності нами розроблена нова модель установки - магнітне облаштування (МП) університету, [7,8,9,10].

Магнітне облаштування (МП) університету забезпечує отримання розрахункових параметрів: магнітна індукція має бути в межах 100-180 мТл при менших і навіть таких, що видозмінюються розмірах перерізу магнітної системи з постійних магнітів з напрямками аксіальної намагніченості, що чергуються, причому намагнічування магнітів виконується на сконструйованому нами "перевернутому індукторі". Отримувана магнітна індукція в рази перевищує параметри наявних моделей. Контроль магнітної індукції в зібраній магнітній частині в антипарафіновій установці (МП) здійснюється за наступною схемою.

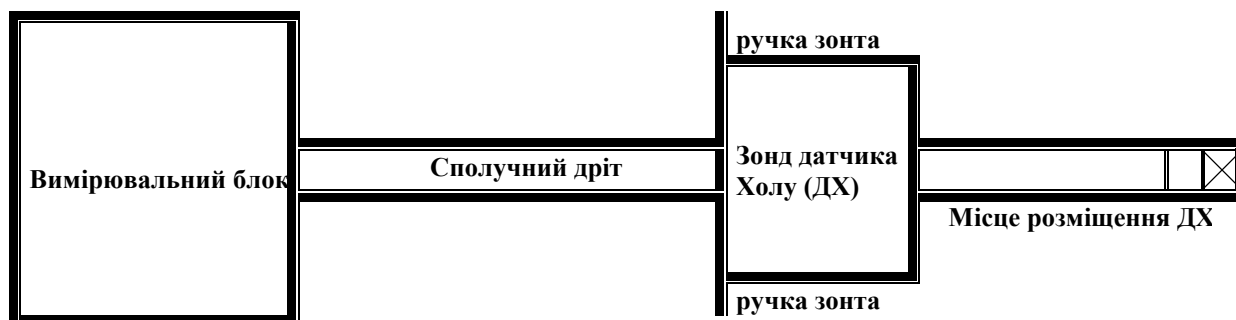


Рис. 5. Вимір магнітної індукції за допомогою тесламетра з датчиком Холу.

Вимір магнітної індукції проводимо за допомогою тесламетра з датчиком Холу. Зонт типу М призначений для виміру поперечної складової магнітної індукції. Датчик Холу розташовуємо так що, би свідчення по ланцюгу магнітів були максимальними.

Для магнітних пристроїв (МП) що представляються нами магнітна індукція має бути в межах 100-180 мТл (мілітесл).

У лабораторних умовах виміри проб нафти з відібраною для установки магнітного облаштування (МП) свердловини проводилися за допомогою віскозиметра при проносі нафти через МУ із швидкістю 0,5 м/с. При цьому, для наших умов, вимірюється кінематична в'язкість, тобто вимірюється співвідношення в'язкості динамічної до щільності (см<sup>2</sup>/с).

Ця робота присвячена розгляду принципової можливості збільшення міжремонтного періоду об-

ладнання нафтових свердловин як результату дії постійного магнітного поля.

Вибір того чи іншого методу боротьби з АСПВ, як показала довгострокова практика нафтовиків в Україні й за її межами, базується на ретельному вивченні властивостей продукції, що видобувається, її поведінки у пластових умовах, свердловині й наземному обладнанні. При цьому необхідні точні дані про склад АСПВ та механізм їх формування [11].

Для підвищення магнітних параметрів приладів, а саме – амплітуди і градієнта напруження магнітного поля, вживалися конструктивні заходи, характерні для магнітних систем електронної техніки із застосуванням комбінованого розподілу намагнічування магнітів. Отримана конструкція багатореверсного пристрою з магнітним полем, яке регулюється у широких межах.

Зараз авторським колективом розроблено нові конструкції поліпшених магнітних антипарафінових пристроїв (МАП). Запропоновано пристрій, який дозволяє отримувати на трубопроводах великого діаметра параметри, не гірші, ніж ті, що раніше отримували лише на трубопроводах невеликого діаметра. Як свідчить проведений вище аналіз, раніше на великих трубопроводах задовільні параметри магнітного поля отримували лише за рахунок того, що більша частина його перерізу заповнювалася магнітною системою. Це призводило до неповного використання перерізу трубопроводу, збільшення швидкості потоку нафтової емульсії й відповідно до зниження терміну магнітної обробки рідини. Крім того, такі пристрої мають велику масу магнітів і внаслідок великої вартості

останніх дуже коштовні. В інших конструкціях ефективне магнітне поле створюється лише у невеликій частині перерізу трубопроводу і більша частина емульсії пропускається взагалі без магнітної обробки.

У запропонованому МАП немає цих недоліків. На рисунку 6 показано принципову схему запропонованого МАП. Реверсивно намагнічений постійний магніт 1 розташований по осі трубопроводу 2 так, що він перекидає весь його переріз. Навколо магніту влаштовано кільцевий канал, який з'єднано з трубопроводом отворами 3, розташованими до і після магніту вздовж руху рідини. Зовнішні стінки каналу захищені кожухом 4, який утворює з ними проміжок 5. [10].

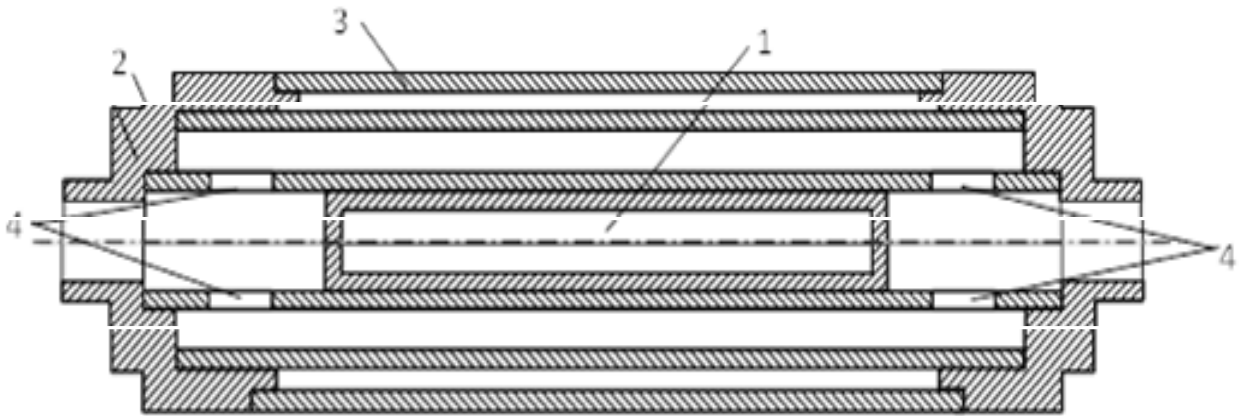


Рис. 6. Прилад МАП:

1 – реверсивно намагнічений постійний магніт; 2 – трубопровід; 3 – зовнішній корпус; 4 – отвори для введення і виведення рідини

### Висновки і перспективи подальших розвідок

У запропонованому МАП, за рахунок використання складно профільованих магнітопроводів трубопроводу магнітна система займає лише невелику частину перерізу трубопроводу але суттєво підвищує ефективність транспортування нафти і нафтопродуктів.

Кількість магнітів невелика, але забезпечує необхідну напругу магнітного поля для ефективної магнітної обробки всього об'єму рідини, яка пропускається крізь пристрій у однакових умовах високоградієнтного магнітного поля за всім перерізом потоку нафти.

Для вивчення та визначення оптимальних параметрів моделі «постійного магнітного поля» нафтопроводу необхідно надалі, з метою отримання достовірних даних, включити в програму проведення експериментальних

### Література

1. Наливайко, Л.Г. Магнітна обробка нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну при її транспортуванні трубопроводами [Текст] / Наливайко О.І.,

Наливайко Л.Г., Мангура А.М., Наливайко О.І. // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ. – 2013. – № 1 (36)., т. 2. – С. 92 – 107.

2. Лесин, В.И. Физико-химический механизм предотвращения парафино отложений с помощью постоянных магнитных полей. [Текст] / В.И. Лесин // Нефтепромышленное дело. № 50. – С. – 31-33. – 2001, – 194 с.

3. Классен, В.И. Омагничивание водных систем. [Текст] / В.И. Классен – М.: Химия, 1982.

4. Трубопроводный транспорт нефти и газа [Текст] : Учеб.для вузов / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 368 с.

5. Трубопроводный транспорт нефти [Текст] / Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробков, А.А. Коршак и др.; Под редакцией С.М. Вайнишюка: Учеб.для вузов: В 2т. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Т. 1. – 407 с.

6. Наливайко, Л.Г. Магнітна активація складів нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну [Текст] / Наливайко О.І., Мангура А.М., Наливайко Л.Г. // Науковий журнал Видавництва Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ. – 2012. – Випуск 1 (1) – С. 110–116.

7. Устройство для магнитной обработки жидкости [Текст] / Демахин А.Г., Капируля В.М., Севостьянов



В.А., Наливайко А.И., Спиридонов Р.В. Кивокурцев А.Ю. // – Патент RU № 2192389. – МПК<sup>7</sup>: C02F1/48. – C02F1/48 – 2002. – 8 с.

8. Устройство для обработки жидкости магнитным полем. [Текст] / Демахин А.Г., Наливайко А.И., Капируля В.М., Севостьянов В.А., Спиридонов Р.В., Кивокурцев А.Ю. // – Патент RU № 2182888. – МПК: C02F. – C02F1/48 – 2002. – 8 с.

9. Устройство для омагничивания жидкости [Текст] / Демахин А.Г., Наливайко А.И., Капируля В.М., Севостьянов В.А., Спиридонов Р.В., Кивокурцев А.Ю. // – Патент RU № 2192390. – МПК: C02F1/48, C02F103:02. – 2002. – 8 с.

10. Nalivaiko, I.G., Nalivaiko, O.I., Ichanska, N.V., Petrash, R.V., & Chyhyrev, V.V. (2017). Technology of magnetic field in fluence on high paraffin oil in different diameters pipelines. *ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PoltNTU.*

11. Михайлеску, Н. Системы с постоянными магнитами для магнитной обработки добываемой нефти, способствующие уменьшению твёрдых отложений [Текст] / Н. Михайлеску, С. Александру, В. Кappel и др. // *Материалы XIII Международной конференции по постоянным магнитам, 25-29 сентября 2000 г, Суздаль. – М.: Изд-во АДА-Мегатех, 2000. – С. 216-217.*

#### References

1. Nalivaiko, O. I., Nalivaiko, L. G., Mangura., A., M., & Nalivaiko, O. I. (2013). Magnetic the oil treatment as a method of combating paraffin deposits during pipeline transportation. *Collection of scientific papers. Branch engineering, construction, 36*, 92 – 107.

2. Lesin V.I. (2001). Physico-chemical mechanism for the prevention of paraffin deposits using constant magnetic fields. *Oil field business. Number 50*, 31 – 33.

3. Klassen V.I. (1982). Magnetization of water systems. *M., Chemistry.*

4. Aliev, R.A., Belousov, V.D., Nemudrov, A.G., & al. (1988). *M., Bosom*, 368.

5. Vasiliev, G.G., Korobkov, G.E., Korshak, A.A., & al. (2002). Oil pipeline transport. Vol. 1. *Nedra-Business Center LLC*, 407.

6. Nalivaiko, O.I., Nalivaiko, L.G., Mangura., A.M., & Nalivaiko, O.I. (2012). Magnitna activation warehouse nafti yak method of struggle with vidkladanny paraffin. *The scientific journal of Vidavnitsvo of the Poltava National Technological University Yury Kondratyuk*, 110–116.

7. Demakhin, A.G., Kapirulya, V.M., Sevostyanov, V.A., Nalivaiko, A.I., Spiridonov, R.V., & Kivokurtsev, A.Yu. (2002). Device for magnetic fluid processing. *Patent RU No. 2192390. - IPC: C02F1 / 48, C02F103: 02, 8.*

8. Demakhin, A.G., Nalivaiko, A.I., Kapirulya, V.M., Sevostyanov, V.A., Spiridonov, R.V., & Kivokurtsev, A.Yu. (2002). Device for treating a liquid with a magnetic field. *Patent RU No. 2182888. - IPC: C02F. - C02F1 / 48,*

8.

9. Demakhin, A.G., Nalivaiko, A.I., Kapirulya, V.M., Sevostyanov, V.A., Spiridonov, R.V., & Kivokurtsev, A.Yu. (2002). Liquid magnetizing device. *Patent RU No. 2192390. - IPC: C02F1 / 48, C02F103: 02, 8.*

10. Nalivaiko, I.G., Nalivaiko, O.I., Ichanska, N.V., Petrash, R.V., & Chyhyrev, V.V. (2017). Technology of magnetic field in fluence on high paraffin oil in different diameters pipelines. *ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PoltNTU.*

11. Mihayescu, N., Alexander, S., & Kappel, B. (2000). Permanent magnet systems for magnetic treatment of produced oil to help reduce solid deposits (2000). *Materials of the XIII International Conference on Permanent Magnets, September 25-29, 2000, Suzdal*, 216 – 217.

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор, професор кафедри нафтогазової інженерії і технологій Б.С. Ільченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

**Автор:** КАПЦОВ Іван Іванович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри нафтогазової інженерії і технологій

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

E mail – egts@kname.edu.ua

**Автор:** НАЛИВАЙКО Олександр Іванович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри нафтогазової інженерії і технологій

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

E mail – egts@kname.edu.ua

**Автор:** РОМАШКО Олександр Васильович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри нафтогазової інженерії і технологій

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

E mail – egts@kname.edu.ua

**Автор:** ТКАЧЕНКО Роман Борисович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри нафтогазової інженерії і технологій

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

E mail – egts@kname.edu.ua

---

## STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR TRANSPORT OF HIGH-VISCOLE OIL BY PIPELINE TRANSPORT

I. Kaptsov, O. Nalivaiko, O. Romashko. R. Tkachenko

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

*The main aspects of the analysis of the process of transportation of high viscosity oil by applying the technology of influence of the action of a permanent magnetic field on paraffin oil in order to prevent the formation and deposition of paraffin in the tubing.*

*Oil of Ukraine deposits is characterized by high viscosity, resinability with high content of sulfur compounds. A certain thermal regime is required for the transportation of such oil, since conventional pumping in the traditional way can lead to serious consequences such as the formation of traffic jams, large paraffinization and complete shut-down of the pipeline due to the solidification of oil. It is important to create a separate (independent) magnetic method of preventing the formation of paraffin deposits during oil transportation by pipelines, by preventing crystallization of paraffin on the inner walls of pipelines, that is, creating a model of "permanent magnetic field" in the pipeline.*

*From the analysis of the patent literature we can see that the devices offered differ significantly not only in the parameters of the magnetic field, but also in the distribution of the force lines of these fields.*

*Predominantly design generating magnetic fields transversely to the flow direction, but constructions utilizing longitudinal magnetic fields. Known devices in which the magnetic field is uniformly distributed over the entire cross section of the fluid channel. Also used are structures that create significant stresses only in the cross section of the channel. However, along with the obvious positive factors regarding the magnetic treatment of hydrocarbons used, there is a significant drawback, especially when used with large diameter pipelines. difficult to obtain in existing devices high voltages and voltage gradients of the active high-gradient magnetic field throughout the channel volume.*

*New designs of improved magnetic anti-paraffin devices are proposed, which allow to obtain parameters on large diameter pipelines, which was previously obtained only on small diameter pipelines. Due to the use of intricately profiled magnetic conduits, the magnetic system occupies only a small portion of the pipeline cross section, but significantly improves the transportation efficiency of oil and oil products by reducing deposits. Implementation of the investigated measures will help optimize the work and increase the efficiency of transportation of oil and oil products.*

**Keywords:** *pipeline transportation of petroleum products, trunk oil pipelines, high viscosity oil, paraffin deposition, permanent magnetic field.*