

Технічні науки

УДК 622.692.4

Люта Наталія Вікторівна

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Люта Наталия Викторовна

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Liuta Nataliia

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Бортняк Олена Михайлівна

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Бортняк Елена Михайловна

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Bortnyak Olena

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Антонюк Назар Володимирович

студент

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Антонюк Назар Владимирович

студент

Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа

Antoniuk Nazar

Student of the

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

SPECIAL METHODS OF IMPROVEMENT OF STRUCTURAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF OILS WITH THE PURPOSE OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY OPERATIONS OF OIL TRANSPORT SYSTEMS

***Анотація.** Розглянуто механізм впливу електричного поля на реологічні властивості сирової нафти, описано технологію використання магнітореологічних властивостей нафти для підвищення ефективності експлуатації магістральних нафтопроводів та наведено інформацію про обладнання для впливу на реологічні властивості нафти в умовах магістральних нафтопроводів.*

***Ключові слова:** електричне поле, нафта, реологічні властивості, магістральний нафтопровід.*

***Аннотация.** Рассмотрен механизм воздействия электрического поля на реологические свойства сырой нефти, описана технология*

использования магнитореологических свойств нефти для повышения эффективности эксплуатации магистральных нефтепроводов, а также приведена информация об оборудовании для воздействия на реологические свойства нефти в условиях магистральных нефтепроводов.

Ключевые слова: *электрическое поле, нефть, реологические свойства, магистральный нефтепровод.*

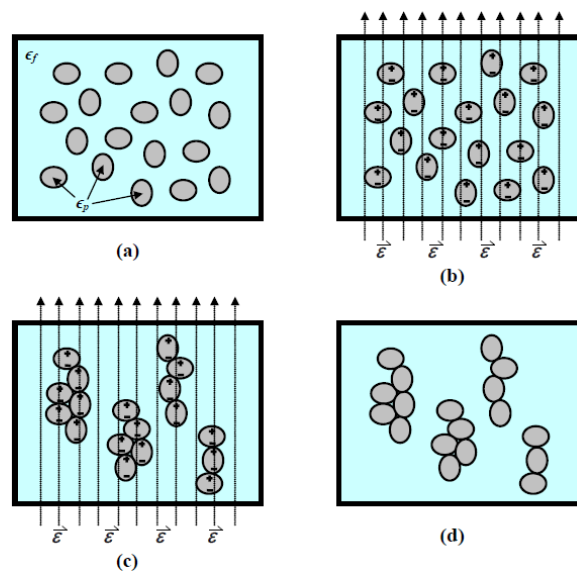
Summary. *The mechanism of influence of electric field on rheological properties of crude oil is considered, the technology of using magnetorheological properties of oil to increase the efficiency of main oil pipelines operation is described, information on equipment for influencing the rheological properties of oil in the conditions of main oil pipelines is given.*

Key words: *electric field, oil, rheological properties, main oil pipeline.*

Сира нафта – це суспензія частинок (парафінів чи асфальтенів, або їх суміші) в рідині, як показано на рис. 1(а). Рідина, що є основою для нафти складається з молекул бензину та дизелю та має в’язкість, набагато нижчу за в’язкість сирої нафти; висока в’язкість сирої нафти спричинена, в основному, суспензіями частинок в рідині [1 с. 1; 2 с. 2046]. В’язкість нафти залежить від в’язкості рідини-основи, насиченості рідини частинками та їх розмірів. Для певного об’ємного складу частинок, в’язкість нафти залежить від розмірів та розподілу частинок. Точніше, для сталої кількості(об’єму) частинок, в’язкість нафти зменшується зі збільшенням розмірів частинок. Таким чином, об’єднання менших частинок в більші в сталому об’ємі нафти може зменшити її в’язкість. Технологія, що описана нижче, змушує частинки, розчинені в нафті, тимчасово об’єднуватись в більші агрегати на час транспортування нафти трубопроводами. Об’єднані частинки поступово розпадаються на менші протягом декількох годин, і нафта повертається в початковий стан, який вона мала до об’єднання часточок (агрегації). Було показано, що електричне поле достатньої напруженості (приблизно

1кВ/мм), правильно застосоване на нафті протягом необхідного проміжку часу (приблизно кілька секунд) змушує частинки в нафті об'єднуватись так, як це було описано вище, і в результаті цього знижує в'язкість нафти. Фізичний механізм, на якому засноване це явище, продемонстровано на рис. 1 та описано нижче.

У нафті, діелектрична стала E_p частинок зазвичай нижча за сталу E_f рідини. Наприклад, в нафті частинки асфальтенів мають діелектричну сталу понад 2,7, в той час коли діелектрична стала рідини становить 2,0 – 2,2. Як показано на рисунку 1(b), застосування електричного поля E до суспензії змушує частинки електрично поляризуватись у напрямку електричного поля під час його дії. Як результат, в кожній частинці дипольний момент p , де модуль p приблизно пропорційний до $E(E_p - E_f)$.



(a) – суспензія частинок, діелектрична стала кожної з яких E_p , у рідині з діелектричною сталою E_f ;

(в) – застосування електричного поля спричинило поляризацію частинок вздовж напрямку його дії;

(с) – взаємодія диполів призвела до утворення скупчень частинок, що знаходяться у суспензії;

(d) - утворення скупчень частинок, що знаходяться у суспензії

Рис. 1. Зміна реологічного стану сирої нафти після дії на неї електричного струму

[1, с. 2]

Як показано на рисунку 1(с), електричні взаємодії між диполями змушують частинки об'єднуватись з їхніми дипольними моментами, направленими по напрямку електричного поля, утворюючи пучки (скупчення) частинок, що веде до зменшення в'язкості нафти. Як показано на рис.1(d), після зникнення поля, дипольні взаємодії припиняються. Після цього, об'єднані частинки поступово роз'єднуються в результаті броунівського руху, що поступово підвищує в'язкість нафти з часом. Процес розпаду частинок є відносно повільним і в'язкість повертається до свого початкового значення протягом декількох годин.

Якщо створені дипольні моменти є занадто великі або, якщо нафта піддається дії електричного поля довше, ніж потрібно, частинки швидко об'єднуються в макроскопічні ланцюги чи колони (комплекси) та заважають потоку рідини, і в'язкість від цього збільшується. З іншого боку, якщо дипольні моменти недостатньо сильні, а дипольні взаємодії занадто слабкі, щоб подолати тепловий Броунівський рух в рідині, об'єднання частинок не відбувається. Отже, і сила електричного поля, і тривалість його дії на нафту мають бути оптимізованими для утворення об'єднань часточок такого розміру, щоб це спричиняло зменшення в'язкості нафти. Теоретичні моделі показали, що електричне поле та час його дії, що призводять до бажаних змін в'язкості нафти, відповідно, становлять приблизно 1кВ/мм та декілька секунд, відповідно, а визначений час розпаду об'єднань частинок становить приблизно 2 години.

У випадку застосування електричного поля до суспензії в стані потоку, як в випадку з транспортуванням нафти трубопроводом, положення електричного поля відносно потоку рідини має також враховуватись. Як це схематично показано на рис. 1(с) та 1(d), об'єднані частинки зазвичай орієнтуються у напрямку електричного поля. Як показано на рис. 2(a), якщо поле не є паралельним до напрямку потоку рідини, то видовжені об'єднання частинок можуть обертатись через виникнення обертового моменту, а це

дестабілізує в'язкість нафти. З іншого боку, якщо поле паралельне до напрямку потоку рідини, як це показано на рис 2(в), довгі осі видовжених частинок паралельні до потоку рідини, а це запобігає обертовому руху частинок та знижує в'язкість нафти. Отже, зниження в'язкості нафти найкраще досягається при використанні електричних полів, паралельних до напрямку потоку рідини.

Електричні поля отримують шляхом створення високої напруги між двома провідниками. Необхідне електричне поле для вище описаного застосування утворюється від створення напруги між двома паралельними пластинками конденсатора. У випадку, коли відстань d між пластинами набагато менша за геометричні розміри пластинок, електричне поле поза пластинками дорівнює нулю, а електричне поле між пластинками стало в усіх точках(окрім зовнішніх країв пластин). Отже, для даної відстані між пластинами d , сила (інтенсивність) електричного поля може регулюватись за допомогою підведення необхідної напруги.

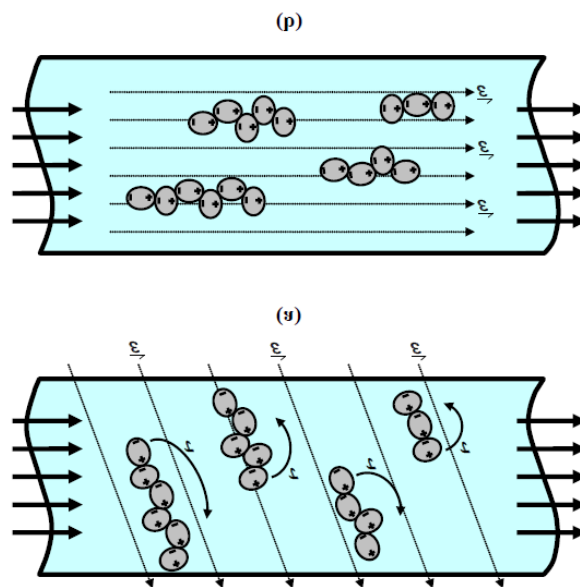


Рис. 2. Вплив напрямку електричного поля на орієнтацію скупчень частинок
[1, с. 4]

Потрібно зауважити, що коли діелектричний матеріал з діелектричною сталою, що змінюється в просторі, яким і є сира нафта, знаходиться між пластинами, хоча напрямок електричного поля залишається таким самим, як і показано на рис.3, сила електричного поля між пластинами не є однаковою по всьому об'єму діелектричного матеріалу. Але, усереднене значення сили електричного поля між пластинами становить V/d . Для застосування електричного поля на сирій нафті, що тече трубопроводом з напрямком, паралельним до напрямку протікання нафти, пристрій з паралельними пластинами можна помістити всередину трубопроводу.

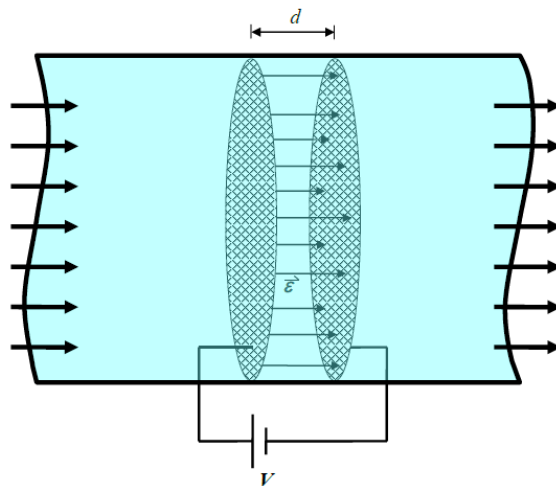


Рис. 3. Конденсатор з металевих сіток, розміщених у трубі, створює електричне поле, паралельне до напрямку потоку рідини [1, с. 6]

Однак, нафті потрібно безперешкодно протікати через пластини. Через це, замість двох суцільних пластин використовують дві металеві сітки. На рис. 3, рідина що знаходиться на краях ділянки з сильним електричним полем піддається дії слабого електричного поля, або не піддається дії поля взагалі, а рідина, що розміщена між двох металевих сіток, піддається полю з середнім значенням $E=V/d$, що напрямлене в одному напрямку з потоком рідини. Кількість часу, під час якого певна частина рідини піддається дії електричного поля дорівнює часу $T=d/v$, за

який рідина проходить відстань між двома сітками, де v -швидкість руху рідини.

Необхідне електричне поле E разом з напругою V , що подається з джерела напруги, визначає відстань d між металевими сітками. В звичайних випадках відстань d дає забезпечує проміжок часу проходження рідини через поле T , який є занадто коротким для того, щоб відбулась зміна в'язкості нафти. Отже, N сіткових конденсаторів можуть бути встановлені послідовно, і при цьому час проходження рідини через поле буде становити $T=Nd/v$.

Послідовне розміщення кількох металевих сіток безпосередньо в основній лінії трубопроводу є небажаним, бо це може спричинити низку проблем з обслуговуванням та безпекою трубопроводу. Через це необхідно використовувати лінію байпасу, в яку нафта відбирається з основного трубопроводу, а потім повертається в основний трубопровід, як це показано на рис.4.

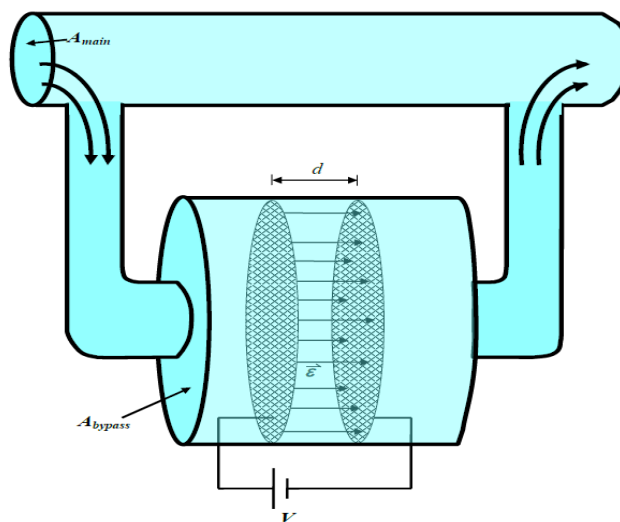


Рис. 4. Байпасна лінія, яку використовують для подачі імпульсу електричного поля до сирої нафти під час її транспортування трубопроводом [1, с. 8]

Як було описано раніше, після того, як нафта проходить через електричне поле, її в'язкість є значно зниженою. При її подальшому русі

трубопроводом, через декілька годин її в'язкість поступово збільшується. Отже, "станції з електричними полями", описані вище, можна встановлювати періодично по трасі трубопроводу. Як вже зазначалось, цей процес не змінює ні температури, ні хімічного складу нафти. Отже, всі процеси, пов'язані з видобутком, переробкою, транспортом та використанням нафти залишаються незмінними.

Описане явище знайшло застосування у технології АОТTM, розробленій вченими Temple University у співпраці з Save the World Air (STWA) (США). Зниження в'язкості за допомогою АОТTM має тимчасовий ефект, який триває протягом 12-48 годин. Після чого нафта повертається до свого природного реологічного стану. Технологія змінює молекулярну структуру сирої нафти, щоб зменшити тертя між частинками рідини зсередини. Для цього, компанія STWA розробила унікальний пристрій, що легко встановлюється, під назвою АОТTM, який слід розташовувати на магістральних трубопроводах кожні 50-200 км.

Установка АОТTM направляє потік нафти із трубопроводу в ряд великих вертикальних або горизонтальних ємностей, які працюють з надлишковим тиском (рис. 5). У міру того як сира нафта проходить через посудини високого тиску, внутрішнє обладнання за короткий час обробляє сиру нафту електричним струмом. Це необхідно для того, щоб заставити частинки парафіну, або асфальтену, розчинені у сирій нафті, агрегуватися в мікроскопічні скупчення твердих частинок, впорядковані, як показано на рис. 2.

Знижена в'язкість рідини дає можливість трубопроводу працювати з меншими втратами напору на тертя для заданої швидкості потоку і заданого робочого тиску. Насоси в свою чергу, витратять менше енергії на транспортування, тим самим заощаджуючи енергію, що робить установку АОТTM по-справжньому "зеленим" продуктом. Установку АОТTM встановлюють на насосних станціях з метою зменшення в'язкості сирої

нафти, що транспортується трубопроводом. Пристрої розміщують в стандартних ємностях високого тиску, який може змінюватись в межах від необхідного номінального тиску 600psi (4,14 МПа) до максимально допустимого робочого тиску 3000psi (20,68 МПа). Одна ємність АОТTM має пропускну здатність 5000 галонів за хвилину (19 м³/хв). Наприклад, як зображено на рис. 5, основний трубопровід з витратою 20000 галонів в хвилину (4560 м³/год) потребує паралельного встановлення чотирьох ємностей АОТTM. Це дозволяє створити стандартизований дизайн який можна адаптувати до магістральних нафтопроводів будь-якого діаметра.



Рис. 5. Установка АОТTM [3]

Технології та методи, описані вище, можуть мати значний вплив на цілий ряд операцій з транспортування та переміщення рідин. В конкретному випадку, ці методи можуть застосовуватись для тимчасового зменшення в'язкості сирої нафти під час її транспортування, що дасть можливість знизити потужність насосів, необхідну для забезпечення тієї самої витрати, або для збільшення витрат нафти при сталій потужності, підведених до насосів. Однак, в загальному, ці методи надають механізм, за допомогою якого в'язкість суспензії може регулюватись електричним полем без зміни температури та складу транспортованої рідини.

Літэратура

1. Technology Note: Applied Oil Technology (AOT) System Investor Relations. URL: www.irthcommunications.com
2. Tao R., X. Xu Reducing the Viscosity of Crude Oil by Pulsed Electric or Magnetic Field. *Energy & Fuels*. 2006 (20). P. 2046-2051.
3. Kezdi M. STWA brings AOT to market. *North American Energy*. URL: <https://www.napipelines.com/stwa-brings-aot-market>