

Дослідження та методи аналізу

УДК 621.64.029+548.56

ФІЗИЧНІ ЯВИЩА ТА ЕФЕКТИ ВПЛИВУ ЗМІННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА РЕОЛОГІЮ СТРУКТУРОВАНОЇ НАФТИ

О.Є. Федоров

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090,
e-mail: fedorov250240@rambler.ru

Встановлено, що основним фізичним явищем впливу змінного електричного поля на реологію структурованої нафти є його орієнтаційна дія на полярні молекули смол і асфальтенів. Ця дія призводить до послаблення зв'язків в просторовій структурі нафти. Наслідком такого послаблення є суттєві зміни реологічних властивостей структурованої нафти, зменшення її напруження зсуву втричі. Крім того, електричне поле є причиною особливих оборотних змін в'язкості нафти. Ці особливі зміни пояснюються фізичним явищем електрореологічного ефекту.

Ключові слова: реологічні властивості нафти, вплив фізичних полів, електрореологічний ефект.

Установлено, что основным физическим явлением влияния переменного электрического поля на реологию структурированной нефти поля является его ориентационное воздействие на полярные молекулы смол и асфальтенов. Это воздействие приводит к ослаблению связей в пространственной структуре нефти. Следствием такого ослабления являются существенные изменения реологических свойств структурированной нефти, уменьшение ее напряжения сдвига в три раза. Кроме того, электрическое поле приводит к особым обратимым изменениям вязкости нефти. Эти особые изменения объясняются физическим явлением электрореологического эффекта.

Ключевые слова: реология нефти, влияние физических полей, электрореологический эффект.

It is set that, the basic physical phenomenon of influence variable electric field on rheology of structured oil is orientation action on the polar molecules of resins and asphaltens. Due to this action the couplings in spatial structure of oil become weak. As a result of such weakening there are substantial changes of rheology properties of structured oil, diminishing of its stress of shift in three times. In addition, the electric field lead to reversible changes viscosity of oil. These special changes are explained the physical phenomenon of electrorheological effect.

Keywords: rheology of oil, influence of physical fields, electrorheological effect.

Питання впливу фізичних полів на реологічні властивості структурованих систем мають значне наукове та практичне значення. Особливо це стосується структурованої високов'язкої нафти, видобуток і транспортування якої стикаються з ускладненнями. Тому постійно ведуться пошуки ефективних методів покращення реологічних властивостей такої нафти. Тут під покращенням реологічних властивостей структурованої нафти треба розуміти зменшення її напружень зсуву та в'язкості. Одним з практичних методів такого покращення є застосування фізичних полів. Слід зауважити, що саме для розв'язання з практичних завдань впливу фізичних полів на реологію різних систем з'явилися окремі підрозділи реології. Так, віброреологія вивчає вплив вібрацій та акустич-

них полів, а електромагнітореологія розглядає вплив електричних та магнітних полів. Що стосується дії магнітного поля, то теоретичні та експериментальні дані про його вплив на реологію різних систем інколи досить суперечливі. Причиною такої суперечливості, як вважає автор [1], є некоректність та фізично не чисто поставлені експерименти. Дійсно, якщо в системі відсутні феромагнетики або, навіть, парамагнетики, то можливі зміни реологічних параметрів системи за рахунок інших випадкових чинників можуть бути помилково тлумаченні як результат дії магнітного поля. Тому не без підстав Лесін В.І. [2] вважає, що необхідною умовою суттєвого впливу магнітної обробки повинна бути наявність феромагнітних домішок. Ці домішки є осередками, що дають можливість до-

сягти необхідної ефективності дії магнітного поля. В останніх працях науковці Уфимського нафтового університету [3] вважають застосування магнітних полів ефективним методом інтенсифікації різних технологічних процесів, тому питанням застосування магнітного поля в різних технологічних процесах продовжує надалі приділятися постійна увага, а в технічних та наукових публікаціях з цих питань навіть почала вживатися аббревіатура МО (магнітна обробка). За минулий час опубліковано багато статей, оглядів, монографій, кількість яких обчислюється тисячами, і, навіть, десятками тисяч, в яких акцент робиться, перш за все, на практичну корисність застосування МО. Відбулись і відбуваються численні конференції і наради з практики застосування МО, і це все не зважаючи на недостатню вивченість самого механізму МО та інколи суперечність отриманих результатів. Основною причиною, що спонукає звертати особливу увагу на МО є, в першу чергу, безенергетичність такого методу або надзвичайно малі енергетичні та матеріальні затрати його проведення. Образно кажучи – виготовили магніт, встановили в необхідному місці технологічної ланки процесу і отримуємо бажаний результат – чи то зменшення утворення накипу, чи то зменшення в'язкості системи, чи покращення інших параметрів і т.п. Але не завжди МО забезпечує необхідний результат, і тоді звертаються до інших методів. Тому, якщо не діє магнітне поле, то чому б не застосувати електричне поле. Дійсно, існують беззаперечні явища та фізичні ефекти, які вказують на ефективність дії електричного поля на реологічні властивості дисперсних систем, в тому числі і нафти. Але така дія вивчена недостатньо повно, що стримує практичне застосування методу дії електричного поля, який можна назвати ЕО (електричною обробкою) – за аналогією до МО. Комбінуючи дію електричного і магнітного полів доцільно говорити про ЕМО (електромагнітну обробку). Дана робота є продовженням раніше проведених автором досліджень впливу електричного поля на реологічні властивості структурованої нафти, де дається бачення отриманих результатів як прояви окремих фізичних явищ та ефектів. Дослідження проводились на видозміненому ротаційному віскозиметрі. Видозміна торкнулась лише вимірної частини приладу, а саме: внутрішній і зовнішній циліндри ротаційного віскозиметра одночасно виконували роль електродів, між якими в нафті створювалось електричне поле. Об'єктом досліджень була вибрана нафта Битківського родовища.

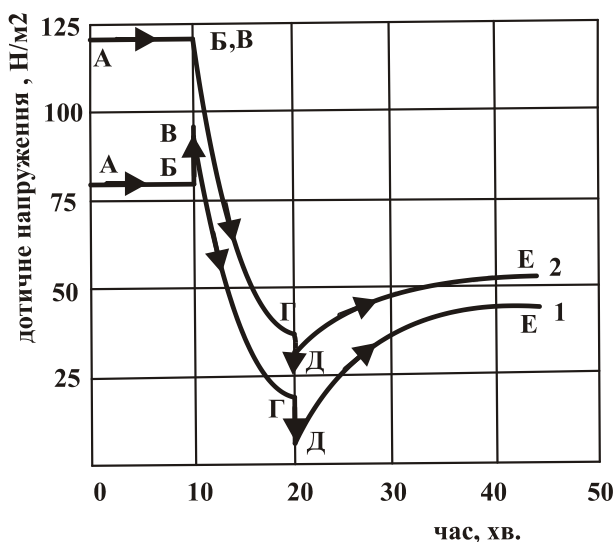
До складу експериментального взірця нафти входили такі компоненти: парафін – 10,6%, 22% смол і 22% асфальтенів. Були отримані повні реологічні криві такої нафти в широкому інтервалі температур: від 12⁰С, коли нафта набуває різко виражених наданомальних реологічних властивостей, до 30⁰С, коли дана нафта стає ньютонівською системою без проявів аномалій в'язкості. Якщо на дану нафту температурою 12⁰С протягом 10 хвилин діяти змінним

електричним полем частотою 50 Гц і напруженістю 40 кВ/см, відбудеться значне покращення її реологічних властивостей. Це покращення полягає в зменшенні максимального напруження зсуву з 550 до 150 Н/м². При 18⁰С таке ж електричне поле зменшує напруження зсуву досліджуваної нафти з 75 Н/м² до 50 Н/м². Тобто, отримано характерний результат – електричне поле тим більше покращує реологічні властивості нафти, чим менша її температура і чим більша її в'язкість.

Щоб в'яснити механізм дії змінного електричного поля на в'язкість нафти, необхідно відокремити тепловий ефект впливу поля на нафту від безпосередньої дії змінного електричного поля на її просторову структуру. Тому в усіх дослідах під час обробки і після обробки змінним електричним полем температура нафти у віскозиметрі підтримувалась у заданому режимі. Отже, зміщення реологічних кривих нафти в бік менших дотичних напружень зумовлене не тепловою дією змінного електричного поля, а руйнуванням просторової структури нафти. Тут відбувається орієнтаційна дія змінного поля на полярні молекули смол і асфальтенів, яка призводить до послаблення зв'язків в просторовій структурі нафти.

Під час проведення дослідів з впливом електричного поля на реологічні властивості структурованої нафти був помічений особливий ефект. А саме, в момент вмикання і вимикання електричного поля в нафті відбувалися стрибкоподібні зміни її в'язкості. Ці стрибкоподібні зміни є проявом особливого фізичного явища під назвою електрореологічний ефект, який полягає у зворотних процесах змін в'язкості неводних дисперсних систем в електричному полі [4]. Цей ефект досліджувався багатьма авторами в штучно створених дисперсних системах з активованого силікагелю в неполярних рідких вуглеводнях (наприклад бензолі). При цьому було встановлено, що під дією сильного електричного поля (~ 10⁴ В/см) в'язкість такої електрореологічної суспензії може збільшуватись у сотні разів. Структурована нафта являє собою природну електрореологічну суспензію, в якій теж повинен існувати електрореологічний ефект. Для підтвердження наявності такого ефекту були проведені наступні дослідження.

У віскозиметр вводилась нафта, яка витримувалась у стані спокою 2 години, а потім циліндри віскозиметра приводились у рух. Після того, як наступав установлений режим течії (дотичне напруження вже не змінювалось), між коаксіальними циліндрами приладу створювалось змінне електричне поле, яке діяло на нафту протягом 10 хвилин і протягом цього часу реєструвались зміни дотичного напруження. Після вимикання поля, коли обертання циліндра віскозиметра не зупинялось, продовжувалась реєстрація залежності дотичного напруження від часу. На рис. 1 наведена отримана експериментальна залежність дотичного напруження від часу для досліджуваної нафти за різних температур і швидкості деформації 0,5 с⁻¹.



Температура нафти, °С: 1 – 18, 2 – 14

А-Б – течія без впливу електричного поля,
Б-В-Г-Д – дія на нафту змінним електричним
полем частотою 50 гц і напруженістю 40 кВ/см,
Д-Е – після припинення дії електричного поля

Рисунок 1 – Криві течії структурованої нафти

На отриманих експериментальних кривих можна виділити такі основні характерні ділянки:

А-Б - встановлений режим течії нафти без дії електричного поля.

Б-В - стрибкоподібне збільшення в'язкості в момент вмикання електричного поля. Тут під дією електричного поля спостерігається саме електрореологічний ефект. Це означає, що електричне поле орієнтує полярні компоненти, утворюючи тим самим додаткову структуру в нафті, що зумовлює збільшення її в'язкості.

В-Г - це дія на структуровану нафту змінним електричним полем. Під дією цього змінного електричного поля відбувається руйнування природної структури нафти і її в'язкість зменшується.

Г-Д - другий стрибок в'язкості відбувається в момент вимкання поля: в'язкість стрибкоподібно зменшується. Причиною такого зменшення є прояв електрореологічного ефекту. Дійсно, в момент вимкання електричного поля зникає додаткова структура нафти створена цим полем.

Д-Е - вихід на встановлений режим деформації.

Якщо порівняти отримані залежності за різних температур, то бачимо за меншої температури (крива 2) перший стрибок дотичного напруження відсутній, точки Б та В збігаються. Це означає, що для даної нафти за температури 14°C початковий електрореологічний ефект відсутній, тобто в нафті наявна міцна просторова структура тому в момент вмикання електричного поля не відбувається суттєвої зміни цієї структури.

Відтак під дією змінного поля відбувається руйнування структури і одночасно створюється додаткова структура, що призводить до появи електрореологічного ефекту.

Крім того, що отримані експериментальні дані вказують на прояв електрореологічного ефекту в нафті, не менш важливим є і те, що змінне електричне поле, руйнуючи природну структуру нафти, значно зменшує її в'язкість. Тут також слід наголосити, що зруйнована електричним полем структура нафти повністю не відновлюється, тому дія електричного поля на нафту є дійсно одним з ефективних методів зменшення її в'язкості.

Отже, підсумовуючи отримані експериментальні дані про вплив змінного електричного поля на реологію структурованої нафти, можна стверджувати, що основним фізичним явищем, яке призводить до покращення реологічних властивостей структурованої нафти є орієнтаційна дія змінного поля на її полярні компоненти. Наслідком цієї дії є руйнування просторової структури даної нафти. Крім того, електричне поле зумовлює в нафті електрореологічний ефект, який спостерігається тільки в момент вмикання і вимкання поля.

Література

- 1 Очков.Ф.Н. Магнитная обработка воды: история и современное состояние / Ф.Н.Очков // Энергоснабжение и водоподготовка. – 2006. – №2. – С. 48-53/
- 2 Лесин В.И. Физико-химические основы нетеплового воздействия электромагнитных и акустических полей на нефть для предотвращения отложения парафинов // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 37 – 39.
- 3 Фатыхов М.А. Воздействие электромагнитного поля на процесс кристаллизации парафина / М.А.Фатыхов, Н.Я. Багаутдинов // Нефтегазовое дело. – 2007. – №11. – С.145-155.
- 4 Шульман З.П. Магнитореологический эффект [Текст] / З.П.Шульман, В.И. Кордонский. – Минск: Наука и техника, 1982. – 174 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
20.01.10

Рекомендована до друку професором
Сердюк М.Д.