

УДК 389.1

А.В. Мандрика, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ У НАФТОВОДНЕВІЙ ЕМУЛЬСІЇ

В статті приведені результати досліджень залежності швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль у нафтоводневій емульсії від її вологості (відсоткового об'ємного складу води в емульсії), температури і ступеня мінералізації.

Ключові слова: ультразвукові хвилі, нафтоводнева емульсія, швидкість звуку.

Вступ

Постановка задачі. Вологість газів, рідин і твердих матеріалів – один із важливих показників у технологічних процесах. Для вирішення задачі підвищення точності обліку сирової нафти у місцях видобутку розроблені ультразвукові прилади, які дозволяють виміряти вологість нафтоводневої емульсії по швидкості розповсюдження в ній ультразвукових (УЗ) хвиль, тому питання, що призначені дослідженню швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль у нафтоводневій емульсії є актуальними у нафтопереробній промисловості України.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 5] приведений аналіз ультразвукових імпульсних методів вимірювань вологості нафти. В літературі [1] наведено схеми ультразвукового вимірювача швидкості звуку. В літературі [2] розглянуто поняття вологості як фізичної величини. В літературі [3] наведено схеми витрати компонентів багатофазного потоку. В літературі [4] розглянуто поняття, наведені методи вимірювання якості й кількості нафти при зборі, транспортуванні, переробці і приватному обліку. В літературі [5] розглянуто поняття вимірювання вологості. Але в цих джерелах не розглянуті питання, які пов'язані з дослідженням швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль у нафтоводневій емульсії.

Метою статті є дослідження швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль у нафтоводневій емульсії.

Основний матеріал

Вимірювання вологості нафтоводневої емульсії основане на монотонній (зазвичай близькій до лінійної) залежності швидкості УЗ хвиль в ній від величини вологості [1]. При цьому похибка вимірювань суттєво залежить від обліку впливу на цю залежність температури і ступеня мінералізації нафтоводневої емульсії [2]. Так, в основі принципу побудови УЗ датчика вологості нафти лежить залежність швидкості розповсюдження звуку у досліджуваному середовищі від вологості. При температурах вище 20°C при умові визначення датчиком швидкості звуку з похибкою не більше 1 м/с концентрацію нафти

у двохкомпонентній емульсії нафта – вода можна визначити з похибкою не більше 2%.

На рис. 1 показана схема прийомопередаючої системи, яка використовується у експериментальних дослідженнях. Розглянемо її.



Рис. 1. Схема прийомопередаючої системи для дослідження швидкості звуку в емульсії

Установка складається з двох закріплених на штативах однакових пластин, що розміщені у контролюючу рідину. Пластини виготовлені з нержавіючої сталі, з передньої сторони яких припаяні п'єзокерамічні диски з матеріалу ЦТС – 19 товщиною 0,5 мм. Відстань між пластинами – 15,6 мм. Одна з пластин під'єднана до генератора імпульсів Г5-54, джерелу збудження, інша – до осцилографу Tektronix TDS 3032B. Амплітуда відео імпульсів, що подаються на випромінюючий п'єзоелемент, близько 70 В, тривалість – 0,2 мкс. Вимірювання проводились на частоті близько 2,5 МГц. Характерна форма сигналу на прийомному елементі показана на рис. 2. Швидкість звуку у рідині вимірювалась за

$$T = T_1 - T_2 / C = L / T, \quad (1)$$

де T_1 – час першого напівперіоду, мкс; T_2 – час другого напівперіоду, мкс; C – швидкість звуку у рідині, км/с; L – довжина імпульсу, мм. Час T_2 співпадає з позитивним фронтом збуджуючого сигналу. Час T_1 відповідає початку першого напівперіоду приймаючого сигналу на рівні 0,2 від його амплітуди. Наприклад, з даних на рис. 2. отримуємо:

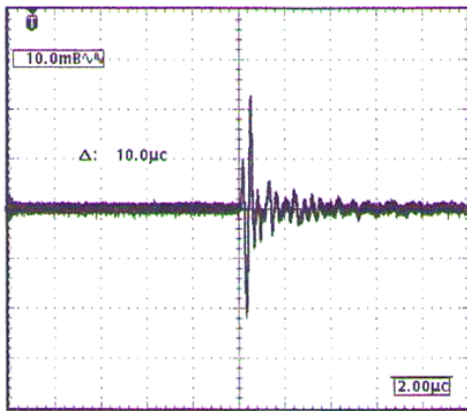


Рис. 2. Форма сигналу на прийомному п'єзоелементі

$$C = 15,6 \text{ мм} / 10 \text{ мкс} = 1,56 \text{ км} / \text{с} \quad (2)$$

Перевірка якості роботи вимірювальної системи виконувалась за допомогою вимірювання швидкості звуку в чистій дистильованій воді і зіставленням результатів з відомими значеннями. Отримана залежність швидкості звуку від температури приведена на рис. 3. Відносна похибка виміряних значень від відомих даних для дистильованої води не перевищила 0,1 %. Для практичного використання УЗ вимірювачів вологості на вітчизняних місцях народження необхідна інформація про швидкість розповсюдження УЗ коливань у нафті, воді з різним ступенем мінералізації M і нафтоводневих емульсіях в залежності від температури в діапазоні $-20 \dots +60^\circ\text{C}$ [4].

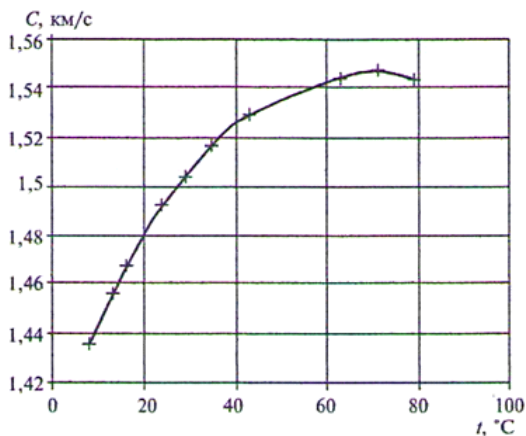


Рис. 3. Залежність швидкості звуку у воді від температури

При вимірюванні швидкості звуку у вказаних середовищах за допомогою термостатування, система підігріву (охолодження) термостату забезпечує можливість підтримувати температуру досліджуваної рідини постійної в інтервалі від -25 до $+80^\circ\text{C}$ з похибкою $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Результати вимірювання швидкості звуку у нафті і воді приведені на рис. 4.

Нафтоводнева емульсія приготована з використанням дистильованої води, хлориду натрію і нафти шляхом перемішування компонентів міксером під час 3 хв при швидкості обертання 20×10^3 хв.

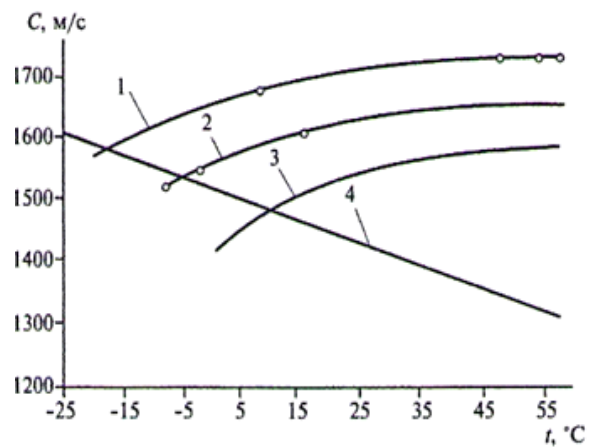


Рис. 4. Залежність швидкості звуку в нафті і воді з різним ступенем мінералізації: 1 – вода з $M = 180$ г/л; 2 – вода з $M = 100$ г/л; 3 – вода дистильована; 4 – нафта.

Характерний вид залежності швидкості звуку у нафтоводневій емульсії від вологості наведений на рис. 5.

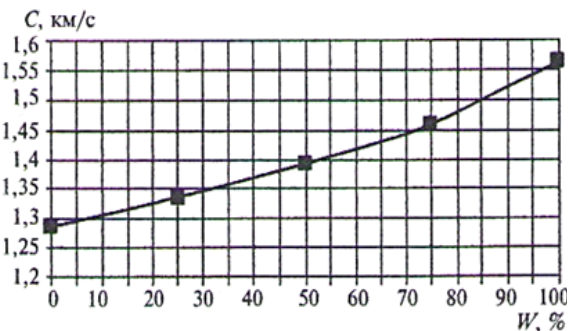


Рис. 5. Залежність швидкості звуку у нафтоводневій емульсії від її вологості

Дослідження проводились при кімнатній температурі $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Залежність швидкості звуку в емульсіях від вологості носить практично лінійний характер. При зменшенні концентрації нафти в емульсії швидкість звуку монотонно збільшується, при цьому зміни відбуваються від значення у зневодненій нафті до величини швидкості звуку у воді (рис. 6).

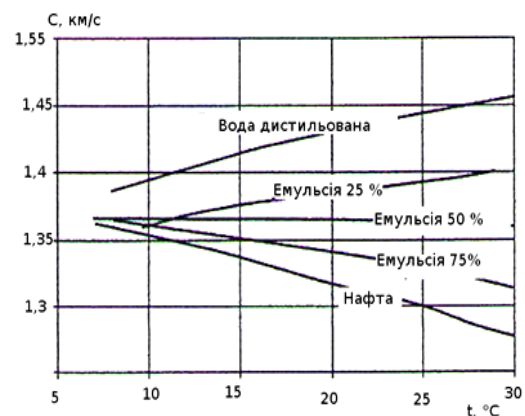


Рис. 6. Залежність швидкості звуку в емульсіях з різною вологістю від температури

Відзначимо той факт, що кут нахилу характеристики (швидкості звуку в емульсіях) збільшується при збільшенні температури [3]. Як відомо, відносні зміни швидкості ультразвуку у водозмістовних середовищах досягають 0,8 % на 1 °С. Тому було досліджено залежності швидкості звуку від температури, як у гомогенних середовищах, що складають компоненти емульсії, так і у гетерогенних середовищах – нафтоводневих емульсіях (рис. 4, 6). З даних рис. 5 можна зробити висновок про те, що у двохкомпонентній нафтоводневій емульсії у робочому діапазоні температур виконується таке відношення:

$$C_{\text{см}}^t = WC_{\text{вода}}^t + (1 - W)C_{\text{нафта}}^t, \quad (3)$$

де W – значення вологості емульсії; $C_{\text{см}}^t$, $C_{\text{вода}}^t$, $C_{\text{нафта}}^t$ – швидкості звуку у суміші вода – нафта, у воді і у нафті, відповідно.

Значення трьох швидкостей будемо брати при температурі вимірювання вологості t . При виконанні відношення (3) має місце однозначний вираз для концентрації води у двохкомпонентній суміші вода – нафта у вигляді:

$$W = \frac{C_{\text{см}}^t - C_{\text{нафта}}^t}{C_{\text{вода}}^t - C_{\text{нафта}}^t}, \quad (4)$$

завдяки чому можна зробити висновок про те, що по вимірюванням швидкості ультразвуку $C_{\text{см}}^t$ у нафтоводневій емульсії може бути визначена її вологість. Значення швидкостей $C_{\text{вода}}^t$ і $C_{\text{нафта}}^t$ при температурі вимірювань t визначаються в процесі калібрування безпосередньо на свердловині у товарній нафті та підтоварній воді.

Невизначеність виникає при тих значеннях температури, де величина швидкості звуку у воді близька до величини швидкості звуку в нафті. З даних рис. 6. бачимо, що доступний робочий діапазон вимірюваних швидкостей у нафтоводневій емульсії зростає при збільшенні температури від 7 – 8 °С (точка невизначеності, де визначення концентрації води практично неможливо) до 45 °С і вище. Звернемось до рис. 4. Гранична концентрація солі M у дистильованій воді складає близько 200 г/л. При концентраціях, що перевищують граничну, NaCl починає випадати в осад. Значення швидкості звуку зростає при підвищенні концентрації солі в розчині, і при граничній концентрації буде знаходитись при-

лизно у два рази вище отриманої експериментальної залежності для розсолу з $M = 100$ г/л. Велика залежність швидкості звуку у воді від концентрації розчинених у ній мінеральних речовин є додатковим джерелом похибки при визначенні концентрації компонентів в суміші вода – нафта. Але наявність мінералізації з високою концентрацією значно розширює доступний діапазон у вимірюванні швидкостей звуку у двохкомпонентній емульсії. Крім того, при підвищенні мінералізації точка невизначеності зсувається в бік зниження температури (при значенні концентрації солі 100 г/л ця точка опускається до значення близько – 10 °С), що також є позитивним фактором.

Висновок

Вологоміри, основані на використанні ультразвуку, для вимірювання параметрів нафтоводневої емульсії найбільш перспективні завдяки високій точності, невеликій вартості, простоті і екологічності експлуатації. У двохкомпонентній нафтоводневій емульсії у робочому діапазоні температур виконується відношення значення вологості емульсії до швидкості звуку у суміші вода – нафта.

Кут нахилу характеристики (швидкості звуку в емульсіях) збільшується при збільшенні температури.

Список літератури

1. Мельников В.И. Анализ ультразвуковых импульсных методов измерений влажности нефти / В.И. Мельников, С.А. Лабутин., Д.А. Шаронов // Датчики и системы. – 2006. – № 1. – С. 34-41.
2. Физические величины. Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 466 с.
3. Дробков В.П. Ультразвуковой измеритель скорости и расхода компонентов многофазного потока / В.П. Дробков, В.И. Мельников, С.А. Лабутин // Измерительная техника. – 2002. – № 12. – С. 35-39.
4. Измерение количества и качества нефти и нефтепродуктов при сборе, транспортировке, переработке и коммерческом учете / Н.И. Ханов, А.Ш. Фатхутдинов, М.А. Слепая и др. . – С-Пб: Изд-во С-Пб гос.ун-та экономики и финансов, 2000. – 322 с.
5. Берлинер М.А. Измерения влажности / М.А. Берлинер. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

Надійшла до редколегії 1.04.2011

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків

ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В НЕФТЕВОДЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

А.В. Мандрыка, А.Н. Науменко

В статье приведены результаты исследований зависимости скорости распространения ультразвуковых волн в нефтеводной эмульсии от ее влажности (процентного объемного содержания воды в эмульсии), температуры и степени минерализации.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, нефтеводная эмульсия, скорость звука.

RESEARCHES OF SPEED OF DISTRIBUTION OF ULTRASONIC WAVES IN THE PETROWATER EMULSION

A.V. Mandruka, A.N. Naymenko

In article results of researches of dependence of speed of distribution of ultrasonic waves in a petrowater emulsion from its humidity (the percentage volume maintenance of water in an emulsion), temperatures and mineralization degrees are resulted.

Keywords: Ultrasonic waves, petrowater emulsion, speed of a sound.