

УДК 167:537.212

Зубченко О.М.**Жук А.П.****Павлюх Л.І.***(Національний авіаційний університет)***Коваль О.Д.***(Національний технічний університет України НТУУ «КПІ»)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ РІДИН У СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

В данной работе представлена схема устройства для очистки органических жидкостей под действием сил электрического поля. Данное устройство дает возможность не только снизить содержание механических примесей, а и снизить концентрацию воды в жидком топливе.

In a given work the design of device for purification of organic liquids under the action of electric-field forces is represented. This device gives a possibility not only to reduce content of mechanical admixtures but also reduce the concentration of water in a liquid fuel.

Вступ

Проблема очищення нафтопродуктів на сьогоднішній день дуже актуальна, оскільки від потрібного класу чистоти нафтопродукту, особливо авіаційного гасу, залежить термін експлуатації транспортних засобів. Від наявності води в гасі прямо пропорційно залежить надійність роботи паливної системи повітряного судна.

У гасі може бути присутня вода у двох станах: розчиненому і у вигляді емульсії. Вода як у розчиненому стані, так і у вигляді емульсії впливає на процес очищення гасу. Кількість води в гасі, в залежності від хімічного складу, температури навколишнього середовища, відносної вологості контактуючого з поверхнею рідини повітря, змінюється від 0,001 до 0,018% в вазі і більше. Присутні в гасі продукти електроіскрової обробки адсорбують з нього воду. Зневоднений гас відновлює концентрацію розчиненої води, поглинаючи її з оточуючого повітря. У результаті загальна концентрація води в забрудненому гасі стає ще більшою [1].

Основна частина

Існує декілька способів зневоднення органічних рідин: зневоднення за допомогою хімічних осушувачів, виморожування, центрифугування з вакуумуванням, центрифугування з випаровуванням, тонкошарове центрифугування, вакуумне осушування, осушування молекулярними ситами, коалесценція, обезводнення за допомогою дегідраторів, електрообезводнення. Але всі ці способи зневоднення неприйнятні для очищення гасу від продуктів електроіскрової обробки, так як установки, що реалізують ці способи (всі перелічені способи за винятком першого), складні та громіздкі, видаляють тільки емульговану воду (обезводнення дегідраторами, електрообезводнення), швидко забиваються частинками забруднень (осушування молекулярними ситами), повільно діють і вимагають введення хімічних речовин в рідину (обезводнення за допомогою хімічних осушувачів). Осушувач в установці для очищення гасу має бути малогабаритним, економічним та забезпечувати продуктивність не менше ніж 3-5 л/хв [2].

$$W = -\frac{2}{3} \pi E^2 R^3 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}, \quad (1)$$

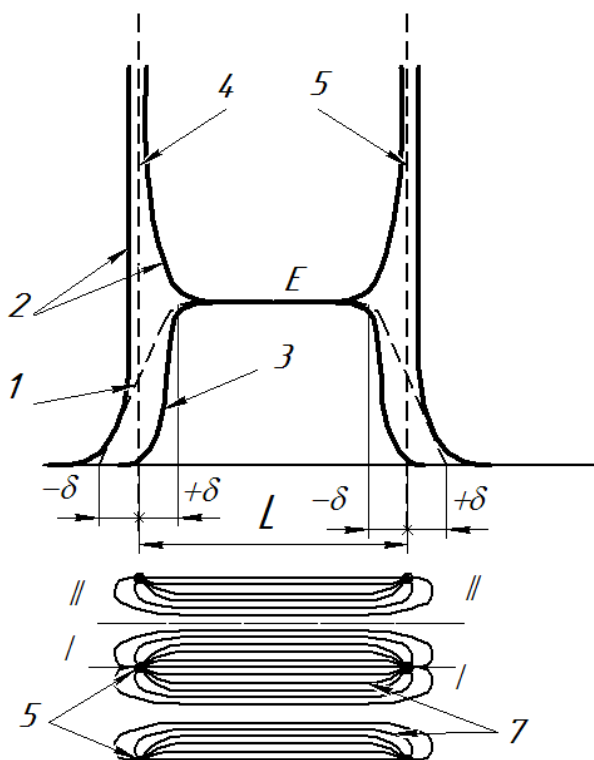
$$F_v = -\frac{2}{3} \pi R^3 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \text{grad} E^2, \quad (2)$$

де E - напруженість електричного поля; R – радіус включень (частинок); ε_1 – діелектрична проникність включень; ε_2 – діелектрична проникність середовища.

Представляє інтерес описаний в [1] спосіб відділення побічних включень з потоку діелектричного середовища в неоднорідному електричному полі. На основі загальних законів термодинаміки отримані вирази для вільної енергії W системи, що включає повний об'єм нейтральної рідини разом із системою зарядів та включеннями, і вираз для сили F_e , що діє на включення.

Автори [1] розглядають переміщення частинки вздовж осі x в області між двома сітчастими електродами (рис.1), приймаючи, що напруженість електричного поля в сітці змінюється прямолинійно (крива 1). Якщо частинка знаходиться на відстані $\pm \delta$ від сітки, то при такому розподілі E частинки з $\epsilon_1 > \epsilon_2$ будуть затягатися в область $L-2\delta$, де E має найбільше значення, а частинки з $\epsilon_1 < \epsilon_2$ будуть виштовхуватися за межі області $L+2\delta$.

Однак, з електростатики відомо, що розподіл E в площині I – I (рис. 1, б), що проходить через центр дроту, буде змінюватися по кривій 2 (рис. 1, а), а в площині II – II, що проходить по середині між проводами, буде змінюватися по кривій 3. З цього випливає, що частинки з $\epsilon_1 > \epsilon_2$, які знаходяться поблизу площини I – I будуть притягатися до проводу як з області поза електродів, так і з між електродного простору, що мало б спричинити їх осідання на проводах. Такі ж частинки, що знаходяться в площині II – II, не будуть підлягати впливу електричного поля при наближенні до сітки не з між електродного простору, а пройшовши сітку, будуть втягуватися в область $L-2\delta$. Якщо ж ці частинки наближаються до сітки з між електродного простору, вони будуть відштовхуватися від неї.



1 – розподіл E по даним [1]; 2 – розподіл E в розрізі I – I; розподіл E в розрізі II – II;
4, 5 – сітчасті електроди; 7 – силові лінії електричного поля.

Рис. 1. - Розподіл напруженості E (а) та силових ліній (б) електричного поля, створеного сітчастими електродами

Вище було зазначено, що наближення частинок до проводу мало б спричинити їх осідання на сітці, що в дійсності відбувається дуже рідко. Встановлено [1], що при накладенні сильного електричного поля з поверхні електродів емітують заряди. Під час руху ці заряди захоплюють з собою рідину, заряджають частинки. В результаті заряджені

частинки відштовхуються від дроту. Це спричиняє в деяких випадках виникненню поблизу електродів зони, вільної від частинок. Необхідною умовою для виникнення такої зони є дотримання нерівності $F_B < -F_K$, $\overline{F}_B < -\overline{F}_K$ де \overline{F}_K , F_K - сила кулонівської взаємодії.

Проаналізувавши, таким чином, дію сили \overline{F}_g , запишемо загальний вираз для сили \overline{F} , що діє на частинку, яка рухається поблизу сітки:

$$\overline{F} = \overline{F}_B + \overline{F}_p + \overline{F}_K + \overline{F}_g, \quad (3)$$

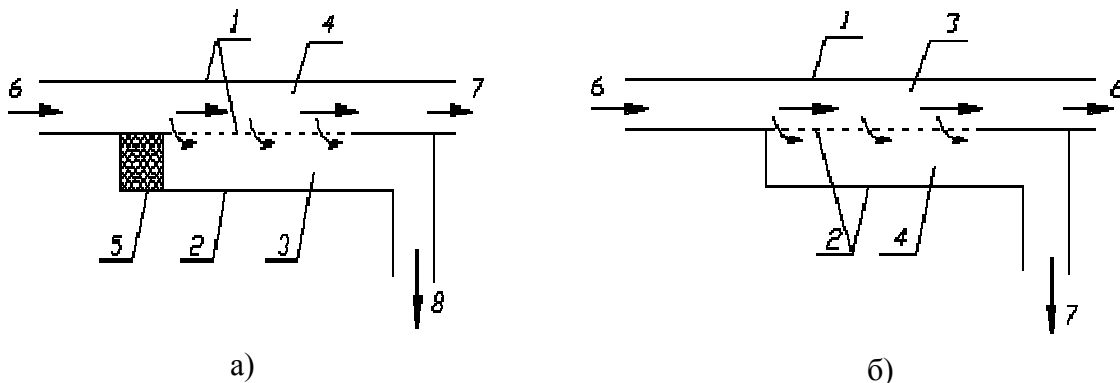
де \overline{F}_p - сила захоплення частинки потоком рідини, рівна силі опору X рідини руху частинки; \overline{F}_g - сила, що діє на частинку, за наявності градієнта концентрації частинок.

$$F_p = X = 6\mu RV, \quad (4)$$

де μ - динамічний коефіцієнт в'язкості; V - швидкість частинок відносно рідини.

У нашому випадку силою \overline{F}_g можна знехтувати, так як концентрація води, розчиненої в газі, та її градієнт незначні.

Оцінимо величину сили \overline{F} для схеми сепарації рідини, представленої в [1] (рис. 2, а), і для схеми, запропонованої нами (рис. 2, б). При цьому врахуємо, що для здійснення сепарації визначальним буде значення сили \overline{F} при наближенні до сітки, тому що частинка, що пройшла через сітку з потоком рідини, вже не може повернутися назад. За позитивний напрям сил вибираємо напрям руху рідини через сітку.



1 – заземлений електрод; 2 – високовольтний електрод; 3 – область з $E \neq 0$; 4 – область з $E = 0$; 5 – ізолятор; 6 – потік газу, що зневоднюється; 7 – потік зневодненого газу; 8 – потік газу, збагаченого водою.

Рис. 2. - Представлена в [1] (а) і запропонована авторами (б) схеми електросепарації

Під час протікання газу ($\varepsilon_2 = 2$) з водою ($\varepsilon_1 = 3+8$) через сітку (рис. 2, а) з області 4 ($E = 0$) в область ($E \neq 0$) вираз для сили, що діє поблизу площини I – I на частинку води, запишеться у вигляді

$$F_1 = F_B + F_p - F_K, \quad (5)$$

а в площині II – II у вигляді

$$F_2 = 0 + F_p - F_K. \quad (6)$$

Під час протікання газу з водою через сітку (рис. 2, б) з області 3 з $E \neq 0$ в область 4 з $E = 0$ вираз для сили, що діє поблизу площини I – I на частинку води, запишеться у вигляді

$$F_3 = F_B + F_p - F_K, \quad (7)$$

а в площині II – II у вигляді

$$F_4 = -F_B + F_p - F_K. \quad (8)$$

Оскільки швидкість рідини на поверхні та поблизу дроту наближається до нуля, а основний її потік тече поблизу площини II – II, ефективність утримання частинок води в міжелектродному просторі більша, ніж ефективність її протягування з простору з $E = 0$ в міжелектродний простір ($|F_1| \approx |F_3|$, $|F_2| < |F_4|$).

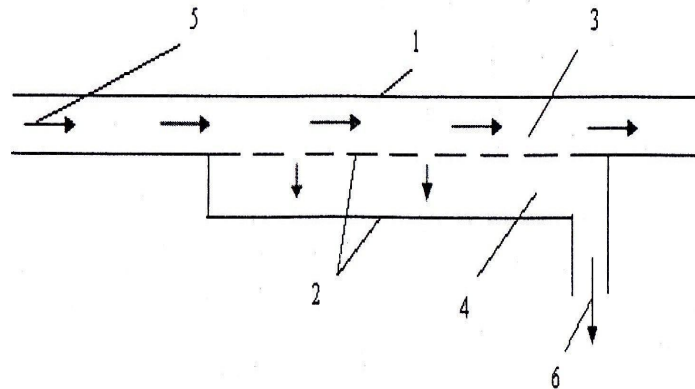
Зазначимо, що процес електросепарації буде можливим лише при

$$F_1 > 0, F_2 > 0, F_3 < 0, F_4 < 0. \quad (9)$$

Необхідність виконання цих умов пояснюється значним впливом в'язкості рідини та швидкості її протікання через сітку (див.(4)).

Через відсутність даних, які характеризують дійсний розподіл напруженості електричного поля поблизу електродів (із урахуванням об'ємного заряду), щільність об'ємного заряду умови зарядження частинок та величину заряду частинок, теоретично оцінити межі застосування цього методу електросепарації неможливо. На основі існуючих експериментальних даних можна провести лише якісну оцінку формул (5) - (8). Якщо сітка зроблена з товстих дротів (більше міліметра), розташованих близько один до одного, то напруженість електричного поля поблизу поверхні дротів буде відносно малою, що спричинить відповідно з (2) до малої величини сили F_e . Мала напруженість електричного поля на поверхні дротів спричиняє слабку іонізацію прилеглого шару рідини. В результаті заряд частинок та відповідна сила F_k будуть менші у порівнянні з зарядом і відповідною силою F_e . У цьому випадку з урахуванням (4) умови (9) можуть виконуватися лише при малих значеннях μV . Якщо сітка зроблена з тонких дротів (0,05 – 0,1 мм), то це спричинить збільшення E , сили F_e та різкому збільшенню іонізації рідини, заряду частинок та сили F_k . Швидкість очистки в цьому випадку збільшиться, а якість покращиться.

Виходячи з цього, представляє інтерес відокремлення частинок забруднення з потоку діелектричного середовища в неоднорідному електричному полі. Для експериментальної перевірки можливості знижувати концентрацію води в гасі дією електричного поля був спроектований і виготовлений осушувач, що забезпечує 4 ступені сушки за схемою, показаною на рис. 1.



1 – заземлений електрод; 2 – високовольтний електрод; 3 – область з напруженістю, яка не дорівнює 0; 4 – область з напруженістю, яка дорівнює 0; 5 – потік гасу, що зневоднюється; 6 – потік гасу з водою.

Рис. 3 - Схема електросепарації гасу

При проведенні експериментів гас насосом прокачувався через осушувач, на електроді якого подавалась напруга від високовольтного джерела постійного струму, що вимірюється кіловольтметром С-196. Концентрація води в пробах гасу, взятих із бака (до зневоднення) і після зневоднення, визначалась прибором для вимірювання концентрації розчиненої води (ГОСТ 8287-57). Результати експериментів по зневодненню освітленого гасу і гасу, забрудненого продуктами електроіскрової обробки, наведені в таблиці 1.



Таблиця 1

Концентрація води в гасі

| № проби | Момент взяття проби | Концентрація води в % по вазі |
|---------|---|-------------------------------|
| 1 | До зневоднення Після зневоднення при $U^{\%} = 7$ кВ | 0,025 0,007 |
| 2 | До зневоднення Після зневоднення при $U^{\%} = 10$ кВ | 0,080 0,003 |
| 3 | До зневоднення Після зневоднення при $U^{\%} = 5,3$ кВ | 0,128 0,018 |

$U^{\%}$ - напруження на високовольтних електродах.

Висновок

При зневодненні гасу з концентрацією води 0,025% напругу неможливо підвищити до 10 кВ через велику концентрацію забруднень в гасі, а при зневодненні гасу з концентрацією 0,128% - через високу концентрацію води, частина якої знаходилася в емульсованому стані.

При прокачуванні гасу, що сильно забруднений продуктами електроіскрової обробки, виникає не сепарація на освітлений і більш забруднений гас, а осадження частинок на електроди. Товщина шару осаду досягає 2-3 мм. При прокачуванні напівпрозорого гасу, помітного ефекту електросепарації частинок не помічено.

Електроосушувач за один прохід знижує концентрацію води в гасі у 3,5-5 раз. Такий електроосушувач може бути використаний в установках для очищення від продуктів електроіскрової обробки. В подальших дослідженнях процесу електрообезводнення органічних рідин планується розробити осушувач більшої продуктивності для зневоднення палив, гідросумішей і олів.

Література

1. Олфинский Н.Ф. Электрические методы обогащения: изд. «Надра», М., 1979.
2. Зубченко А.Н., Манзий В.С., Никитин А.Г., Шевчук В.С. Исследование движения частиц загрязнения в электросепараторе авиационных ГСМ. В. Киев. Оценка технического состояния и диагностирования планера и систем воздушных судов. ГА.КИИГА, 1984.