

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ

Національний авіаційний університет, м. Київ.

Досліджено процес електризації вуглеводневих рідин. Обґрунтовано отримання електричної енергії з розподілу зарядів в діелектричних рідинах та застосування явища електризації в корисних цілях. Приведено розробку технологічного способу та пристрою отримання електричної енергії внаслідок електризації діелектричних рідин.

Вступ. Загострення енергетичних проблем спонукає до пошуку нових джерел енергії, які мають в повній мірі задовольняти потреби людства в необхідній тепловій та електричній енергії, та забезпечувати при цьому високу екологічну чистоту, простоту і безпеку в обслуговуванні. Науковці всіх країн працюють над створенням альтернативних палив вуглеводневим, а також над пошуком альтернативних джерел енергії.

Парадоксальним є те, що деякі фізичні явища, відомі людству з дуже давніх пір, у даний час є найменш вивченими, як наприклад статична електризація, перші згадування про яку зазначені у Фалеса Милетського близько 2500 років тому. Власне з класичного досвіду по електризації янтарю об вовну почалося вивчення статичної електрики, з цього досвіду починається наше знайомство з ним у школі. Довгий час існувала думка про безперспективність практичного застосування цього явища, що надовго відсторонило до нього інтерес дослідників. Інтенсивне вивчення електризації почалося на початку ХХ століття, коли, у зв'язку з бурхливим технічним прогресом, почали виявлятися наслідки утворення електростатичних зарядів: вибухи, пожежі, то що. Відомо досить багато випадків негативного прояву електризації у різних галузях промисловості [1, 2]: хімічній, текстильній, целюлозо-бумажній, гумовій, у хірургічних клініках, вугільних шахтах, на транспорті і багатьох інших. За статистичними даними, збиток, що наносить статична електрика лише, наприклад, на підприємствах США, які мають справу з пилом різних речовин, складає близько 100млн. доларів у рік [2, 6]. Найбільш небезпечною електризація є в галузях промисловості, пов'язаних з виробництвом і споживанням великої кількості легкозаймистих речовин, зокрема вуглеводневих рідин. Не випадково одними з ініціаторів систематичному вивченню електризації нафтопродуктів, були найбільші нафтові фірми "Шелл" і "Esso", які створили цільові лабораторії для вивчення причин виникнення статичної електрики та удосконалення методів з її ліквідації [5, 6].

Тож таке джерело електричної енергії, як статична електрика не може залишатися без уваги, а проблеми, що виникли на ринку енергоносіїв в наш час, заставляють не боротися зі статичною електрикою, а працювати над способами її корисного застосування.

Постановка завдання. Метою даної роботи було дослідження явища електризації вуглеводневих рідин та обґрунтування можливості застосування статичної електрики для отримання електричної енергії з розподілу зарядів в діелектричних рідинах.

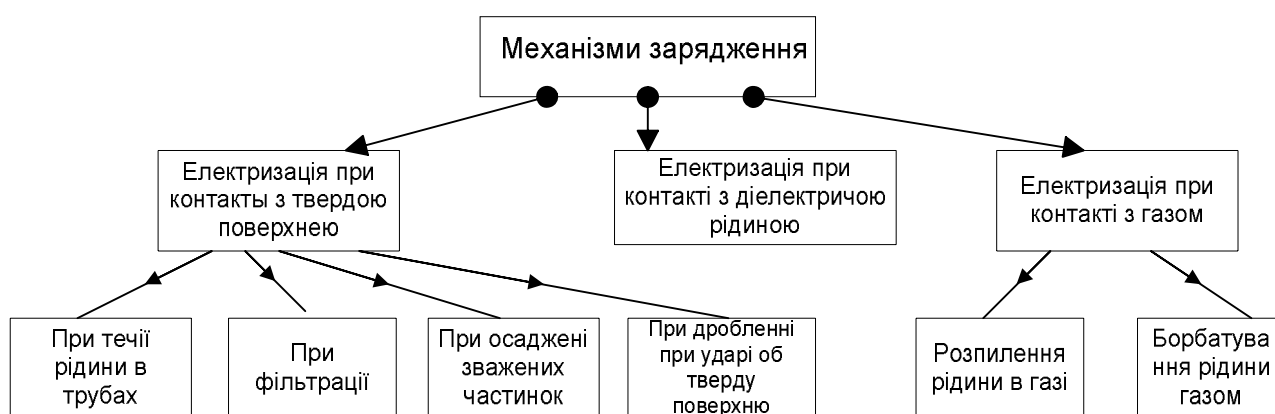
Аналіз досліджень та публікацій. Використання статичної електрики, яка виникає в технологічному обладнанні внаслідок розподілу зарядів при терті діелектричної рідини об поверхню обладнання, як позитивне явище є актуальним і новим. Отримання електричної енергії без вагомих затрат енергоносіїв та окислювачів – це нагальна тема сьогодення. Сучасні високопродуктивні насоси й устаткування дозволяють робити заправку великого літака за 20-40 хвилин. Обов'язковим елементом системи заправки вважається фільтр тонкого очищення з волокнистих пластиків з пропускною здатністю (3-4 тис. л/хв), високим ступенем очищення і малою вартістю. Однак у момент заправлення літаків саме він призводить до інтенсивної появи зарядів статичної електрики [3]. Виявлено випадки прояву статичних зарядів на сітці в перекачувальному насосі літака, а також прогорання фільтрувального матеріалу у фільтрі бензозаправників. Значного прояву статична електрика набула на автозаправних станціях при заправці автомобільного транспорту та при перекачуванні світлих нафтопродуктів. Внаслідок цього, зафіксовано безліч випадків самозаймання технологічного обладнання та автомобілів саме під час виконання процесу заправки [3 - 6].

Як відомо, електризація діелектричних рідин пов'язана з появою подвійних електричних шарів на поверхнях розділу двох рідких середовищ, чи на границях поділу рідина - тверде тіло. Подвійний електричний шар – просторовий розподіл електричних зарядів різних знаків, „нерухомо” зв'язаних зі стінкою труби (шар Гельмгольца – 10^{-6} м) і дифузійного шару іонів протилежного знаку (шар Гуї) [4]. За рахунок руху рідини відносно стінки труби і переміщення зарядів шару Гуї в ємність, виникає різниця потенціалів між трубою і ємністю. При терті рідин об метали в процесах течії чи розбризкування виникає електризація діелектричних рідин за рахунок електролітичного поділу зарядів на межі метал - рідина. Електризація ж при терті двох рідких діелектриків – наслідок існування подвійних електричних шарів на поверхні розділу рідин з різними діелектричними проникностями, рідина з більшою діелектричною проникливістю заряджається позитивно, а з меншою – негативно (правило Коена) [4]. Заряди статичної електрики спостерігаються також при: взаємному терті двох діелектриків; напівпровідників металів різного хімічного складу, або однакового складу, але різної щільності; при терті металів об діелектрики; при терті двох однакових діелектриків; при терті рідких діелектриків один об одного, чи об поверхню твердих тіл і ін. При цьому електризуються обидва тіла, а їхні заряди однакові по величині і

протилежні за знаком. В зв'язку з тим, що вуглеводневі палива за своєю фізичною природою мають низьку питому електропровідність, вони активно електризуються, зберігають і накопичують електричний заряд. При визначеній щільності електростатичного заряду напруженість електричного поля може досягнути критичних значень, що спричинить електричний розряд.

Багатьма вченими світу досліджено характеристики розрядів в вуглеводневих парах [1 - 6], розроблено методики розрахунку електростатичних полів, правда для найпростіших випадків, які дають збіг з результатами експерименту. У протигагу цьому, питання про умови утворення і нагромадження зарядів є поки недостатньо вивченим. Спроби теоретично обґрунтувати електризацію рідин призвели до розбіжностей з даними експерименту. Причому не зовсім зрозуміло, що більш помилково: основні допущення, покладені в основу теорії, методика експерименту, чи те й інше разом.

Всі можливі механізми зарядження можна класифікувати за наступними групами:



Вирішальними при експлуатації діелектричної рідини виявляються два механізми: утворення заряду при течії по трубах і при фільтрації. Дослідженнями [4-6] встановлена якісна картина поведінки палива в цих випадках, на підставі яких можна зробити наступний висновок: електризація діелектричних рідин визначається трьома факторами - фізичними властивостями рідини, конструктивними особливостями устаткування і комплексом зовнішніх умов. Дослідження електризації рідини звичайно проводилися в комплексі, тобто без винятку якого-небудь з цих факторів. У результаті висновки, отримані з такого роду експериментів часто суперечать один одному. Так неодноразово висловлювалося припущення про те, що матеріал пристроїв практично не впливає на ступінь електризації, однак практичні результати показують зворотнє [5].

Важко заперечувати той факт, що в однакових умовах різні рідини електризуються неоднаково. Це дає підставу припускати, що така властивість рідин існує і може бути

визначена при наявності відповідних експериментальних даних. Концепції, покладені в основу явища, роблять непоясненим той факт, що чисті вуглеводні не електризуються. Приведені вище приклади не є переліком всіх протиріч і невідповідностей, а лише коротка ілюстрація недосконалості наших знань у даній області. По визнанню багатьох дослідників [6] вивчення питання статичної електризації, і не тільки рідин, знаходяться в стадії нагромадження експериментального матеріалу.

На підприємствах авіапаливозабезпечення нейтралізація зарядів статичної електрики на пунктах наливу при наповненні паливом ємностей рухомих засобів заправки здійснюється індукційними нейтралізаторами статичної електрики (ІНСЕТ), які встановлюються після фільтрів на лінії видачі нафтопродукту. Наявність нейтралізатора дозволяє збільшити продуктивність наповнення цистерн паливом на 70% (з врахуванням можливості обладнання). Але ІНСЕТ не є єдиним засобом боротьби з зарядами статичної електрики. Крім цього, у цих випадках успішно застосовують єдину металізацію конструкцій для вирівнювання потенціалів, або просто заземлюють небезпечні ділянки для стікання зарядів в землю [1]. Враховуючи актуальність проблеми захисту палив від накопичення статичного струму в авіаційні палива додають комплексні присадки “Assa”, „Сигбол”, які мають антистатичні властивості. У концентрації 0,003 % вони підвищують електропровідність нафтопродуктів і зменшують електризацію.

Однак, приведені вище засоби захисту від електростатичних зарядів не є досить ефективними. Так антистатичні присадки лише зменшують електризацію нафтопродуктів, підвищуючи їх електропровідність, але не виключають появу електростатичних зарядів і вимагають від експлуатанта додаткових витрат на їх придбання. Застосування ІНСЕТ дозволяє відводити заряди статичної електрики від об’єктів їх утворення в землю, але не використовувати це джерело енергії в корисних для людства цілях.

Методи досліджень. Величина заряду набутого рідиною при її русі по трубах визначалась за відомим „капілярним методом” [5], суть якого заключається в визначенні величини заряду, що набуває одиничний об’єм рідини при збіганні через капіляр. Досліджувана рідина з резервуара 1 (рис. 1) збігає в ізолюваний резервуар 2. Заряд що утворився в рідині при збігу через капіляр 3, накопичуючись в резервуарі 2, змінює його потенціал. По вимірній величині потенціалу та відомій ємності системи визначають величину заряду набутого рідиною з відношення:

$$Q = CU$$

За величиною заряду і відомому об’єму рідини, що вже перетекла, визначається середня густина заряду. Змінний конденсатор 5 працює для компенсації зміни об’єму системи. Величина потенціалу вимірюється електростатичним вольтметром 4.

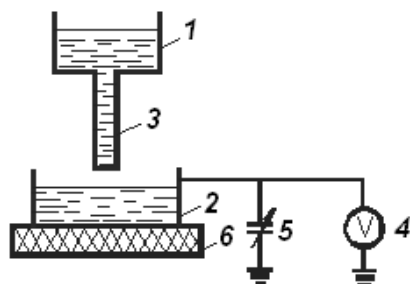


Рис. 1. Принципова схема визначення електризації капілярним методом.

Величина заряду у фільтрі та після фільтру визначалась за відомим методом “Esso” англійської фірми “Shell” [5, 6]. Принципова схема приладу “ER”, який використовує фірма “Esso” для оцінювання електризації рідини приведена на рис. 2.

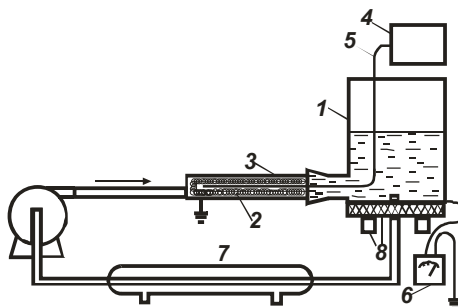


Рис. 2. Принципова схема пристрою “ER” для оцінки електризації палив.

В ізолюваний резервуар 1 вливають 3,75л. рідини, яка безперервно перекачується через трубу з нержавіючої сталі 2 діаметром 25мм, заповнену скловатою, зі швидкістю 15,2 л/хв. Величина зарядів, що утворюються в паливі при прокачуванні, оцінюється кількістю розрядів в фільтрі 3, що зареєстровані радіоприймачем 4 з антеною 5, і током витоку з резервуара на землю вимірюваним мікроамперметром 6 через 10хв прокачки. Холодильник 7 служить для стабілізації температури рідини.

Для проведення натурного експерименту з дослідження електризації вуглеводневих рідин було розроблено відповідний стенд. Принципову схему стенду зображено на рис. 3.

Досліджувана рідина (авіапаливо ТС-1) із баку 4 по трубопроводу за допомогою відцентрового насосу 6 поступає до фільтрів 11 (один з фільтрів має металеву фільтрувальну сітку, інший – стандартний фільтрувальний папір) і у відповідності до теорії електризації, у фільтрах досліджувана рідина отримує максимальний рівень природної електризації. Далі по ходу трубопроводу досліджувана рідина потрапляє до пристрою для отримання електричної енергії високих напруг 15 (розробка авторів [7]) в якому віддає набуті електростатичні заряди на металеву полу кулю. Далі рідина потрапляє до баку 1, з якого можна брати проби ТС-1 для оцінки їх експлуатаційних характеристик, або їх можна брати з крану 18. Для обліку рідини в стенд встановлено ротаметр 19. За допомогою манометрів 9, 13 встановлюється необхідний

тиск в системі. Показники манометрів також свідчать про працездатність фільтрів, або порушення їх роботи. Перекриванням кранів 10, 12 можна замінювати фільтроматеріали, оскільки корпуси фільтрів зроблені легкорозбірними. Для досягнення найбільшого ефекту рекомендовано відкрити кран 3 та деякий час пропускати рідину по колу для зменшення випадку релаксації заряду. Для дослідження електризації вуглеводневих середовищ слід вимкнути пристрій 15 (у такому випадку він використовується як джерело природної електризації) і вмикнути електрометричний підсилювач 17 (типу «У1-6»), який не тільки підсилює електричний сигнал отриманий з датчика електризації 16, а й має вбудований мікроамперметр та вольтметр широкого діапазону вимірювань.

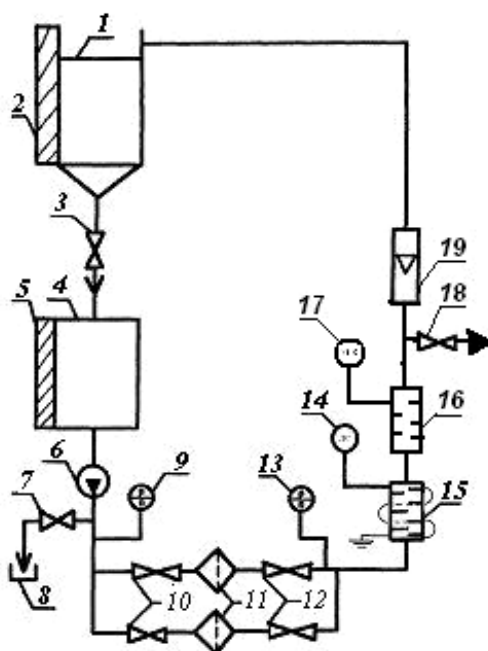


Рис. 3. Принципова схема стану досліджень: 1, 4 – баки; 2, 5 – вимірювальне скло; 3, 7, 10, 12 – крани; 6 – насос перекачки рідини; 9, 13 – манометри тиску; 11 – фільтри (відрізняються фільтроматеріалом); 14 – джерело струму; 15 – пристрій для отримання електричного струму великих напруг (розробка авторів); 16 – промисловий датчик електризації; 17 – електрометричний підсилювач «У1-6»; 18 – кран для відбору проб; 19 – ротаметр.

Величина заряду в баці реєструвалася електростатичним вольтметром. Електропровідність вимірювалася електрометричним підсилювачем «У1-6» з регульованим джерелом струму. Діелектрична проникність визначалася містком змінного струму 19 (Р-570). Визначення питомого опору і діелектричної проникності проводилися дискретно шляхом відбору проб.

В даній паливній схемі наявні декілька механізмів утворення електричного заряду: при протіканні в трубопроводі, при фільтрації та за рахунок розбризкування палива в баці. У зв'язку з цим схема вимірювання передбачає контроль заряду, що утворюється, на трьох ділянках стану: в трубопроводі, на фільтрі і в баці. Густина заряду, що утворюється в трубопроводі пов'язана з струмом відтоку зі стінок труби відношенням:

$$q_T = I_T / V_T \quad (1)$$

де: q_T - об'ємна густина заряду;

I_T – струм відтоку зі стінок труби;

V_T – об'ємна витрата палива.

Вимірюючи V_T і I_T можна визначити середнє значення q_T . Конструктивно датчик 16 (див. рис. 3) виготовлений у вигляді відрізка труби з діаметром, що дорівнює діаметру трубопроводів. Для усунення перешкод датчик поміщений в екран. Аналогічно описаному вище, густина заряду, що утворюється у фільтрі, характеризується величиною струму відтоку з фільтру і об'ємною витратою палива через фільтр згідно відношенню (4.2):

$$q_\Phi = I_\Phi(1 - e^{-t/\tau}) / V_\Phi \quad (2)$$

де

I_Φ – струм відтоку з фільтра;

V_Φ – об'ємна витрата палива (в нашому випадку дорівнює витраті через трубопровід);

q_Φ – об'ємна густина заряду, що утворився в фільтрі;

t – час знаходження рідини у фільтрі.

У рівнянні 2 складова $e^{-t/\tau}$ враховує релаксацію заряду в фільтрі. Оцінка часу t і τ показала, що вони дорівнюють близько 0,08 сек. та 1,5 сек. відповідно. А це означає, що цей складова $e^{-t/\tau}$ рівняння (2) може бути прийнята за нуль. Експериментальна перевірка, що полягала в реєстрації струму потоку в трубі після фільтру, показала правильність наведеної вище оцінки. Струм відтоку з трубопроводу при наявності релаксації у фільтрі (фільтр заземлений) і при її відсутності (фільтр електрично ізольований від системи) був однаковий. Відповідно до цього можна зробити висновок, що, заземлення фільтра не чинить суттєвого впливу на утворення і розподіл заряду в системі. Це стало основою використання фільтра в якості датчика, за умови, що він електрично ізольований від конструкції стенда фторопластовими ізоляторами.

Відомо, що заряд набутий паливом у фільтрі і трубопроводі, транспортується з ним в бак. На шляху відбувається його розсіювання в трубопроводі. Тому величина заряду, що потрапив до баку, менша за той, що утворився у фільтрі і трубопроводі. Однак, може відбуватися утворення заряду в самому баці за рахунок розбризкування, перемішування, барботування, осадження, тощо. Для оцінки заряду в баці паливного стенду, у середину баку був введений електрод, ізольований від стінки баку. Різниця потенціалів на обкладках такого конденсатора пов'язана із зарядом в баці співвідношенням:

$$Q_6 = C_0 U k(h) \quad (3)$$

де: Q_6 – сумарний заряд в баці;

C_0 – вимірювальна ємність: електрод – бак при відсутності палива;

U – різниця потенціалів: вимірювальний електрод – бак;

$k(h)$ – коефіцієнт, який враховує вимірювання ємності системи в залежності від рівня палива.

Експериментальне визначення коефіцієнту $k(h)$ з вимірювань ємності у функції висоти рівня палива показали, що його значення змінилося від 1 (при пустому) до 0,99 (при заповненому) баці. Для визначення часу релаксації і контролю повторюваності результатів проводилося вимірювання питомого опору і діелектричної проникності.

Дослідження проводилось на авіапаливі ТС-1 при наступних фіксованих значеннях: температура $T = 20$ °С, $\rho = 4 \cdot 10^{11}$ Ом·м, $\varepsilon = 2,06$, $\tau = 7$ сек, $\zeta = 1,3$ сст. Залежність струму витоку із стінки датчика від середньої швидкості течії зображені на рис. 4 (крива 2) і становить собою степеневу функцію із показником ступеню 0,5 - 0,7. Для зручності порівняння всі функції на рис. 4 представлені у відносних одиницях, в якості яких вибрані максимальні значення досліджуваних величин, отримані експериментально. Відхилення від відомої із літературних джерел подібної залежності, яка встановлює показник степеня 1,5 - 2, пояснюється тим, що при обмеженій довжині датчика починає діяти відношення часу знаходження палива в датчику і часу релаксації палива. Час знаходження палива в датчику стає меншим часу формування подвійного шару, тому густина заряду падає. При витраті 0,7 м³/год через трубопровід з внутрішнім діаметром 12 мм паливо знаходиться в датчику довжиною 320 мм протягом 1 сек. Час формування подвійного шару визначається часом релаксації і при питомому опорі палива ТС-1, що дорівнює 10^{11} Ом і відносній діелектричній проникності $\varepsilon=2$ складає 1,6-1,7 сек. За відомою залежністю, яка враховує відношення t/τ , можна виключити вплив довжини датчика на результати замірів, визначивши I_{mo} - струм потоку для нескінченно великої довжини датчика (крива 3 рис. 4).

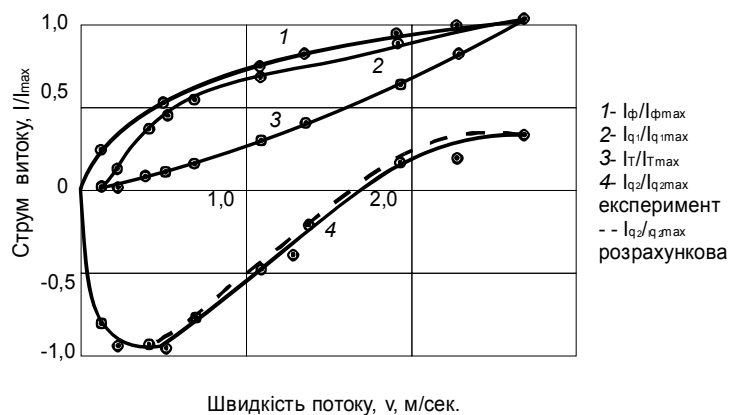


Рис. 4. Залежність електризації палива ТС-1 в фільтрі (1) і трубах до фільтру (2) і після фільтру (4) від швидкості палину.

Отримана залежність добре узгоджується з відомим літературними даними [3, 6]. Густина заряду, утвореного при течії у трубі знаходимо за залежністю (1). Для того, щоб отримані розрахункові результати можна було порівняти з експериментальними, були визначені градієнти швидкості на межі в'язкого під прошарку і турбулентного ядра. В якості такої межі вибиралася нижня межа логарифмічного прошарку.

Визначення Δ проводилось наступним чином. За відомою залежністю $\Delta/Re = f(Re)$ [6] для гладких труб, визначалося відношення Δ/R при досліджуваному режимі течії, який задавався швидкістю потоку в трубі, а потім Δ за відомим R . Значення $grad v(r)$ визначався диференціюванням $v = f(r)$ при встановленому русі:

$$grad v(r) = \frac{4v_{ср}(R - \Delta)}{R^2} \quad (4)$$

Залежність густини заряду, утвореного в трубопроводі від градієнта швидкості авіа палива ТС-1 на межі турбулентного ядра наведена на рис. 5.

Характер отриманої залежності схожий до залежності густини заряду в паливі від градієнта швидкості, що отриманий при лабораторних дослідженнях. Це свідчить про схожість процесів, які відбуваються у трубі і вимірювальній комірці та підтверджує правильність висновку про вирішальний вплив градієнта швидкості на процес розділення зарядів.

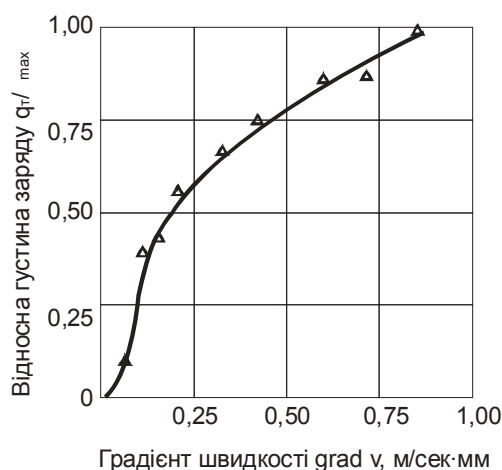


Рис. 5. Залежність густини заряду в трубі від градієнту швидкості швидкості авіапалива ТС-1.

Співставлення експериментальних залежностей I_T/I_{Tmax} (рис. 4) та q_T/q_{Tmax} (рис. 5) показує, що при меншій довжині датчика, струм датчика значно в меншій мірі пропорційний густині заряду набутого паливом при протіканні в довгому трубопроводі такого ж діаметру. В дійсності, вже при $l=0, l \ll vt$ отримаємо:

$$1 - e^{-\frac{l}{v\tau}} \approx \frac{l}{v\tau} \quad (5)$$

Тепер рівняння для знаходження струму виникнення зарядів у трубі приймає вигляд:

$$I_T = kq \quad (6)$$

На рис. 4 (крива 4) показана зміна струму датчика, встановленого після фільтру в залежності від швидкості течії потоку. Порівняння зі струмом датчика до фільтру (крива 2) показує, що при малих витратах палива переважає струм відтоку, внаслідок чого змінився напрям сумарного струму. По мірі збільшення витрати струм відтоку зменшується і при великих витратах стає менше струму, що забезпечується заряджанням палива у датчику. Сумарний струм отримує той же знак, що і струм із датчика до фільтра, але абсолютна його величина менша. Аналітичний висновок приводить до відношення (7) :

$$I_{g2} = I_T \left(1 - e^{-\frac{l_g}{v\tau}}\right) - I_\phi e^{-\frac{l_{g\phi}}{v\tau}} \left(1 - e^{-\frac{l_g}{v\tau}}\right) \quad (7)$$

де: $l_{g\phi}$ – відстань від фільтра до датчика;

l_g – довжина датчика.

Визначений за формулою (7) струм I_{g2} із вимірних значень I_T і I_ϕ у функції витрат наведений на рис. 4 пунктирною лінію. Таким чином можна констатувати, що в трубі невеликої довжини знайдений за відношенням (7) струм дорівнює струму потоку лише у випадку, коли в неї потрапляє незаряджене паливо. При потраплянні у трубу зарядженого палива струм з неї є більш складною функцією струму потоку. При чому із збільшенням швидкості течії струм з труби зменшується не дивлячись на збільшення струму потоку. Очевидно, що звичайна оцінка ступеню електризації за струмом потоку в останньому випадку неправомірна. Характер процесів, що відбуваються у фільтрі, ймовірно подібний до явищ у трубах. Цей висновок можна зробити з розгляду залежності густини заряду у фільтрі від швидкості потоку авіапалива ТС-1 (рис. 6).

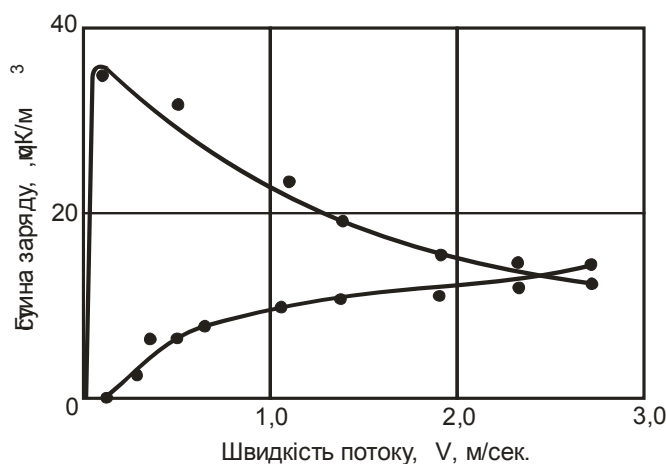


Рис. 6. Залежність густини заряду, що виник в трубі і фільтрі, від швидкості потоку авіапалива ТС-1 .

Найбільша густина заряду, який утворився у фільтрі спостерігається при малих витратах. Із збільшенням швидкості, густина заряду q_ϕ зменшується і прагне досягти постійної

величини на великих швидкостях. Це можна пояснити тими ж причинами, що і при течії в трубі. При малій швидкості течії, заряд збільшується пропорційно градієнту швидкості. Коли значення vt стає більшим товщини фільтроелементу, подвійний шар, який руйнується силами гідродинамічного поля не встигає відновлюватися і густина заряду зменшується. При нескінченній довжині труби величина густини заряду наближується до постійної величини і не залежить від того, де він утворюється - у фільтрі чи в трубі.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено та апробовано пристрій та спосіб отримання електричної енергії високих напруг [7, 8], які базуються на позитивному використанні зарядів статичної електрики, отриманих за допомогою ІНСЕТ при експлуатації вуглеводневих палив.

На рис. 7 зображено принципову схему пристрою отримання електричної енергії високих напруг.

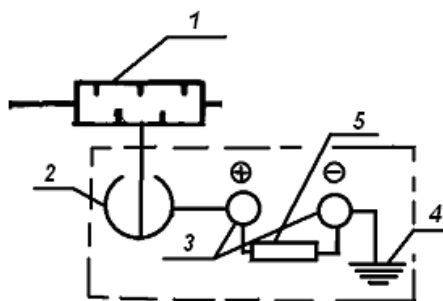


Рис. 7. Пристрій отримання електричної енергії високих напруг: 1 – ІНСЕТ, 2 – пола металева куля, 3 – розрядник, 4 – заземлення, 5 – навантаження.

Пристрій працює наступним чином: заряди статичної електрики постійно накопичуються в елементах технологічного обладнання і за допомогою ІНСЕТ 1 відводять на металеву кулю 2, а далі на розрядник 3, один кінець якого приєднано з кулею 2, а другий з землею 4. До розрядника 3 приєднано навантаження 5, напруга на якому призводить до появи електричного струму в електричному ланцюгу. Змінюючи величину зазору електричного розрядника керують отриманням потрібної величини потенціалу на металевій кулі 2. При виникненні небезпечного рівня потенціалу передбачено повітряний розряд для чого розрядник 3 заземлюють.

З технологічного обладнання (див. рис. 3) заряди статичної електрики відводять ІНСЕТ 16. Але на відміну від стандартного його застосування, коли після нього заряди статичної електрики відводять в землю, в даному способі, заряди статичної електрики від ІНСЕТ 16 відводять до пристрою отримання електричної енергії високих напруг (рис. 9), який і дозволяє отримувати електричний струм високих напруг порядком 20-30 кВ.

Висновки. Проведені стендові дослідження електризації діелектричних рідин при течії в трубах та фільтрації дали наступні основні результати:

- проведено аналіз явища електризації та об'єктів її виникнення;

- встановлено залежність струму витoku із стінки датчика від середньої швидкості течії;
- підтверджено залежність електризації палива ТС-1 в фільтрі і трубах до фільтру і після фільтру від швидкості плинину;
- встановлено залежність густини заряду, що виник в трубі і фільтрі, від швидкості плинину та градієнту швидкості;
- підтверджено вплив швидкості заправки на величину надлишкового заряду в баці;
- розроблено принципово новий пристрій та спосіб отримання електричної енергії високих напруг з розподілу зарядів в діелектричних рідинах.

Список літератури.

1. *Ройзен И.О., Медведева В.С.* Статическое электричество и меры по борьбе с ним в химической промышленности. Сб.: Охрана химических предприятий от пожаров и взрывов, НИИТЭХИМ, 1991 г.
2. *Прибылов В.Н.* Электризация диэлектрической жидкости вблизи вращающегося диска // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1, Математика. Механика. – Москва. 2003. – Вып. № 2. – С. 39-43.
3. *Сканави Г. И.,* Физика диэлектриков, (Область слабых полей), М. – Л., 1991 г.
4. *Чеботарёв Л.И.* Эксплуатация средств топливообеспечения аэропортов. – М.: Воздуш. транспорт, 1993. – 240 с.
5. *Роджерс Д.Т., Шлексер Ц.Й.* Теоретические и экспериментальные исследования электризации топлив // V Международный нефтяной конгресс, Т. 1, – М.: Гостоптехиздат, 1961, стр. 331.
6. *Rogers D.T., Munday I.C.* Esso Resarch and Engineering Company, Products Research Division, Report N RL-УМ-60, Uov. 1980.
7. *Пат. 13487U Україна. H02N 1/00, H02H 1/06.* Пристрій для отримання електричної енергії високих напруг / О.М. Зубченко, І.Л. Трофімов, І.А. Кравець.– Чинний від 17.04.2006. – Бюл. № 4. Заявл. 02.06.2005.
8. *Пат. 18479 Україна. МПК (2006) H02N 1/00* Спосіб отримання електричної енергії високих напруг / І.Л. Трофімов, О.М. Зубченко, І.А. Кравець – Чинний від 15.11.2006. – Бюл. № 11. Заявл. 26.04.2006.

«Поступила в редакцію»