

УДК 629.735.054.03:681.121

В.І. ШЕВЧЕНКО, В.О. КНИШ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”, Україна

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА ПАЛИВОМІРА, ІНВАРІАНТНОГО ДО ЯКОСТІ ПАЛИВА

У статті розглянуті принципи побудовання вимірювачів кількості палива, інваріантних до зміни сорту палива. Таких результатів вдалось добитись завдяки використанню двох каналів з ємнісними перетворювачами. Основним результатом такого принципу є незалежність вимірювання кількості палива від діелектричної проникності, причому інваріантність досягається на всьому діапазоні вимірювання, водночас як інші вимірювачі таку можливість мають тільки в одній точці.

вимірювання кількості палива, ємнісний датчик кількості палива

Вступ

Для сучасної авіації визначення кількості палива на борту повітряного судна (ПС) є актуальною темою. Незважаючи на досить великий вибір вимірювачів палива, точність вимірювання і стійкість до навколишніх впливів бажає кращого. В процесі експлуатації ПС в баках з паливом накопичуються різні виділення, у тому числі вільна вода на дні бака (рис. 1). Крім того, авіаційне паливо має різні сорти в залежності від пори року.

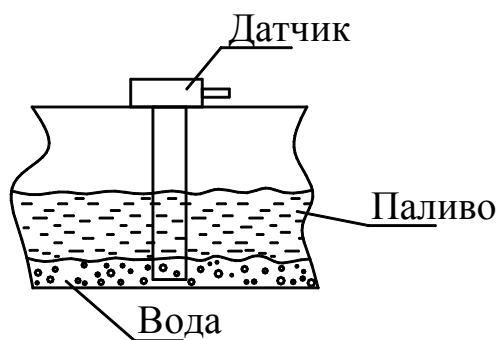


Рис. 1. Розріз паливного бака з рідиною

1. Формування проблеми

В авіаційній техніці широке використання знайшли ємнісні вимірювачі кількості палива у зв'язку з деякими особливостями використання:

- стійкість до коливань палива у порівнянні із хвильовими паливомірами;
- стійкість до механічних впливів;
- відсутність електромеханічних частин;
- простота конструкції, надійність.

Одним з основних недоліків відомих паливомірів є залежність точності вимірювань від коефіцієнта діелектричної проникності. У разі зміни сорту палива або накопичення відложень виникає похибка, яка в деяких випадках може погіршити точність вимірювань до 20%. Тому для компенсації таких похибок використовують компенсаційні методи. Самий поширений з таких методів – це використання компенсаційних датчиків [1], котрі повинні бути розташовані весь час у рідині, наприклад, в нижній частині бака.

Також відомі інваріантні вимірювачі кількості діелектричних рідин на базі довгих ліній [2, 3]. Недоліками цих паливомірів є конструктивні обмеження, які необхідно виконувати для високої точності.

Також слід зазначити, що вони непрацездатні у разі накопичення вільної води (рис. 1).

Була запропонована нова конструкція паливоміра, вільна від цих недоліків [4, 5].

Мета даної статті – аналіз точності нового паливоміра.

2. Вирішення проблеми

Досягнення поставленої задачі вирішується тим, що в паливомірі, інваріантному до зміни сорту палива (діелектричної проникності), який містить первинний перетворювач з двома датчиками, і згідно з винаходом в якості датчиків використовуються ємнісні перетворювачі з різними законами зміни ємності від рівня палива в баці. Технічний результат, як наслідок – підвищення точності вимірювання.

Паливомір (рис. 2) складається з вимірювально-обчислювального блоку 1, до якого під'єднані датчики 2, 3. В якості датчиків використовуються ємнісні перетворювачі різної форми. Наприклад, на рис. 3 представлено конструкцію ємнісного датчика з плоско-прямокутними обкладинами, а на рис. 4 – з плоско-трикутними обкладинами.

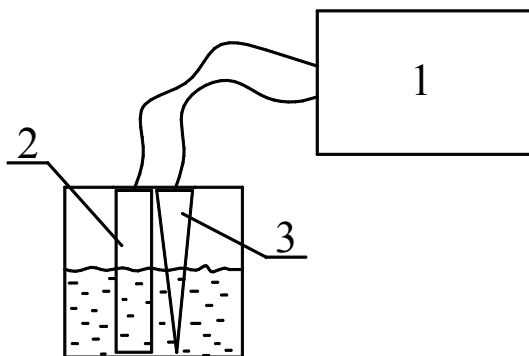


Рис. 2. Схема паливоміра

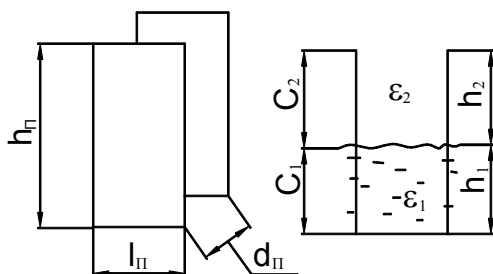


Рис. 3. Схема прямокутної частини

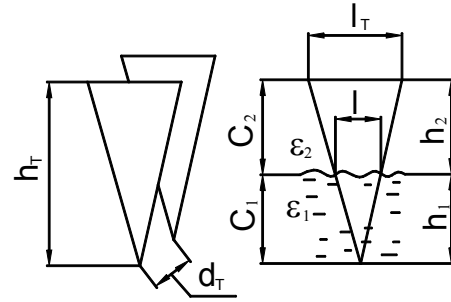


Рис. 4. Схема трикутної частини паливоміра

Пристрій працює наступним чином. Як показано на рис. 2, обидва датчики 2, 3 занурені в паливо. Рівень по довжині датчиків розподіляється на два середовища із різною діелектричною проникністю (рис. 3, 4), якими можуть бути повітря і керосин з діелектричними проникностями відповідно $\epsilon_1 = 2$, $\epsilon_2 = 1$. Слід зазначити, щоб вимірювання були незалежними від зміни сорту палива (діелектричної проникності), датчики повинні мати різні закони зміни ємності від рівня палива. Це досягається завдяки використанню датчиків різних форм, наприклад, плоско-прямокутного (рис. 3) і плоско-трикутного (рис. 4) ємнісних датчиків.

Відомо, що залежність ємності від рівня палива для плоского ємнісного датчика (рис. 3) обчислюється за формулою

$$C_{\Pi} = C_{0\Pi} + (\epsilon_1 - \epsilon_2) \frac{l_{\Pi} \cdot h_1}{d_{\Pi}}, \quad (1)$$

де $C_{0\Pi}$ – ємність прямокутного датчика, заповненого повітрям; ϵ_1, ϵ_2 – діелектричні проникності середовищ; l_{Π} – ширина обкладінок; d_{Π} – відстань між обкладінками; h_1 – рівень середовища (палива).

Залежність ємності від рівня палива для конічно-плоского датчика (рис. 4) розраховується як

$$C_T = C_{0T} + (\epsilon_1 - \epsilon_2) \frac{l_T}{2 \cdot h_T \cdot d_T} \cdot h_1^2, \quad (2)$$

де C_{0T} – ємність трикутного датчика, заповненого повітрям; ϵ_1, ϵ_2 – діелектричні проникності середовищ; l_T – основа трикутника, з висотою датчика h_T ;

h_T – повний рівень датчика; d_T – відстань між обкладками; h_1 – рівень середовища (палива).

Зважаючи на те, що в виразах (1) і (2) різниця $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = const$, запишемо формулу знаходження рівня середовища (палива) h_1 , інваріантну до зміни сорту палива (діелектричної проникності):

$$h_1 = \frac{l_{II} \cdot 2 \cdot h_T \cdot d_T (C_T - C_{0T})}{l_T \cdot d_{II} (C_{II} - C_{0II})}. \quad (3)$$

Шляхом відомих засобів в вимірювально-обчислювальному пристрої 1 виконується вимірювання ємності обох датчиків і знаходження по формулі (3) значення рівня палива вільну від погрішності зміни сорту палива (діелектричної проникності).

Задача оцінки погрішності паливоміра вирішувалась як визначення залежності

$$\begin{aligned} \Delta h_1 \approx & \frac{dh}{dk} \cdot \Delta k + \frac{dh}{dC_{II}} \cdot \Delta C_{II} + \\ & + \frac{dh}{dC_{0II}} \cdot \Delta C_{0II} + \frac{dh}{dC_T} \cdot \Delta C_T + \\ & + \frac{dh}{dC_{0T}} \cdot \Delta C_{0T}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $k = \frac{l_{II} \cdot 2 \cdot h_T \cdot d_T}{l_T \cdot d_{II}}$ – константа, складена з

конструктивних характеристик обох датчиків.

Визначена формула для відносної погрішності рівня палива:

$$\frac{\Delta h_1}{h_1} \approx \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta C_{II} + \Delta C_{0II}}{C_{II} - C_{0II}} + \frac{\Delta C_T + \Delta C_{0T}}{C_T - C_{0T}}. \quad (5)$$

Ця погрішність має такі складові:

1) перша складова – інструментальна $\left(\frac{\Delta k}{k}\right)$, що

зменшується завдяки тарировці і сягає 1 ... 2%;

2) друга складова $\left(\frac{\Delta C_{II} + \Delta C_{0II}}{C_{II} - C_{0II}}\right)$ – погрішність вимірювання ємності прямокутного датчика в процесі експлуатації та при тарировці, що сягає 1 ... 3%;

3) третя складова $\left(\frac{\Delta C_T + \Delta C_{0T}}{C_T - C_{0T}}\right)$ – погріш-

ність вимірювання ємності трикутного датчика в процесі експлуатації та при тарировці, що також сягає 1 ... 3%.

Треба порівняти цю погрішність з погрішністю поодинокого ємнісного датчика

$$\frac{\Delta h_1}{h_1} \approx \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta C_{II} + \Delta C_{0II}}{C_{II} - C_{0II}} + \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}. \quad (6)$$

Бачимо, що формули (5) та (6) відрізняються третьою складовою. Для поодинокого датчика – це складова, обумовлена зміною сорту палива, для нового датчика – це погрішність вимірювання ємності. Складова від сорта палива, що досягає 20%, замінюється в новому датчику на типову відому та добре вивчену складову вимірювання ємності, що досягає 1 ... 3%.

Таким чином, всі три складові погрішності нового датчика відомі, добре вивчені, разом сягають 1 ... 5%, і досить невеликі в порівнянні зі складовою від сорта палива.

Існує також своя, специфічна для цього методу погрішність, обумовлена різницею в рівнях палива датчиків 1 та 2 (рис. 5).

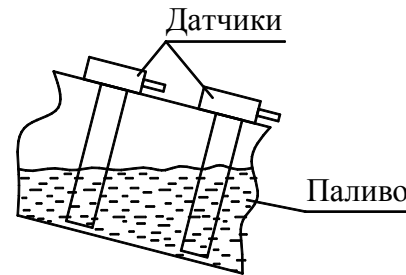


Рис. 5. Різниця в рівнях палива частин паливоміра

Ця погрішність може бути компенсована завдяки комплексуванню різних методів вимірювання, наприклад, використанню кількох датчиків, розташованих в протилежних частинах бака і за допомогою диференційних алгоритмів вимірювати задачу знаходження кількості палива. Також цю задачу можливо вирішити одним датчиком, але для цього потрібно його розташувати в центрі мас паливного дат-

чика. Недоліком цього методу є гірші показники точності при коливаннях палива в баці.

Широке розповсюдження в авіаційній техніці знайшов метод коригування результатів завдяки використанню інформації про нахил літака. По заданому закону через ці показники уточнюються результати вимірювання залишку кількості палива.

Слід зауважити, що існує умова, при якій допустимо впроваджувати формулу (3). Діелектричні проникності палива та повітря повинні бути досить різними, або в формулі (3) з'являється парадокс $\frac{0}{0}$.

Висновки

Для нового датчика значення рівня палива не залежить від сорту палива та його діелектричної проникності.

Визначена формула для відносної погрішності рівня палива

$$\frac{\Delta h_1}{h_1} \approx \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta C_{\Pi} + \Delta C_{0\Pi}}{C_{\Pi} - C_{0\Pi}} + \frac{\Delta C_T + \Delta C_{0T}}{C_T - C_{0T}}.$$

Всі три складові погрішності нового датчика відомі, добре вивчені, разом сягають 1 ... 5%, і досить невеликі в порівнянні зі складовою від сорту палива.

Існує також своя, специфічна для цього методу погрішність, обумовлена різницею в рівнях палива датчиків 1 та 2. Маємо ще можливість зменшити погрішність завдяки комплексуванню кількох методів вимірювання.

Існує умова, при якій допустимо впроваджувати новий датчик. Діелектричні проникності палива та повітря повинні бути досить різними. Також слід зазначити, що даний паливомір може вимірювати дійсний рівень палива, обумовлений відсутністю

інваріантності в окремих точках, як це зроблено в паливомірах з компенсаційними датчиками. Для таких паливомірів розташовують декілька датчиків по всій висоті виміру рівня палива, що значно ускладнює конструкцію і надійність.

Завдяки новим розрахунковим алгоритмам обчислення рівня палива у вимірювально-обчислювальному блоці окремою задачею є тарировка нового паливоміра.

Література

1. А.с. 909580 (СССР). Емкостной уронемер / Р.З. Солчаник, В.А. Егошин // Бюл. изобрет. № 8, 28.02.82.
2. А.с. 1765712 (СССР). Устройство для определения уровня вещества / В.А. Викторов, А.С. Совлуков // Бюл. изобрет. №36, 30.09.92.
3. Петров Б.Н., Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 243 с.
4. А.с. 62670А (UA) Паливомір / В.О. Книш, П.І. Коваленко, М.Д. Кошовий // Бюл. изобрет. № 12, 15.12.2003.
5. Кныш В.А., Кошевой Н.Д., Коваленко П.И., Ядчук К.А. Емкостной топливомер, инвариантный к изменению сорта топлива // Сборник трудов международной научно-технической конференции “Приборостроение-2002”. – Винница-Алупка. – 2002. – С. 42 – 43.

Надійшла в редакцію 27.09.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Руженцев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.