

В.Б. Мазуренко

ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РІДИНИ В РУХОМІЙ ЄМНОСТІ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Анотація. Потреба в визначенні кількості рідини всередині ємності існує в самих різних галузях промисловості, так само як в сільському господарстві та на транспорті. Найбільш застосовуваним методом її визначення є використання датчиків вимірювання висоти рівня поверхні рідини всередині ємності з подальшим перерахуванням вимірюваної висоти рівня в об'єм рідини через градуйовані таблиці або функції, отримані наперед для даної конкретної ємності. За наявності значення щільності можна перейти до маси рідини, що знаходиться в ємності.

Метою дослідження, результати якого представлені в даній статті, є аналіз стану проблеми вимірювання кількості рідини в рухомих ємностях та виявлення методів можливого вирішення цієї проблеми.

Існує проблема визначення кількості рідини всередині рухомої ємності, яка полягає в тому, що точність визначення кількості рідини під час руху ємності виявляється суттєво нижчою за точність, яка реалізується в стаціонарних умовах.

Сформульовано проблему визначення кількості рідини всередині рухомої ємності, визначено фактори, які її формують, проведено аналіз стану вирішення даної проблеми та дано оцінку перспективи створення методів її вирішення.

Ключові слова: вимірювання кількості речовини, інформаційно-вимірювальна технологія.

Постановка проблеми. Потреба в визначенні кількості рідини всередині ємності існує в самих різних галузях промисловості, так само як в сільському господарстві та на транспорті. Найбільш застосовуваним методом її визначення є використання датчиків вимірювання висоти рівня поверхні рідини всередині ємності [1] з подальшим перерахуванням вимірюваної висоти рівня в об'єм рідини через градуйовані таблиці або функції, отримані наперед для даної конкретної ємності. За наявності значення щільності можна перейти до маси рідини, що знаходиться в ємності.

Існують й інші методи визначення кількості рідини. Наприклад, за допомогою витратомірів, які вимірюють витрату, з якою рідина надходить в ємність, або виходить з неї, та проведення безперервного інтегрування поточного зна-

чення витрати у часі. Цей метод є менш точним та менш надійним, ніж вимірювання рівня, тому використовується в випадках, коли безпосереднє вимірювання рівня всередині ємності неможливе, або ж з економічних міркувань, коли висока точність в отриманні даних не є на потребі. Іншим методом є використання мірних ємностей. Мірні ємності використовуються задля досягнення високої точності вимірювання, але цей метод є досить затратним, та суттєво програє у технологічності іншим. Виміряти кількість речовини в ємності можна й ваговим методом, в цьому випадку ємність має знаходитись на вагах. Зазначимо, що метод мірних ємностей та ваговий метод не використовуються на транспорті.

Практично всі ємності, що використовуються в промисловості та сільському господарстві – нерухомі, стаціонарні. Вимірювання висоти рівня рідини в стаціонарних ємностях не викликає особливих проблем, оскільки висота поверхні змінюється виключно з причини надходження або витоку рідини. Коли ж виникає необхідність вимірювання кількості рідини в рухомих ємностях, то використання засобів вимірювання рівня для цієї мети стикається з досить значними проблемами. Такі проблеми виникають під час вимірювання кількості рідини (паливо, охолоджуючі рідини, рідкі речовини, що перевозяться транспортними засобами, та таке інше) в паливних баках, танках, резервуарах автомобілів, авіаційних й водних (в першу чергу морських) суден, а також ракет і космічних апаратів. Проблема полягає в тому, що під час руху ємності разом з транспортним засобом рідина всередині ємності постійно змінює положення своєї вільної поверхні, в тому числі в місці встановлення датчика рівня (ДР). Загальний рух вільної поверхні рідини обумовлено вимушеним рухом (під впливом прискорення ємності), який проілюстровано на рис. 1а та рис.1б, а також вільними коливаннями, що розвиваються на поверхні (рис. 1в). Коли датчик встановлено в геометричному центрі поперечного перерізу ємності, то відхилення рівня поверхні від статичного положення в цьому місці не є великі, але ж якщо датчик встановлено на деякій відстані від цього центру, то відхилення стають помітними, а то й значними (рис. 1а – 1в). Це істотно впливає на точність вимірювання рівня й, відповідно, на точність визначення кількості рідини. Конструктивна побудова баків, зокрема паливних, зазвичай така, що вона не дозволяє встановити датчик рівня у центр бака (по повздовжній вертикальній осі). Крім того, й геометричний центр поперечного перерізу ємності міняє своє положення в залежності від форми ємності та кута та напрямку проведення цього перерізу. Якщо ми маємо осесиметричну ємність, віссю си-

метрії якою є її повздовжня вісь, та й при цьому форма ємності по її висоті не змінюється, то геометричний центр поперечного перерізу незалежно від кута та напрямку перерізу завжди знаходиться на повздовжній осі. Але ж всі ємності мають нижнє та верхнє днище. Тому, коли рідина знаходиться у нижній, або верхній частині ємності, форма поперечного перерізу та місце знаходження починає залежати від кута та напрямку проведення цього перерізу. Таким чином, датчик рівня, навіть при встановленні його на повздовжній осі осесиметричної ємності, під час руху не завжди знаходиться у геометричному центрі поперечного перерізу, через це до його показань додається відповідна додаткова похибка (рис. 1г).

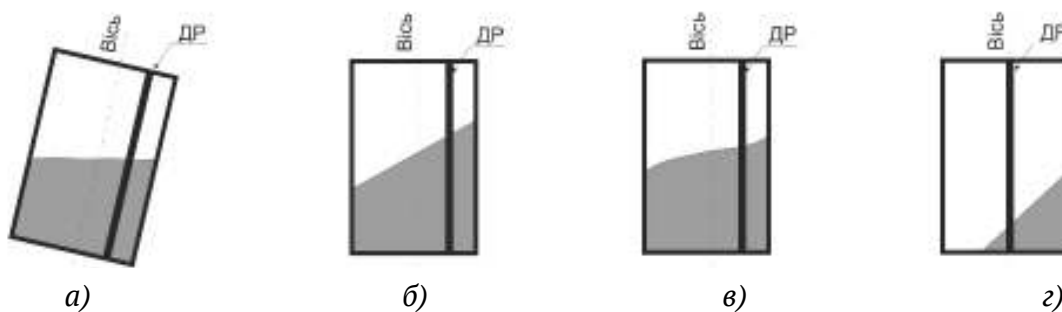


Рисунок 1 – Фактори, які ускладнюють процес вимірювання висоти рівня та визначення кількості рідини всередині рухомої ємності:

- а) нахил; б) прискорення; в) коливання вільної поверхні рідини;
- г) зміщення центру форми вільної поверхні рідини з точки розташування центру поперечного перерізу ємності

При визначенні кількості рідини за показаннями датчика рівня крім зазначених вище існує ще одна складність, іншого характеру. Вона стосується геометричних проблем, а саме проблеми обчислення об'єму ємності довільної форми, що знаходиться під площею перерізу. Як було вказано напочатку, перерахування даних про рівень висоти поверхні в об'єм рідини здійснюється на основі градуйованих таблиць або функцій, які зв'язують об'єм ємності, що знаходиться під поперечним перерізом, проведеним горизонтально (тобто перпендикулярно висоті ємності), та значенням висоти рівня, на якій цей переріз проведено. При отриманні цих таблиць та функцій, а це виконується шляхом градуювання, ємність встановлюється стаціонарно. Але в умовах експлуатації під час нахилу ємності, або коли під дією прискорення поверхня рідини приймає положення, не перпендикулярне висоті ємності, використання цих таблиць в загальному випадку не дає коректного результату. Даніми градуювання

можна користуватися тільки в тому окремому випадку, коли центр форми вільної поверхні рідини під час вимірювання залишається на тому ж місці, де він був під час градування. Тому, в загальному випадку необхідно вирішувати геометричну задачу обчислення об'єму ємності довільної форми, що знаходиться під площею перерізу. Слід відзначити, що ця задача відрізняється обчислювальною складністю й потребує великого масиву інформації щодо координат поверхні, яка задає форму ємності.

Таким чином, існують чотири фактори, що ускладнюють процес вимірювання висоти рівня та визначення кількості рідини всередині рухомої ємності у порівнянні з проведенням вимірювання у стаціонарній ємності:

- 1) наявність вимушеного руху рідини всередині рухомої ємності під впливом прискорення ємності (рис. 1а, 1б);
- 2) виникнення та розвиток вільних коливань на поверхні рідини (рис. 1в);
- 3) зміщення центру форми вільної поверхні рідини з точки розташування центру поперечного перерізу ємності, перпендикулярного по вздовжній осі ємності (рис. 1г);
- 4) неможливість в загальному випадку безпосередньо використовувати дані градування ємності, отримані в стаціонарних умовах, для перерахунку в об'єм рідини даних про висоту рівня рідини, що отримані в умовах руху ємності.

Через зазначені вище чинники точність вимірювання кількості рідини під час руху виявляється суттєво нижчою ніж при проведенні вимірювання в стаціонарних ємностях. Зазначена технічна проблема безпосередньо впливає на економічні показники та рівень безпеки при транспортуванні. Наприклад, невизначеність з точною кількістю палива на борту літака вимагає збільшувати резервний запас палива, з іншого боку зменшує коло доступних аеродромів для можливої аварійної посадки.

Мета дослідження. Метою дослідження, результати якого представлені в даній статті, є аналіз стану проблеми вимірювання кількості рідини в рухомих ємностях та виявлення методів можливого вирішення цієї проблеми.

Викладення основного матеріалу дослідження: аналіз останніх досліджень і публікацій. Для досягнення мети дослідження було виконано огляд існуючих методів вимірювання кількості рідини в морському, авіаційному та автомобільному транспорті, а також засобів та способів, які застосовуються для зменшення впливу руху поверхні рідкої речовини на результати вимірювань.

Морська техніка. Представлена в технічній літературі інформація про засоби вимірювання рівня рідини на морських судах [2] в узагальненому виді може бути представлена в такий спосіб:

а) Датчики рівня, застосовувані в морській техніці являють собою звичайні, без конструктивних особливостей, датчики, і вони не оснащуються засобами демпфірування коливань поверхні рідини; в умовах хитавиці показання приладів повинні бути усереднені візуально; реалізована в експлуатації похибка вимірювання вважається прийнятною, а її величина не регламентується нормами.

б) Точні вимірювання рівня проводяться на тихій воді, без хитавиці за допомогою показчиків рівня: футштоків і мірних рулеток.

в) У морській техніці не застосовуються засоби автоматичної компенсації похибки вимірювання рівня, що виникає внаслідок нахилу судна. При проведенні точних вимірювань на тихій воді облік крену й диференту судна проводиться розрахунковим шляхом.

г) При бункеруванні (заправлення суден паливом) доволі часто використовують витратоміри. Але через проблеми з фактичною точністю визначення кількості палива під час бункерування морські компанії часто заявляють про фінансові збитки [3].

Таким чином, засоби й методи вимірювання рівня рідких середовищ, застосовувані в морській техніці, не вирішують проблеми визначення кількості рідини під час руху.

Авіаційна техніка. Задача визначення кількості палива на борту повітряного судна за умовами проведення вимірювань, значимості й необхідного ступеня достовірності одержуваних результатів належить до однієї з найбільш складних у класі задач вимірювання рівня, об'єму й кількості матеріалу. Узагальнюючи представлену в технічній літературі інформацію, доходимо висновку, що в цілому авіаційна техніка має у розпорядженні два способи усунення впливу нахилу й прискорення повітряного судна, а також коливань поверхні рідини на процес вимірювання кількості палива в баках. Перший – це встановлення в кожному паливному баку або секції баку масиву датчиків рівня (не менш трьох датчиків у масиві) і усереднення їх показань для одержання оцінки висоти рівня палива [4]. Цей метод приводить до того, що вага повітряного судна збільшується. Другий спосіб – це використання динамічних методів вимірювання шляхом вимірювання витрати палива, що вибирається з баку літака, і безперервного інтегрування показань витратоміра [4]. Обидва ці методи не да-

ють високої точності вимірювання. Досяжна величина відносної похибки вимірювання палива, як для одного, так й для іншого методу не може бути кращою, ніж 1%. В окремих випадках, коли неможливо встановити масив датчиків всередині паливного бака й використовується лише один, або два датчика, як то у бойовій авіації, тоді інструкції пілотам вказують, що визначення кількості палива має проводитись по бортовим приладам лише на горизонтальних ділянках польоту. Таким чином через проблеми з вимірюванням кількості палива обмежуються експлуатаційні показники авіаційної техніки та знижуються показники безпеки.

Ракетна техніка. Для керування ракетою під час польоту необхідно мати дані про кількість палива, для чого необхідно проводити відповідні вимірювання висоти рівня поверхні рідкого палива в її паливних баках. З метою виключення впливу бокових прискорень та нахилу ракети під час її руху на результати вимірювання датчикі рівня розміщують на повздовжній осі баків, які є осесиметричними. В тих випадках, коли це неможливо зробити (наприклад, бак має тороїдальну форму), використовують два датчики, показання яких усереднюють. Це той самий метод, що використовується авіації. Звичайно, в цьому випадку маса засобів вимірювання рівня рідини збільшується вдвічі, що є вкрай небажаним в ракетобудуванні, де мала вага конструкції є дуже важливим показником. Для захисту датчика від вільних коливань поверхні рідини датчик розміщують всередині спеціальної конструкції – гідравлічного заспокоювача, наявність якого також збільшує вагу конструкції [5].

Вимірювання кількості палива в баках ракет проводиться ще й під час заправлення, проте заправлення баків завжди, за одним окремим винятком, виконується в стаціонарних умовах, тому датчики рівня заправлення можуть бути розташовані на будь якій відстані від осі бака. Окремим згаданим винятком є заправлення ракети-носія "Зеніт" у складі космічного ракетного комплексу морського базування "Морський старт". Розташування датчиків на значній відстані від осі бака, а також наклони ракети під час заправлення внаслідок нерегулярної хитавиці стартової платформи, на якій встановлена ракета, приводять до появи значної похибки вимірювання при визначенні кількості палива. В роботі [6] представлені результати дослідження задачі зменшення похибки вимірювання рівня рідини, що проводиться в подібних умовах, та запропоновано її рішення шляхом застосування обчислювальних методів обробки інформації. На основі запропонованого рішення розроблено відповідну інформаційно-вимірювальну технологію.

Космічні апарати. Космічні апарати знаходяться на орбіті в умовах невагомості, або за наявності досить малого прискорення. Рідина, що знаходиться в баках в цих умовах, займає невизначене положення, обумовлене перш за все капілярними силами, розпадається на окремі області – краплі великого розміру. Вимірювання рівня рідини в цих умовах втрачає сенс, а визначення кількості палива перетворюється на надзвичайно складну задачу. Ця задача є досить актуальною, досліджується багатьма науковцями і її висвітлення виходить далеко за рамки даної статті.

Автомобільний транспорт. Умови, в яких проводиться визначення кількості палива в баку автомобіля, є достатньо складними. Тут присутні всі чотири чинники, що знижують точність вимірювання, які були зазначені вище. Це обумовлено в першу чергу складною формою бака, яка частіше за все не є осесиметричною; сам бак є більш плоский ніж видовжений, а датчик рівня не завжди можна поставити у самий центр бака; під час руху існують прискорення, що можуть бути направлені вздовж усіх трьох осей, величина цих прискорень значна. Незважаючи на цю складність методи та засоби вимірювання рівня палива в автомобілях практично не змінюються на протязі вже декількох десятиліть попри активний прогрес у побудові усіх інших автомобільних систем. Як результат, точність вимірювання під час руху залишається низькою: в автомобілях відсутні цифрові показники кількості палива, замість них використовують традиційні стрілочні індикатори рівня палива, проградуїровані в долях об'єму бака. Щоб отримати достовірні дані, необхідно зупинити автомобіль на горизонтальній ділянці дороги, дати час на заспокоєння вільних коливань поверхні рідини, після чого провести відлік. Під час руху водій має самостійно усереднювати по часу показання індикатора, та інтуїтивно враховувати нахил транспортного засобу. Такий спосіб отримання даних відволікає водія та знижує безпеку руху. Наразі опубліковано окремі роботи, в яких робиться спроба змінити зазначену ситуацію в автомобільному транспорті, та повідомляється про проведення досліджень з метою розробки алгоритмів обробки вимірювальної інформації. Зокрема, надаються відомості про проведення згладжування даних про рівень палива за допомогою цифрових фільтрів.

Висновки. Існує проблема визначання кількості рідини всередині рухомої ємності, яка полягає в тому, що точність визначення кількості рідини під час руху ємності виявляється суттєво нижчою за точність, яка реалізується в стаціонарних умовах.

Наведені результати аналізу стану вирішення зазначеної проблеми показують наступне:

1) Проблема визначання кількості рідини всередині рухомої ємності в цілому залишається невирішеною. Загальне рішення, що дозволяє зменшити похибку вимірювання до значень, які відповідають вимірюванням в стаціонарних ємностях, в науковій та технічній літературі наразі не представлено.

2) Інструментальними засобами проблема визначення кількості рідини в рухомих ємностях може бути вирішена лише частково: за рахунок використання масиву датчиків; за рахунок використання гідравлічних заспокоювачів; за рахунок розташування датчиків рівня по осі ємності в ємностях осесиметричної форми. При цьому компенсується дія тільки окремих факторів.

4) Наявність зазначеної проблеми, неможливість її повного вирішення, або ускладнення конструкції вимірювачів з метою зменшення похибки визначення кількості рідини призводить до зниження технічних показників (збільшення маси конструкції), до введення експлуатаційних обмежень (можливість проведення вимірювання тільки в окремих умовах – на горизонтальних ділянках польоту, або на тихій воді), до додаткових фінансових витрат (потреба в резервній кількості палива), до зниження безпекових показників. В окремих галузях, зокрема в автомобільному транспорті, ця проблема наразі не вирішується, в результаті чого дані про кількість палива надаються користувачу з низькою точністю.

5) Існує нагальна потреба вирішення проблеми визначання кількості рідини всередині рухомої ємності. В науковій та технічній літературі існують приклади вирішення окремих задач, пов'язаних з даною проблемою. Запропоновані рішення засновані на використанні обчислювальних методів обробки вимірювальної інформації. Розвиток цих методів, створення відповідних інформаційно-вимірювальних технологій слід визнати найбільш перспективним напрямом пошуку й побудови рішення проблеми визначання кількості рідини всередині рухомої ємності.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Бобровников Г. Н. Методы измерения уровня / Г. Н. Бобровников, А. Г. Катков. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
2. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем / В. И. Снопков. – СПб: НПО "Профессионал", 2006. – 560 с.
3. Peterson C. M. Measure for Measure // Bunkerspot. – 2009. – Vol. 6. – Num. 1. – С. 37–38.

4. Langton R. Aircraft fuel system / R. Langton, C. Clark, M. Hewitt, L. Richards. – United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., – 2009. – 367 с.
5. Ракета как объект управления: Учебник / [И.М. Игдалов, Л.Д. Кучма, Н.В. Поляков, Ю.Д. Шептун]; под ред. С.Н. Конюхова.–Д.:АРТ-ПРЕСС, 2004.–544с.
6. Мазуренко В. Б. Реализация вычислительных методов повышения точности дозирования топливных баков ракеты-носителя морского базирования // Вісник Дніпропетровського університету. Серія "Ракетно-космічна техніка". – 2016. – Вип. 19. – С.49–59.
7. Wallebäck P. Fuel Level Estimation for Heavy Vehicles Using a Kalman Filter. Thesis LiTH-ISY-EX--08/4184--SE / P.Wallebäck. – Linköping: Division of Vehicular Systems Department of Electrical Engineering Linköping University, 2008. – 63 p.

REFERENCES

1. Bobrovnikov G. N. Metody izmereniya urovnya / G. N. Bobrovnikov. A.G. Katkov. – М.: Mashinostroyeniye. 1977. – 167 p.
2. Snopkov V. I. Tekhnologiya perevozki gruzov morem / V. I. Snopkov. – SPb: NPO "Professional". 2006. – 560 p.
3. Peterson C. M. Measure for Measure // Bunkerspot. – 2009. – Vol. 6. – Num. 1. – P. 37–38.
4. Langton R. Aircraft fuel system / R. Langton, C. Clark, M. Hewitt, L. Richards. – United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., – 2009. – 367 p.
5. Raketa kak obyekt upravleniya: Uchebnik / [I. M. Igdalov. L. D. Kuchma. N. V. Polyakov. Yu. D. Sheptun]; under rew. S. N. Konyukhova. – D.: ART-PRESS. 2004. – 544 p.
6. Mazurenko V.B. Realizatsiya vychislitelnykh metodov povysheniya tochnosti dozirovaniya toplivnykh bakov rakety-nositelya morskogo bazirovaniya // Visnik Dnipropetrovskogo universitetu. Seriya "Raketno-kosmichna tekhnika". – 2016. – Vip. 19. – S.49–59.
7. Wallebäck P. Fuel Level Estimation for Heavy Vehicles Using a Kalman Filter. Thesis LiTH-ISY-EX--08/4184--SE / P. Wallebäck. – Linköping: Division of Vehicular Systems Department of Electrical Engineering Linköping University, 2008. –63 p.

Received 25.02.2019.

Accepted 28.02.2019.

Проблема определения количества жидкости в движущейся емкости и возможные пути ее решения

В статье рассмотрены проблема измерения количества жидкости внутри движущейся емкости и возможные пути ее решения. Описаны причины появления проблемы. Представлены результаты обзора, проведенного с целью анализа обращения с данной проблемой в различных видах транспорта, таких как авиация, морские суда, космические ракеты и автомобили. Отдельные публикации указывают на возможные пути решения

этой проблемы. Они относятся к вычислительным методам и могут быть реализованы в качестве определенной информационно-измерительной технологии.

A problem of measuring quantity of liquid inside moving tank and possible ways to resolve it

The article describes a problem of measuring quantity of liquid substance inside moving tank. The problem consists in low accuracy in this type of measurement that is significantly lower than accuracy of such measurements provided in unmovable fixed tanks. Mostly, this problem is spread in transport: aviation, sea vessels, space rockets and automobiles, and it refers for measuring fuel in tanks, coolant volume, amount of various liquid substance under transportation etc. Low accuracy of obtained measurement data affects vehicle technical performance, leads to financial losses and even provokes some safety issues. There are several factors that increase measurement error during measuring inside a tank that is being under dimensional and angular motion. All of them change shape and position of liquid surface and make measuring process more complicated. Influence of some of these factors could be eliminated if the tank has symmetrical form, level sensor is installed along tank axe, and measurements are provided at middle part of tank height. If there are no such conditions, we face the discussed problem. The abovementioned factors are: tank inclination, tank acceleration, free motion of liquid surface, drastic changes in the shape of the liquid surface in case if the liquid surface position is shifting while it is located at nearby tank top or bottom area.

Author made a review with the aim to analyze how this problem is treated in various transportation systems. The review shows that the problem of measuring quantity of liquid substance inside moving tank is not resolved in general. Some partial solutions are presented, in particular, for measuring fuel quantity inside tanks of swinging sea-based launch vehicle. But it is still needed to find a general solution.

The problem couldn't be solved only by instrumental methods. Some published papers indicate the possible ways to resolve the problem. They are related to computational methods of data processing. Thus, development of this methods and creation of the corresponding information and measuring technology should be recognized as a most perspective way to resolve the problem of measuring quantity of liquid inside moving tank.

Мазуренко В.Б. - Днепропетровский национальный университет им.Олеся Гончара, физико-технический факультет, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронной автоматики.

Мазуренко В.Б. - Дніпровський національний університет ім.Олеся Гончара, фізико-технічний факультет, к.т.н., доцент кафедри радіоелектронної автоматики.

Mazurenko V.B. - Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, Doctor of Philosophy, docent of Chair of Radioelectronic Automation.