

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РІДИНИ В НАХИЛЕНІЙ ЄМНОСТІ НА ОСНОВІ ТРІАНГУЛЯЦІЇ ДЕЛОНЕ

Мазуренко В.Б., канд. техн. наук

Дніпровський національний університет, Україна

Abstract. The presentation is devoted to the problem of determining the amount of liquid in an inclined tank and, in particular, to the task of converting the level and angle measurement data into the amount of liquid kept inside the tank. A universal solution to this problem has not yet been presented in the scientific and technical literature. A method based on Delaunay triangulation that allow to determine the amount of liquid is introduced. It is shown that this method is universal for practice and it has capacity to be automated. An algorithm and software that implemented the concept are described.

Ключові слова: ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ РЕЧОВИНИ, ОБ'ЄМНА ТРІАНГУЛЯЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ.

Вступ. Серед проблем, пов'язаних з проведенням технічних вимірювань, є проблема визначання кількості рідини всередині нахиленої ємності на основі показань датчика рівня. Вона є окремим випадком більш загальної проблеми, що стосується визначання кількості рідини всередині рухомої ємності [1]. Проблема полягає в тому, що градууювальна характеристика датчика, яка пов'язує показання датчика та кількість рідини в ємності, отримується за умов, коли ємність встановлена в штатному положенні, тоді як вимірювання проводяться в нештатному, нахиленому положенні. Через це в результатах вимірювання з'являється додаткова похибка. Найбільш складним випадком є вимірювання у придонній зоні нахиленої ємності. Саме такі умови мають місце під час вимірювання кількості палива в паливних баках транспортних засобів. Невизначеність результатів вимірювання зростає одночасно з зростанням потреби в достовірності отриманої інформації про залишки палива, коли паливо закінчується та знаходиться в придонній області бака. Цю невизначеність можна значно зменшити, якщо використати дані про нахил ємності. Проте навіть за наявності даних про кут нахилу разом з даними про висоту рівня рідини всередині ємності перерахунок цих даних в кількість

рідини є доволі складною й невирішеною на сьогодні задачею. Саме її вирішенню і присвячено даний доклад.

Основний матеріал. Задача перерахунку вимірних висоти рідини та куту нахилу в кількість рідини всередині ємності з геометричної точки зору зводиться до задачі знаходження об'єму тримірної фігури, інакше кажучи – об'єму зрізаної фігури. В якості фігури виступає ємність, зріз проводиться по площині поверхні рідини, об'єм рідини – це об'єм ємності, що знаходиться нижче поверхні зрізу. Розглянемо можливі способи вирішення задачі на основі відомих методів.

Традиційний спосіб [2] на основі використання градуовальної характеристики датчика, який застосовується для стаціонарних ємностей, що ніколи не піддаються будь-якому нахилу, для вирішення поставленої задачі є громіздким та вкрай затратним, оскільки, для того, щоб по показаннях датчика рівня та інклінометра визначити кількість рідини в нахилений ємності необхідно визначати експериментально, або розрахунковим шляхом, а потім весь час зберігати в табличному вигляді, або у вигляді набору коефіцієнтів функцію трьох змінних для всіх можливих кутів нахилу та висот рівня рідини. Цей спосіб на практиці не може бути застосований.

Геометричний спосіб. Якщо кут нахилу є незмінним, й він відомий, то об'єм під площиною поверхні рідини можна визначити суто геометричними методами. Формули для знаходження об'ємів таких типових фігур як циліндр, еліпсоїд, паралелепіпед, піраміда, конус та таке інше відомі, вони наводяться у довідниках. Якщо відомо, через яку точку проходить поверхня рідини (а це є сукупність показань та координат датчика рівня), а також під яким кутом проходить поверхня (а це є показання вимірювача нахилу ємності), то по відомим формулам можна розрахувати об'єм фігури під зрізом, при умові, якщо форма ємності є типовою фігурою, або може бути розкладена на дві-три типові фігури. Проте цей спосіб потребує участі спеціаліста в аналізі створених зрізом форм з метою вибору потрібних формул та формування початкових даних, тобто він не універсальний та в загальному випадку не піддається автоматизації. В випадку підвищення складності форми ємності він стає занадто громіздким. Тому цей метод запропоновано [3] для використання

лише в окремих випадках, як то: обрахування градуювальної характеристики ємності для зберігання палива, яка за час експлуатації нахилилася на деякий фіксований кут по причині, наприклад, зсуву фундаменту. Ще один геометричний спосіб теоретично може бути застосований до ємностей, які мають форму багатогранника [4]. Для його використання потрібно знати довжину ребер багатогранника. Проте цей метод відрізняється великою розрахунковою складністю, оскільки потребує пошуку коренів поліному ступеня, рівного кількості вершин. Він також потребує участі спеціаліста. Тому цей спосіб так само не може бути рекомендований для використання в вимірюваннях.

До універсальних способів визначення об'єму фігур відноситься обчислювальний метод на основі триангуляції. Він дозволяє знаходити приблизне значення об'єму фігури довільної форми. Якщо ж фігура початково є багатогранником, то тоді отримуємо точне значення. Суттєвою перевагою цього методу є можливість проведення розрахунку методами аналітичної геометрії, а це як раз дозволяє побудувати алгоритми автоматичної обробки даних вимірювань. Ідея цього методу полягає в тому, що будь-який об'ємний багатогранник можна розбити на деяку сукупність тетраедрів. Об'єм тетраедра розраховується за простою формулою, тож розрахувавши об'єми усіх тетраедрів можна знайти об'єм усього багатогранника. Якщо ж маємо фігуру довільної форми, то її з заданою точністю можна представити у вигляді багатогранника і таким чином обчислити її приблизний об'єм. Метод широко використовується в геоінформаційних системах, системах автоматизованого проектування, для моделювання рельєфу, в системах машинного зору та таке інше. Наявні переваги, такі, як універсальність та легка алгоритмізація, обумовлюють перспективу ефективного його застосування для перерахунку даних вимірювання рівня висоти рідини та куту нахилу ємності в кількість рідини всередині ємності. Методи триангуляції достатньо висвітлені в науковій літературі, [5]. Вони введені в деякі системи програмування в вигляді відповідних функцій та об'єктів.

Серед усіх способів виділяється триангуляція Делоне, яка максимізує мінімальний кут серед усіх кутів всіх побудованих тетраедрів, уникаючи

«тонких» тетраедрів. Тому вона найкраще відповідає потребам вирахування об'єму. Через це саме вона використовується в запропонованому способі визначення кількості рідини. Вихідні дані, умови та припущення для застосування запропонованого способу визначення кількості рідини в нахиленої ємності наступні: 1. Ємність пов'язана з декартовою системою координат. Датчик вимірювання висоти рівня рідини жорстко встановлено всередині ємності. Координати датчика відомі. Показання датчика відомі. Таким чином відомі координати точки, через яку проходить площина поверхні рідини. 2. Кут нахилу ємності, тобто кут відхилення від вертикалі, виміряно. 3. Форма ємності відома: відомі координати усіх вершин об'ємного багатогранника, якій або точно відповідає формі ємності, або є її достатнім приближенням. Послідовність розрахунку наступна. 1. Будуємо триангуляцію Делоне по вершинам багатогранника, який представляє форму ємності. Це можна зробити за допомогою або стандартних можливостей системи програмування, або алгоритму, наведеному в [5]. 2. На основі даних вимірювання визначаємо коефіцієнти рівняння, що описує площину, в якій знаходиться поверхня рідини. 3. Перебираємо усі ребра усіх тетраедрів, та знаходимо всі точки перетину ребер тетраедрів з площиною поверхні рідини. 4. Знаходимо вершини, які знаходяться у рідині, тобто нижче площини в якій знаходиться поверхня рідини. 5. З отриманих точок перетину, та вершин багатогранника, які знаходяться у рідині, формуємо новий масив координат точок, які представляють форму, заповнену рідиною. 6. По отриманих вершинах багатогранника, який представляє форму, заповнену рідиною, будуємо нову триангуляцію Делоне. 7. Знаходимо об'єм кожного з тетраедрів, що входять в нову триангуляцію. 8. Підсумовуючи об'єми усіх тетраедрів, знаходимо об'єм всієї фігури, тобто об'єм рідини, що знаходиться в нахилений ємності. Його визначено за даними вимірювання: показаннями датчика рівня та інклінометра. Запропонований спосіб визначення кількості рідини було повністю алгоритмізовано та реалізовано в вигляді програмного забезпечення в середовищі MATLAB. В ході моделювання було підтверджено його дієздатність, ефективність та готовність до використання в вимірювальній техніці.

Висновки. В результаті проведеного дослідження: 1) Розглянуто задачу перерахунку даних вимірювання висоти рівня поверхні рідини та куту нахилу ємності в кількість рідини всередині ємності. Вказано на відсутність в науковій та технічній літературі відомостей щодо існування універсального способу її вирішення. 2) Знайдено спосіб визначення кількості рідини в нахилений ємності на основі триангуляції Делоне. Спосіб є універсальним та таким, що піддається автоматизації. 3) Для запропонованого способу розроблено алгоритм, який реалізовано в вигляді програмного забезпечення. В ході моделювання була підтверджена дієздатність, ефективність та готовність алгоритму до використання в вимірювальній техніці.

Література

1. В.Б. Мазуренко. Проблема визначення кількості рідини в рухомій ємності та можливі шляхи її вирішення // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (123). – Дніпро, 2019. – С. 48 – 57.
2. Бобровников Г. Н. Методы измерения уровня / Г. Н. Бобровников, А. Г. Катков. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
3. Wei Xie, Xiaojing Wang, Huizhe Cui, Jun Chen. Optimization model of oil-volume marking with tilted oil tank // Open Journal of Optimization. – Vol.1 No.2, 2012. – P. 20 – 24.
4. Сабитов И. Х. Объёмы многогранников / И. Х. Сабитов. – М.: МЦНМО, 2002. – 33с.
5. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002.- 128 с.

References

1. Mazurenko V.B. A problem of measuring quantity of liquid inside moving tank and possible ways to resolve it // System technologies. Regional interuniversity compendium. – 4 (123). - Dnipro, 2019. – P. 48 – 57.
2. Bobrovnikov G. N. Methods of level measurement / G. N. Bobrovnikov. A.G. Katkov. – M.: Mashinostroyeniye. 1977. – 167 p.
3. Wei Xie, Xiaojing Wang, Huizhe Cui, Jun Chen. Optimization model of oil-volume marking with tilted oil tank // Open Journal of Optimization. – Vol.1 No.2, 2012. – P. 20 – 24.
4. Sabitov I. H. Polyhedron Volumes / I. H. Sabitov. – M.: MCNMO, 2002. – 33 p.
5. Skvortsov A.V. Delaunay triangulation and its application / A.V. Skvortsov. – Tomsk: Tomsk university publishing house, 2002.- 128 p.