

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТРАС НАФТОГАЗОПРОВОДІВ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ**

*О.В. Кучмистенко*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 46067,  
e-mail: kafatp@ukr.net*

*Робота присвячена дослідженню актуальної науково-практичної задачі, яка полягає в аналізі існуючих способів і методів планування польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в автоматичному режимі з метою моніторингу та технологічного контролю цілісності магістральних нафтопроводів. Досліджено і проаналізовано методи й способи сучасних систем керування БПЛА.*

Ключові слова: магістральний нафтопровід, система автоматичного контролю, алгоритм керування, безпілотний літальний апарат.

*Работа посвящена исследованию актуальной научно-практической задачи, которая заключается в анализе существующих способов и методов планирования полета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в автоматическом режиме с целью мониторинга и технологического контроля целостности магистральных нефтепроводов. Исследованы и проанализированы методы и способы современных систем управления БПЛА.*

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, система автоматического контроля, алгоритм управления, беспилотный летательный аппарат.

*The article is devoted to the research of the currently important, scientific and practical problem, that consists in analyzing the existing ways and methods of planning the unmanned aerial vehicles flights automatically, aiming at monitoring and technological control of the trunk pipelines consistency. The ways and methods of UAV modern control systems are researched and analyzed.*

Key words: trunk pipeline, automatic control system, control algorithm, unmanned aerial vehicle.

**Вступ.** Обирати стратегію технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального трубопроводу слід з урахуванням забезпечення безпечності виконання робіт і охорони навколишнього середовища, з метою безперебійного постачання споживачів нафтою необхідної якості. При цьому необхідно знайти раціональне співвідношення між витратами на технічне обслуговування і ремонт та рівнем надійності і ефективності функціонування трубопроводу.

Технічний огляд є важливою складовою технічного обслуговування лінійної частини нафтопроводів і полягає в візуальному огляді і контролі за станом траси; пошуку витоків нафти і місць виходу її на поверхню землі; виявленні зовнішніх ситуаційних змін в охоронній зоні, небезпечних для нормального функціонування нафтопроводів, та пошкодження лінійних споруд зі з'ясуванням причин їх появи; визначенні та уточненні обсягів робіт для проведення поточного чи капітального ремонту; перевірки готовності об'єктів до експлуатації в паводковий і осінньо-зимовий періоди і т.д.

В Україні візуальний огляд трас магістральних нафтопроводів до 2010 року проводився вертолітним транспортом, проте на сьогоднішній час, цей спосіб став неможливим, оскільки вертолітний парк вичерпав свої технічні можливості, а затрати на оренду літаючих засобів є непривабливими для нафтотранспортних підприємств. У зв'язку з цим істотно зростає роль безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що пов'язано з успішністю їх впровадження для виконання складних технологічних процесів і

операцій, таких як: моніторинг, фотограмметрія об'єктів магістрального нафтопроводу, інспекція водних переходів та відстежування мобільних агентів. Для їх реалізації необхідно вміти управляти польотом БПЛА. Нині управління польотом здійснюється в напівавтоматичному режимі за командами оператора з використанням навігації по опорних точках або в дистанційному режимі за допомогою пульта управління. Водночас істотно зростає роль програмного управління БПЛА на базі інтелектуальних автопілотів. Це пов'язано зі світовою тенденцією до підвищення рівня автономності БПЛА при вирішенні поставлених цільових завдань, таких як планування і автоматичне управління польотом за заданою траєкторією.

**Постановка завдання:** дослідження та аналіз застосування методів планування і автоматичного управління польотом БПЛА за заданою траєкторією в сучасних автоматизованих системах моніторингу стану магістральних нафтопроводів.

**Метою даної роботи є** створення інтелектуальної, системи автоматизації процесу моніторингу трас нафтогазових нафтопроводів безпілотними літальними апаратами без участі людини-оператора.

**Об'єктом дослідження є** процес моніторингу ділянки магістрального нафтопроводу в автоматичному режимі безпілотним літаючим апаратом.

**Результати:** досягнення вказаної мети забезпечується вирішенням таких завдань: дослідження та аналіз методів і способів сучасних систем керування БПЛА; ідентифікація аеродинамічних характеристик квадрокоптера; розроблення критерію оптимальності для алгоритму планування траєкторії польоту квадрокоптера.

У сучасному світі все частіше для вирішення цивільних завдань моніторингу території з повітря застосовують надлегкі безпілотні літальні апарати, що відрізняються за типом, розміром і встановленим устаткуванням. Одним з основних критеріїв гарантії виконання поставленого завдання є їх автономне позиціонування в просторі. У БПЛА військового призначення для вирішення таких завдань, як правило, використовується комплекс інерційної системи не лише у поєднанні з системою ГЛОНАСС/GPS, але і з наземною системою обробки даних DGPS (диференціальна система GPS), за рахунок якої на борт БПЛА надходять поправки до даних із супутників. За рахунок цього точність позиціонування таких систем може досягати 5 см. Зменшення вартості надлегких БПЛА, з одного боку, робить більш доступними такі технологічні рішення але, з іншого боку не дозволяє встановлювати увесь комплекс навігаційного устаткування. Інколи як систему навігації на надлегкі БПЛА встановлюється приймач ГЛОНАСС/GPS і магнітометр. Дані з супутників GPS оновлюються з частотою 1-5 Гц, що дозволяє автопілоту точно (вчасно) оцінювати поточний курс руху і вносити до нього поправки. Точність сучасних цивільних приймачів ГЛОНАСС/GPS знаходиться в межах 5-15 метрів. Під час моніторингу території з цивільною метою, курс пролягає на невеликій висоті або на закритій від прямої видимості супутників території (наприклад, в гористій місцевості). Також, через простоту модулів навігаційних систем, вони іноді виходять з ладу або втрачають сигнал з супутників під час польоту. У зв'язку з цим виникла необхідність в розробленні альтернативних методів орієнтування надлегких БПЛА за відомою інформацією про місцевість з можливістю уточнити поточне місце розташування, без сигналу з супутників глобальної системи навігації, внести поправки до курсу при нерегулярному оновленні даних про місце перебування, щоб припинити або продовжити місію. При цьому система не повинна споживати багато енергетичних ресурсів надлегкого БПЛА і не вимагати використання додаткового устаткування.

У роботі запропоновано і описано метод позиціонування БПЛА без використання систем супутникової навігації із застосуванням даних, отриманих з бортового фото-відео реєстратора і заздалегідь завантажених даних про місцевість. Принцип методу відповідає діям, які чинить людина, орієнтуючись на місцевості і дозволяє побудувати карту орієнтирів місцевості, яку БПЛА повинен досліджувати, і не загубитися при наступних польотах по маршрутах на місцевості, яку вже раніше облітали, а

також скласти маршрут аварійного польоту за відомими орієнтирами. Оскільки орієнтири можуть знаходитися на значній відстані один від одного, то оновлення місця розташування відбувається нерегулярно, окрім того від дії зовнішніх процесів (наприклад, вітру) БПЛА "може відхилитися" від заданого курсу.

На даний час основним методом позиціонування не лише для БПЛА, але і в інших областях є глобальна система навігації. Приймач встановлюється на борт БПЛА і отримує дані з супутників. Для збільшення точності потоку даних з глобальної системи зараз активно стали використовуватися мережі наземних стаціонарних веж. Такі вежі є реперними для системи навігації БПЛА, вони визначають похибку даних глобальної системи навігації і відправляють поправки по радіоканалу на приймачі БПЛА. Однією з поширених на даний час систем такого типу є DGPS (differential global positioning system). Існують роботи, де рекомендовано використовувати сигнали стаціонарних веж не лише для внесення коректив, але і як основне джерело даних про місце розташування. У роботах [1, 2] описана система і алгоритм уточнення місцезнаходження легкого БПЛА на основі калмановської фільтрації вимірів типу пеленгації. Запропонована система позиціонування БПЛА за даними відстаней до одиниць мережі веж. Також для отримання інформації про положення БПЛА в просторі на борт БПЛА, окрім приймачів GPS, встановлюють комплекс інерційних систем. У неї входить комплекс давачів, за даними яких автопілот отримує інформацію про швидкість повітря, крен, прискорення на барометричній висоті та ін. До комплексу інерційної системи можуть входити:

барометр, за допомогою якого можна визначати висоту польоту відносно нульового рівня, що задається. Розрахунок висоти базується на використанні закономірного виміру атмосферного тиску залежно від висоти руху, відносно деякого рівня. Недоліком такого давача є відносно велика похибка вимірювання (близько 10-15 м);

радіотехнічний давач, заснований на вимірюванні відрізка часу між надісланням і прийманням електромагнітних хвиль, відбитих від поверхні, відносно якої вимірюється висота (поверхня землі або води). Як для легких мобільних роботів давач має велике енергоспоживання і при цьому працює на відстанях до 20-30 м, що недостатньо для літаючих роботів;

сонар – засіб звукового виявлення підводних об'єктів за допомогою акустичного випромінювання. Відповідний для легких мобільних роботів сонар працює на відстанях до 10 м, що недостатньо для літаючих роботів;

ЛІДАР (LIDAR – світлове виявлення і визначення дальності) – давач побудований за технологією отримання і обробки інформації про видалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища віддзеркалення світла і його розсіяння в прозорих і напівпрозорих середовищах. ЛІДАР ма-

ють велике енергоспоживання і велику вагу, що виключає їх використання в надлегких мобільних роботах;

комплекс з тривісного гіроскопа і акселерометра, який дозволяє визначити кути нахилу БПЛА відносно горизонту і прискорення обертання.

термодавачі в шести напрямках, за даними яких мікрокомп'ютер БПЛА оцінює різницю температур в різних напрямках і робить висновки про кути нахилу БПЛА відносно горизонту.

Окрім розвитку засобів інерційних систем для позиціонування БПЛА останнім часом розвиваються напрями візуального позиціонування БПЛА в просторі. У таких методах використовується бортові сенсори, фото-, відео реєстратори або комплекс таких реєстраторів і сенсорів, а також програмні засоби для обробки отриманих даних. Позиціонування БПЛА за даними вбудованих сенсорів вперше було застосоване для автоматичного орієнтування крилатих ракет [2] у ХХ столітті. Під час польоту на мікрокомп'ютер ракети надходить інформація з бортового висотоміра у вигляді послідовності різниць відстаней до поверхні між поточною відстанню і в попередню. Ця послідовність зіставляється із записаною на карту рельєфу, при цьому порівнюються саме послідовності відносних висот, а не абсолютні значення висот. Як тільки мікрокомп'ютер виявляє збіги, система управління отримує координати маршруту, розраховує величину помилки, що накопичилася, і вносить поправки в курс руху. Така система вимагає високої точності вимірювання висоти, має велику вагу (більше 20 кг) і значне енергоспоживання, що не дозволяє використовувати такий метод в надлегких БПЛА. У роботі [3] описано алгоритм визначення тривимірних координат і кутів орієнтації БПЛА без використання сигналів супутникової навігації. Цей підхід полягає у використанні системи комп'ютерного зору для генерації і обробки потоку фотографій підібраного рельєфу, а також подальшого порівняння отриманих даних із вже наявними картами з метою пошуку маркерних точок (не менше трьох). Через високі вимоги до ресурсу обчислювальної потужності така система припускає обробку отриманих даних на базовій станції і, отже, постійний зв'язок з БПЛА. Для збільшення точності наслідування заданого маршруту в умовах низького оновлення даних про місцевість (наприклад, польоту в гористій місцевості) розташування виникає необхідність у впровадженні в програмний код мікрокомп'ютера БПЛА алгоритмів оптимізації польоту за рахунок оцінювання діючих на БПЛА невідомих зовнішніх процесів.

Необхідність в передбаченні значень випадкового процесу, що породжується білим шумом, пропущеним через лінійний фільтр, є найбільш типовим для калмановської фільтрації. Щоб оцінити випадкові процеси в системах навігації мобільних об'єктів достатньо часто і ефективно застосовували фільтр Кальмана, який задовільно працює на великих мобільних об'єктах з різноманітним навігаційним устатку-

ванням. Для надлегких БПЛА завдання зниження рівня відхилення від заданої траєкторії руху залишається невирішеним, оскільки вплив на них супутніх невизначеностей значний. При оптимізації руху окремих БПЛА і групи в режимі реального часу [4,5] виникають потреби у вирішенні за обмежений час багатовимірних оптимізаційних завдань при зашумлених спостережних даних. У таких умовах добре зарекомендували себе рандомізовані рекурентні алгоритми стохастичної оптимізації. Детальному аналізу можливостей рандомізованих алгоритмів для оцінювання і оптимізації даних при довільних перешкодах присвячено багато робіт [6,7]. Також під час польоту сумісного (масового) польоту з'являється можливість реалізації алгоритмів оптимізації польоту групи БПЛА [8], методів позиціонування за рахунок передачі актуальної інформації між учасниками групи, а також автономного розподілу цієї інформації про час польоту групи БПЛА зі змінним зв'язком між ними в умовах зашумленості. Для вирішення такого типу завдань останнім часом успішно застосовуються мультиагентні технології.

Квадрокоптер - це літальний апарат з чотирма роторами, що обертаються діагонально в протилежних напрямках. Як і будь-який інший літальний апарат, він має свої переваги і недоліки.

Квадрокоптер складається з багатьох механічних, електричних і електронних модулів серед яких ротори, блок живлення і управління, акселерометри і гіроскопи. Для зменшення габаритів і ваги модулів сьогодні використовуються компоненти на базі мікроелектромеханічних систем. Розміри кристала мікросхеми мікроелектромеханічних систем лежать в діапазоні від 20 мкм до 1 мм, тоді як розміри мікромеханічних пристроїв - від 1 до 100 мкм, що робить їх дуже привабливими для використання в мініатюрних літальних апаратах.

Вага пристрою є важливою умовою проектування літальних апаратів, тому що вона входить до співвідношення загальної ваги літального апарату до результуючої похідної тяжі і, отже, безпосередньо впливає на аеродинамічні характеристики літального апарату.

Основною конструктивною перевагою квадрокоптера є його маневровість, тобто здатність змінювати напрями польоту без проходження додаткових кругів. Квадрокоптер не вимагає механічних з'єднань для зміни кута нахилу обертання лопатей ротора, коли здійснює обертальний рух.

Квадрокоптер має фіксований крок гвинта, який є однією з основних технічних характеристик його аеродинаміки. Крок гвинта - це відстань, пройдена поступально гвинтом, що угвинчується в повітряне середовище за один повний оберт (360°). Чим більший крок гвинта, тим більший об'єм газу захоплюють лопаті, і тим більше навантаження на двигун і менша швидкість обертання гвинта (оборотів). Це спрощує конструкцію, скорочує час і зменшує

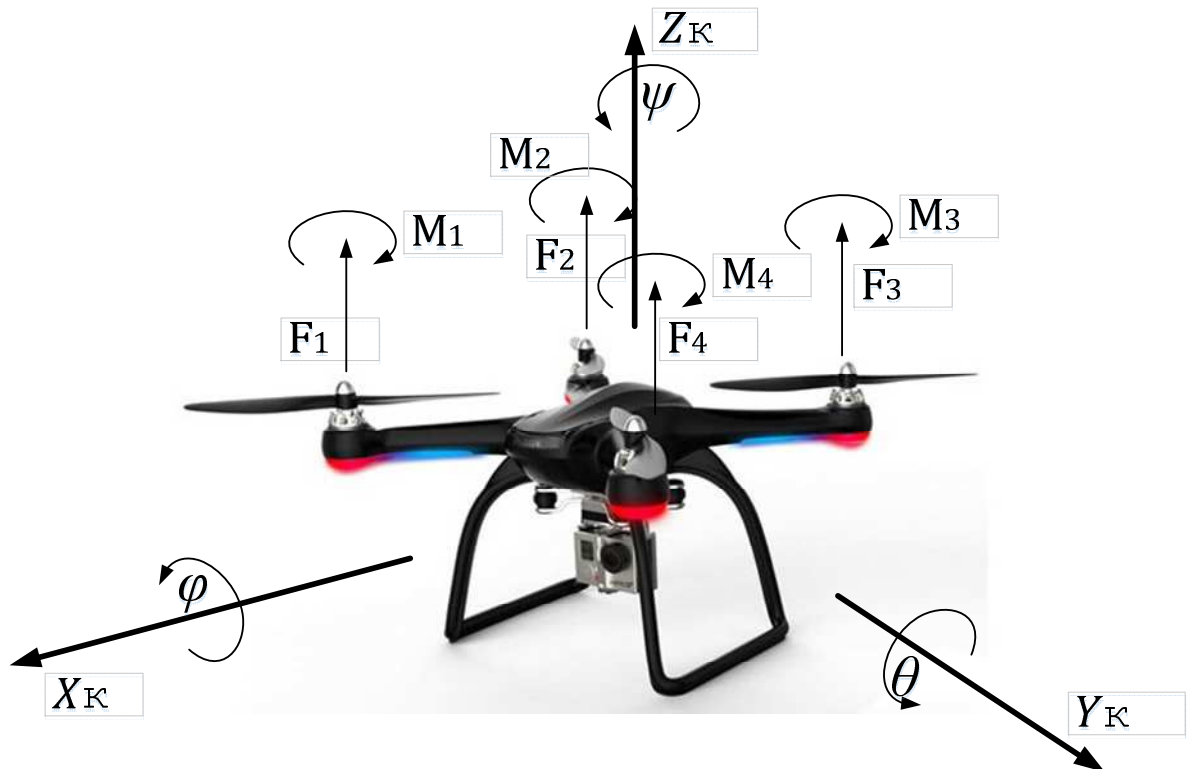


Рисунок 1 – Система координат і відліку положення квадрокоптера

вартість обслуговування, однак уповільнює швидкість польоту квадрокоптера.

Одна з переваг квадрокоптера – використання чотирьох роторів. Це дозволяє зменшувати діаметр лопатей БПЛА, і в наслідок чого сума діаметрів роторів (чотири гвинти) менша за діаметр еквівалентного ротора (з одним гвинтом) для цього розміру літального апарату. Відсутність автомата перекоосу на квадрокоптері робить проектування літального апарата дешевим, а його конструкцію простішою це пояснюється функціональністю автомата перекоосу. У вертольотах він забезпечує управління вертикальним переміщенням гвинтокрилого літального апарату, а також його нахилом по крену і тангажу. Для цього автомат періодично змінює кут установки кожної лопаті гвинта залежно від того, де лопать знаходиться в певний момент часу обертання гвинта.

Також слід зазначити що, квадрокоптери мають ряд недоліків: найважливіший з них – відсутність допоміжних механізмів у конструкції для стабілізації польоту, особливо якщо розглядати нелінійність динамічної моделі квадрокоптера. Цей мініатюрний літальний апарат так само має низькі показники дальності польоту і вантажопідйомності.

Таким чином, квадрокоптер можна охарактеризувати як високоманеврений і нестабільний літальний апарат, тому дослідження управління ним - це актуальне технічне завдання. Крім того, для застосування квадрокоптера як БПЛА, необхідно розглядати питання планування і генерування траєкторій польоту.

У просторі квадрокоптер має шість ступенів свободи, і його рух описується шістьма диференціальними рівняннями (рівняння Ейлера). Розв'язання цих рівнянь дозволило б визначати характер просторового руху квадрокоптера у будь-який момент часу і, зокрема, судити про стійкість цього руху. Проте, безпосередньо розв'язати це рівняння складно, навіть при застосуванні сучасних обчислювальних машин. Якщо ж за початковий режим польоту прийняти прямолінійний сталий політ без ковзання і вважати відхилення параметрів руху від початкових значень досить невеликими, то завдяки симетрії квадрокоптера, систему шести рівнянь руху можна поділити на дві незалежні системи рівнянь з невідомою мірою точності, що описують рух квадрокоптера в площині симетрії (так званий повздовжній рух) і в двох інших площинах (бічний рух).

Для кількісного опису положення і руху квадрокоптера в просторі використовують різноманітні системи координат: інерційні, земні і рухливі. Вибір системи координат зазвичай обумовлений поставленим завданням.

Фіксована або нормальна земна система координат  $OzXzYzZz$ . Її початок  $Oz$  лежить на земній поверхні і осі фіксовані відносно неї. Вісь  $OzXz$  спрямована вгору вздовж місцевої вертикалі, тобто по прямій, що збігається з напрямком сили тяжіння. Осі  $OzYz$  і  $OzZz$  лежать в місцевій горизонтальній площині, утворюючи праву прямокутну Декартову систему координат. Напрям осей  $OzXz$  і  $OzZz$  вибирають відповідно до завдання.

$$R_{ZXY} = R_Z R_X R_Y$$

$$R_{ZXY} = \begin{bmatrix} \sin \theta \sin \varphi \sin \psi + \cos \psi \cos \theta & \cos \varphi \sin \psi & \cos \theta \sin \varphi \sin \psi - \sin \theta \cos \psi \\ \sin \theta \sin \varphi \cos \psi - \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \varphi & \cos \theta \sin \varphi \cos \psi + \sin \theta \sin \psi \\ \sin \theta \cos \varphi & -\sin \varphi & \cos \theta \cos \varphi \end{bmatrix},$$

де  $R_{ZXY}$  – матриця повороту навколо осі  $Z$ ;

$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}; R_Y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & -\cos \theta \end{bmatrix}; R_Z = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Рисунок 2 – Узагальнена матриця обертання

Пов'язана або рухлива система координат  $O_k X_k Y_k Z_k$ . Ця система координат збігається з осями тіла квадрокоптера. Її початок  $O_k$  лежить в центрі ваги квадрокоптера, а осі  $X_k Y_k Z_k$  повернені на кути крену, тангажу і рискання від осей фіксованої системи координат  $X_z Y_z Z_z$ , як показано на рис. 1.

Повздовжня вісь  $O_k X_k$  розташована в площині симетрії квадрокоптера і спрямована від хвостової частини до носової. Нормальна вісь  $O_k Z_k$  розташована в площині симетрії квадрокоптера і спрямована вгору. Поперечна вісь  $O_k Y_k$  перпендикулярна до площини симетрії квадрокоптера.

Кут крену  $\varphi$  - це кут між поперечною віссю  $O_k Z_k$  і віссю  $O_z Z_z$  нормальних системи координат, зміщеної в положення, при якому кут рискання дорівнює нулю. Кут крену позитивний, якщо зміщена вісь  $O_z Z_z$  поєднується з поперечною віссю поворотом навколо повздовжньої осі за годинниковою стрілкою, якщо дивитися у напрямці цієї осі.

Кут тангажу  $\theta$  це кут між повздовжньою віссю  $O_k Y_k$  і горизонтальною площиною  $O_z X_z Z_z$  нормальної системи координат. Його слід вважати позитивним, якщо повздовжня вісь знаходиться вище за горизонтальну площину  $O_z X_z Z_z$ .

Кут рискання  $\psi$  - це кут між віссю  $O_z X_z$  нормальної системи координат і проекцією повздовжньої осі  $O_k X_k$  на горизонтальну площину  $O_z X_z Z_z$  нормальної системи координат. Кут рискання позитивний, якщо вісь  $O_z X_z$  поєднується з проекцією повздовжньої осі на горизонтальну площину поворотом навколо осі  $O_z Y_z$  за годинниковою стрілкою, якщо дивитися у напрямці цієї осі.

Поступальний рух квадрокоптера як твердого тіла в просторі - є рухом його центру ваги відносно Землі. Напрямок осей параметрів положення квадрокоптера рухливої системи координат, початок яких поміщений в центрі ваги квадрокоптера, вибирається відповідно до поставленого завдання. Просторове положення квадрокоптера при поступальному русі відносно Землі повністю описується трьома параметрами: широтою ( $\Phi$ ), довготою ( $L$ ) і висотою ( $H$ ).

Квадрокоптер здійснює відносно землі, окрім поступального, також обертальний рух, що є рухом навколо його центру ваги.

Таким чином, просторове положення квадрокоптера відносно землі повністю описується шістьма параметрами: пройденою відстанню  $L$ , бічним відхиленням  $\delta$ , висотою  $H$ , кутами рискання  $\psi$ , тангажу  $\theta$  і крену  $\varphi$ .

Для переходу від однієї системи координат до іншої використовуються обертальні матриці. Процес обертання пояснюється за допомогою моделі Ньютона-Ейлера. Матриці  $R_x$ ,  $R_y$  і  $R_z$  використовуються для визначення обертання квадрокоптера у фіксованій системі координат, рухомого в пов'язаній системі координат. Узагальнена матриця обертання представлена за допомогою рівняння (див. рис. 2).

Отже, за допомогою  $R_x$ ,  $R_y$  і  $R_z$  можна визначити рухи квадрокоптера відносно до поверхні землі у будь-який момент часу. Це допомагає стежити за правильністю роботи вимірвальних бортових систем мініатюрного літального апарату.

Спеціалісти ПАТ «Укртранснафта» виявили зацікавленість у створенні системи автоматичного об'льоту охоронних зон магістральних нафтопроводів БПЛА. Дослідження в цьому напрямку передбачає:

аналіз і розроблення математичних моделей для кількісної оцінки параметрів технічних засобів АСУ ТП безпілотними засобами моніторингу;

розроблення структур і алгоритмів розподілених бортових систем управління;

розроблення методів аналізу і проектування вузлів систем автоматичного управління БПЛА;

дослідження моделей багатопроцесорної системи керування повздовжнім рухом, кутами тангажу і крену;

дослідження стійкості безпілотного літального апарату при різних режимах управління;

розроблення принципів побудови бортового комплексу управління;

розроблення алгоритмів комунікації з наземною станцією.

**Література**

- 1 Сугак Д.В. Гіротехнології та конструювання літальних апаратів / Д.В. Сугак, О.П. Мариношенко // Тези доп. учасн. XVII наук.-техн. конф. студ. та молодих учених. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2014. – 88 с.
- 2 Ардентов А. Алгоритм вычисления положения и ориентации БПЛА / Ардентов А., Бесчастный И., Маштаков А. // Программные системы и приложения. – 2012. – № 3. – С. 23-39.
- 3 Amelin K. Randomization in controls for the optimization of a small uav flight under unknown arbitrary wind disturbances // Cybernetics and Physics. 2012. Vol. 1. №2. P.79-88.
- 4 Granichin O., Volkovich Z. (V.), and Toledano-Kitai D. Randomized Algorithms in Automatic Control and Data Mining. – Springer. 2014.
- 5 Amelin K., Amelina N., Granichin O., Granichina O., Andrievsky B. Randomized Algorithm for UAVs Group Flight Optimization // Proc. of 11th IFAC International Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. 2013. France. pp. 205-208.
- 6 Granichin O., Volkovich Z. (V.), and Toledano-Kitai D. Randomized Algorithms in Automatic Control and Data Mining. – Springer. 2014.
- 7 Amelin K., Amelina N., Granichin O., Granichina O., Andrievsky B. Randomized Algorithm for UAVs Group Flight Optimization // Proc. of 11th IFAC International Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. 2013. France. pp. 205-208.
- 8 Семенцов Г.Н. Фаззі-модель для імітаційного моделювання несанкціонованого витікання нафти з нафтопроводу / Г.Н. Семенцов, О.В. Кучмистенко // Академический вестник. – Кривой Рог. – 2004. – № 13. – С. 84-86.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
14.11.16*

*Рекомендована до друку  
професором Горбійчуком М.І.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук Воциньським В.С.  
(ТОВ СКБЗА, м. Івано-Франківськ)*