

І. В. Остроумов

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ ЗОНАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ

Стаття присвячена питанню позиціонування літального апарату, а саме резервним чи альтернативним до супутникових методам визначення координат місцеположення у просторі. Виконано детальний аналіз сучасних засобів позиціонування за сигналами наземних кутомірних та далекомірних радіомаяків, щодо відповідності вимогам зональної навігації RNP/RNAV. Розглянуті можливі шляхи підвищення точності позиціонування за парами далекомірних радіомаяків. Крім того, проаналізовано можливості мультилатераційних систем, пасивного використання сигналів далекомірного обладнання, псевдосупутникових та позиціонування засноване на зворотних відстанях, виділено переваги та недоліки кожного з методів. Розроблено загальну класифікацію засобів позиціонування літака з урахуванням перспективних засобів зональної навігації. **Висновки.** На сьогоднішній день методи позиціонування за парами радіонавігаційних засобів є широко розповсюджені, проте їх точність обмежена геометриєю взаємного місцерозташування, що є причиною невідповідності майбутнім вимогам зональної навігації. Відповідно до виконаного аналізу, найбільш перспективними засобами альтернативного позиціонування є застосування мультилатераційних та псевдосупутникових систем. У той час як пасивне використання DME, MOSAIC чи DivR потребують значних затрат на розбудову наземної мережі та зміну бортового обладнання ПК. Вагомим є застосування цифрових мереж передачі даних, що підтримують функцію позиціонування за наземними станціями.

**Ключові слова:** координати, позиціонування, навігація, повітряний корабель, класифікація.

### Вступ

Відповідно до майбутніх концепцій розвитку авіації, роль глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) у задачах навігації розширюється. Планується широке впровадження комбінованих систем для автоматизації процесів керування повітряним рухом, процесів автоматичного пілотування ПК та інших з використанням послуг GNSS для позиціонування. Широке використання GNSS зумовлено її численними перевагами, серед яких широка зона дії, висока точність та низька вартість послуг. Проте, GNSS є чутливою до впливу інтерференції від інших електронних пристроїв та природних явищ, оскільки космічний сегмент GNSS знаходиться на значній відстані від користувачів. Відповідно, потужність сигналу GNSS у сегменті користувача наднизька і електронне обладнання з достатнім рівнем потужності може повністю завадити позиціонуванню. Окрім того, на ринку доступна велика кількість систем, що здатні створювати завади [1]. Малі габаритні розміри та низька вартість зробили їх популярними для користувачів сьогодення з метою забезпечення власної приватності. Подібні системи порушують законодавство з радіочастотного використання, проте зона їх дії є малою, що унеможливує їх виявлення та блокування. Відповідно до цього, ця проблема є актуальною і залишиться такою найближчим часом. Міжнародне світове авіаційне товариство вже багато років займається проблемою пошуку оптимальних альтернативних до GNSS методів позиціонування задля забезпечення продовження польоту за правилами польотів за приладами у випадку відмови GNSS.

Численні фундаментальні дослідження довели актуальність використання наземних систем зональної навігації у якості альтернативних засобів позиціонування [2-6]. Позиціонування за наземними радіомаяками розглядається як альтернатива супутниковій навігації у глобальних планах розвитку повітряного транспорту [7]. Алгоритми зональної навігації, що

застосовуються на повітряному транспорті сьогодні використовують одночасно лише пару радіомаяків для визначення координат [3, 4], що значно обмежує точність. Питання альтернативних до GNSS засобів позиціонування цивільної авіації розглядалися у працях багатьох вчених. Зокрема, Kim Euiho [8] досліджував інтеграцію позиціонування за парами радіомаяків з мультилатераційними системами, Lo S. та Enge P. розглядали можливість підвищення точності DME за рахунок сумісної обробки з сигналами ADS-B [9] та пасивні методи використання DME [10]. Han S. [11] проаналізував деякі напрямки розвитку альтернативних методів позиціонування.

**Основною метою статті** є аналіз перспективних засобів зональної навігації, інформація яких може бути використана для позиціонування ПК у якості альтернативи до GNSS з метою забезпечення вимог неперервності інформації, у випадку погіршення точнісних характеристик чи її повної недоступності. Крім того, важливим є розробка загальної класифікації систем позиціонування ПК з урахуванням перспективних засобів зональної навігації.

### Результати аналізу

**Концепція альтернативного позиціонування, навігації та часу.** Відповідно до концепції PBN [12], кожний користувач повітряного простору повинен визначати координати свого місцеположення з певною точністю, необхідною до встановлених норм. Діюча концепція альтернативних методів позиціонування, навігації та визначення часу (APNT) [13] розглядає мережу наземних радіомаяків VOR, NDB, DME, у якості резервних джерел визначення координат літака [4, 5]. Системи VOR, NDB підтримують навігацію від точки до точки та є несумісними з концепцією PBN при діях за RNAV і RNP. Точність позиціонування за кутомірним методом є обмеженою у використанні (у випадку знаходження між радіомаяками) [14] та недостатньою для гарантування вимог RNAV/RNP, що діють сьогодні.

Світова тенденція зросту попиту на авіаційні послуги вказує на стрімкий ріст, що подвоюється кожні 15 років. Збільшення користувачів повітряного простору вносить нові вимоги щодо його використання, а саме накладає нові обмеження щодо точності визначення місцеположення. Тому, у майбутньому, для вирішення проблеми завантаженості повітряного простору, вимоги RNAV/ RNP поступово збільшуватимуться. Очевидним є те, що системи VOR, NDB не задовольнятимуть майбутні вимоги позиціонування, оскільки вони не задовольняють існуючі критерії точності. Отже, капіталовкладення в розвиток наземної інфраструктури VOR/NDB не є доречними, проте існуюча мережа може бути використана у якості резервної до APNT.

З існуючої мережі наземних радіомаяків, лише позиціонування за парами DME/DME відповідають вимогам RNAV/ RNP і будуть сумісними з майбут-

німи навігаційними характеристиками [4, 5]. Окрім того, очікується поява нових систем позиціонування з використанням інфраструктури DME сумісно з появою інноваційних технологій навігації. Одним із таких підходів є позиціонування за багатьма радіомаяками DME/DMEs [6], проте його впровадження потребує змін у бортовому обладнанні та спричинює надмірне навантаження на наземну інфраструктуру. У загальному випадку існуючі та перспективні методи навігації можна класифікувати як показано на рис.1, при цьому доцільно виділити основні та альтернативні групи методів позиціонування відповідно до вимог обладнання авіоніки. До основних відносяться GNSS та ІНС. У альтернативних методах можна виділити три основні групи: що ґрунтуються за сигналами наземних радіомаяків, мультилатераційні та псевдосупутникові методи позиціонування.

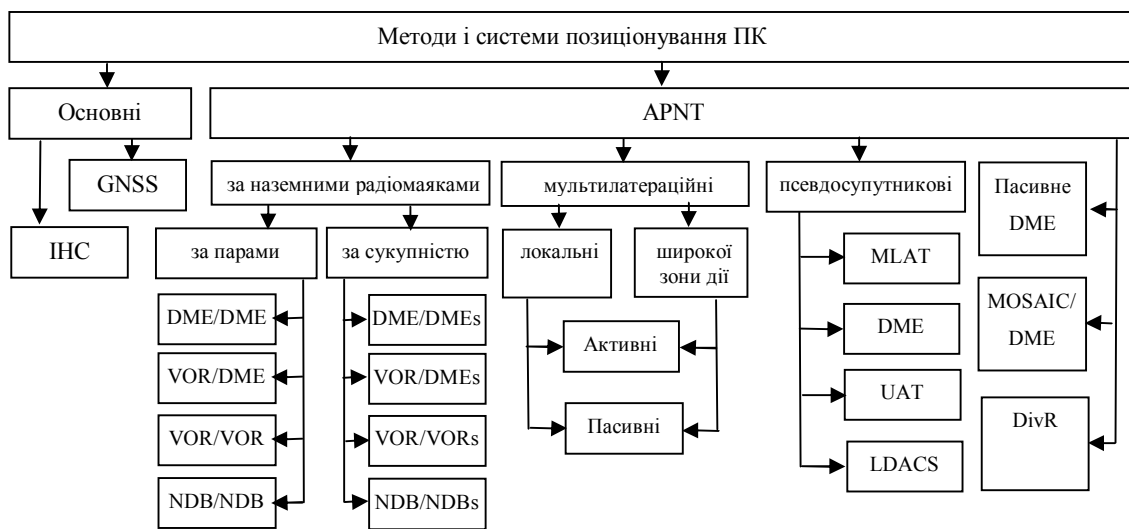


Рис. 1. Класифікація методів та систем позиціонування ПК

Відповідно до документів ICAO, концепція APNT повинна [13]:

- задовольняти майбутні вимогам RNAV/ RNP, що наразі невизначені;
- продовжувати дії за RNAV/ RNP під час зльоту та посадки у випадку неспроможності визначення координат за GNSS;
- задовольняти вимоги RNAV/RNP-2 на маршруті, RNAV/RNP-1-0.3 – для дій у повітряному просторі В та С, RNAV/ RNP -0.3 – під час заходу на посадку, RNAV/ RNP-1 – для перерваного заходу на посадку;
- забезпечувати резервне джерело часу на борту літака для потреб навігації та керування;
- бути резервною до GNSS, проте може не бути еквівалентною за точністю.

**Підвищення точності далекомірного обладнання.** Результати моніторингу мережі наземних радіомаяків DME, виконані компанією Boeing, вказують на багато більшу точність ніж заявляється у міжнародних специфікаціях [15]. Це пов'язано з введенням в дію нових систем DME, що використовують цифрову обробку даних. Проте, поряд з модернізованими системами функціонують і застарілі

зразки техніки.

Одним з наглядних прикладів того, що обладнання насправді є більш точним є похибка часу затримки у наземній станції DME. Відповідно до нормативних документів, максимальне значення не має перевищувати 500 нс. Проте, сучасні дослідження та заяви виробників наземного обладнання вказують на те, що похибка сучасних цифрових систем в дійсності не перевищує 100 нс. Похибка у 500 нс відповідає похибці по дальності у 150 м у два боки. Відповідно, похибка визначення відстані у один бік затверджена на рівні 75 м. Сучасним станціям DME властива похибка часу у 100 нс, що відповідає 15 м [15].

Результати оцінки складових похибки визначення відстані у DME, що притаманні сучасним системам мають такі значення [15]: похибка розповсюдження сигналу у просторі – 80 м; похибка пов'язана з неточним генеруванням сигналу відповіді у наземному радіомаяку – 10 м; похибки затримки сигналу у наземних станції – 30 м; похибка визначення часу у бортовому обладнанні – 3 м; похибка генерування сигналу запиту – 20 м.

**Мультилатераційні системи.** Пасивні мультилатераційні системи (WAM) за довгий час свого

існування зарекомендували себе як точний засіб позиціонування ПК у зоні аеродрому. WAM система складається з певної кількості наземних приймачів сигналів бортових відповідей режиму S та ADS-B. Кожна наземна станція-приймач (НСП) фіксує час прийому сигналу та надсилає його до контрольної станції (рис. 2). Різницево-далекомірні алгоритми у контрольній станції визначають координати ПК за часом фіксації сигналу різними станціями-приймачами. Отримане місцезположення ПК пересилається на борт літака за допомогою сервісу TIS-B, що входить до складу концепції ADS-B.

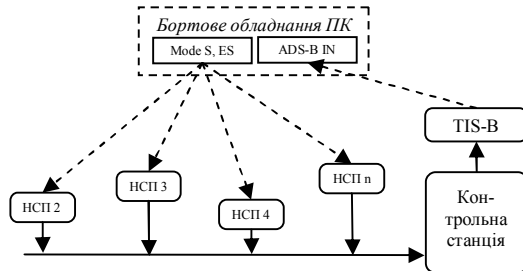


Рис. 2. Визначення місцезположення ПК за пасивною мультilaterаційною системою

У концепції APNT зона дії WAM розширюється. Передбачається встановлення великої кількості станцій-приймачів, що забезпечуватимуть позиціонування у всьому контрольованому просторі.

**Позиціонування за пасивним використанням мережі DME.** Пасивний метод позиціонування та визначення відстаней (DMPR) ґрунтується на використанні фундаментальних принципів функціонування DME для вимірювання відстаней. Метод DMPR досліджувався у багатьох наукових працях [10]. DMPR використовує існуючу мережу наземних станцій DME. Окрім того, DMPR містить спеціальні наземні станції, що аналогічно до бортового обладнання DME генерують синхронізовані у певні проміжки часу сигнали запиту у системі DME (рис. 3).

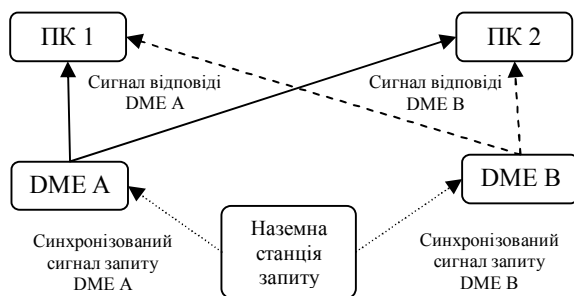


Рис. 3. Пасивний метод позиціонування та визначення відстаней за DME

Наземні станції DME, у свою чергу, приймають ці сигнали і генерують сигнали відповідей (притаманні обладнанню DME). Бортове обладнання приймає сигнали запиту з метою синхронізації, а також приймає сигнали відповідей та фіксує час їх прийому. За відомим часом запиту, координатами наземної станції запиту та радіомаяка DME, а також проміжку часу генерації сигналу відповіді, визначається відстань від радіомаяка DME до ПК. DMPR знижує зава-

нтаженість наземної інфраструктури DME, оскільки кожен користувач отримує відстань до наземної станції DME без сигналу запиту. Крім того, концепція DMPR може функціонувати незалежно від загальноприйнятого використання маяків DME та відповідає вимогам, пов'язаних з ростом авіаперевезень. Відповідно до світових тенденцій, у майбутньому очікується навантаження на DME у 260 літаків одночасно.

Проте, представленому методу властиві два основні недоліки:

- необхідність в точній часовій синхронізації наземних станцій

- для вирішення навігаційної задачі у DMPR необхідно мати доступними щонайменше 3 DME для позиціонування у горизонтальній площині, оскільки 1 DME має компенсувати похибку годинника у бортовій частині обладнання.

### Псевдосупутникові системи позиціонування.

Псевдосупутникові системи позиціонування (PL) базуються на використанні далекомірного методу подібного до принципу позиціонування у GNSS. Система використовує псевдосупутники розміщені на малій відстані від приймачів (відстань не перевищує декількох сотень кілометрів), розташовані на земній поверхні. Попередньо PL розглядалися як доповнення до GNSS. Проте, PL здатні працювати незалежно у випадку повної недоступності GNSS, що робить їх вагомими у концепції APNT. У порівнянні з GNSS, PL властиві численні переваги, зокрема низька вартість, відсутність впливу іоносфери та тропосфери на поширення радіосигналів, потужність навігаційного сигналу є достатньою для гарантування точного позиціонування.

Проте, PL притаманні певні недоліки, зокрема важливу роль відіграють перевідбивання радіохвиль від штучних та природних перешкод, що повністю може змінити псевдовідстані визначені у системі. Сьогодні PL у межах концепції APNT розглядає мультilaterаційну систему, мережу наземних радіомаяків DME та UAT у якості псевдосупутникового сегменту, розміщеного на земній поверхні (рис. 4).

PL з використанням мультilaterаційної системи розглядає мережу наземних станцій запиту (НСЗ), що входять до складу активних мультilaterаційних систем за режимом Mode-S [8, 13].

Сигнали запиту від різних наземних станцій, синхронізовані за часом та контролюються наземною станцією спостереження.

Синхронізація за часом вимагає наявності точного годинника у наземному сегменті. Сигнали, випромінювані наземними станціями, приймаються бортовим обладнанням літакового відповідача у різні моменти часу, оскільки відстані мають різні значення. Бортове обладнання вимірює різниці часу фіксації навігаційних сигналів та застосовує гіперболічний метод навігації для визначення власного місцезположення. Псевдосупутникова мережа DME розглядає наземні радіомаяки у якості навігаційних псевдосупутників. Зокрема, у випадку коли радіомаяк DME є вільним від навігаційних операцій, від випромінює стандартний сигнал відповіді на частоті роботи у строго синхронізовані проміжки часу.



Рис. 4. Псевдосупутникова система позиціонування

Бортове обладнання DME фіксує час прийому сигналу від радіомаяка та розраховує час поширення навігаційного сигналу у просторі за відомим часом випромінювання з наземного радіомаяка. Недоліком даного методу є необхідність одночасного приймання сигналів від 3 DME (1 є необхідним для синхронізації наземного та бортового годинників за часом) для позиціонування у горизонтальній площині.

Псевдосупутникова мережа з використанням універсальних бортових прийомо-відповідачів (UAT) є одним з двох стандартів для передачі місцеположення ПК та аеронавігаційних даних [9,16]. Сигнал вимірювання відстані міститься у наземній частині цифрового повідомлення UAT, що використовується для передачі сигналів з наземних станцій мережі ADS-B. У цьому сегменті є 32 синхронізуючі біти інформації, що визначають часові рамки для передачі цифрового повідомлення. У цій інформації міститься час передачі, що у поєднанні з місцеположенням наземної станції дає змогу визначити координати ПК. Одним з недоліків позиціонування є залежність від прийому та декодування цілого повідомлення UAT.

Іншою перспективною технологією для позиціонування є L-band Digital Aeronautical Communication System (LDACS) – система цифрової передачі даних та зв'язку земля-повітря. LDACS розглядає два варіанти практичної реалізації LDACS1 та LDACS2. LDACS1 використовує частотне розділення дуплексних каналів передачі даних з використанням Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM). LDACS2 – вузькополосна система зв'язку з однією несучою частотою та часовим розділенням дуплексного каналу. Основною задачею LDACS є забезпечення додаткової лінії зв'язку пілота ПК з диспетчером АТС та забезпечення вимог доступу до аеронавігаційної інформації у рамках концепції SWIM. Найбільш перспективною є технологія LDACS1. Численні наукові дослідження підкріплені результатами експериментальних випробувань вказують на можливість використання сигналів LDACS1 для позиціонування ПК з точністю до 15 м [17, 18].

**Позиціонування за комбінацією псевдосупутників у MOSAIC та DME.** Ця система [19, 20] була спеціально розроблена для забезпечення вимог APNT. Наземна станція MOSAIC/DME складається з звичайного наземного радіомаяка DME та п'яти антен псевдосупутників. Бортове обладнання ПК виконує вимірювання дальності за DME у звичному режимі, разом з вимірюванням псевдовідстаней за навігаційним сигналом, що постійно випромінюється з антен псевдосупутників (рис. 5). У основі функціонування MOSAIC покладено гіперболічний

принцип позиціонування за різницею фаз.

Наземне обладнання MOSAIC з певною кількістю антен постійно випромінює синхронізований навігаційний сигнал. Відповідно, на борту ПК має бути встановлене обладнання прийому сигналів наземних станцій MOSAIC та вимірювання зсуву фази між сигналами різних антен неземної станції. За відомої геометрії розташування передавальних антен, різниця фаз дозволяє оцінити різниці відстаней між двома антенами передавачами. Кожна відома різниця відстаней є певною лінією положення у просторі, що має вигляд гіперболи з фіксованими фокусами. Для оцінювання місцеположення MOSAIC система використовує одночасне вимірювання чотирьох різниць фаз та одне вимірювання дальності за радіомаяком DME. Таким чином система навігаційних рівнянь складається з п'яти рівнянь, що дозволяє визначити координати місцеположення ПК, як у горизонтальній площині так і у вертикальній. Відповідно до сучасних досліджень MOSAIC/DME є перспективним навігаційним засобом. Проте досконалі експериментальні дослідження, щодо застосування подібної системи для авіаційного застосування не проводились.

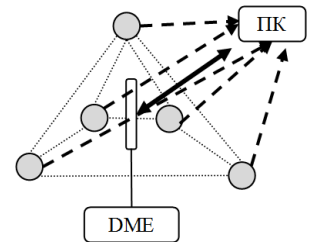


Рис. 5. Позиціонування за MOSAIC/DME

**Позиціонування засноване на зворотних відстанях.** Концепція заснована на зворотних відстанях (Diverse Ranging – DivR) розглядається у якості альтернативного методу позиціонування у межах концепції APNT, що задовольняє вимогам PBN. Система складається з мережі наземних станцій, що взаємодіють з бортовим обладнанням ПК та забезпечує позиціонування у двох режимах – прямої відповіді (Direct Reply – DR) та у беззапитовому режимі (Non-Reply – NR) [21]. У якості наземної інфраструктури DivR використовує мережу наземних радіомаяків та наземні станції передачі повідомлень FIS-B, TIS-B у концепції ADS-B. У режимі DR бортове обладнання ПК вимірює відстань до наземної станції за допомогою фіксації часу випромінювання навігаційного сигналу від ПК і фіксації часу повернення сигналу відповіді на ПК від наземної частини обладнання. Для визначення висоти польоту ПК, застосовується барометрична залежність з відповідними корекціями для стану повітряного простору. Горизонтальна відстань між ПК та наземною станцією визначається з урахуванням показів барометричного висотоміра. Координати місцеположення ПК розраховуються за навіга-

ційним рівняння, що використовує відомі координати місцеположення наземних станцій та відстані до них. Щонайменше дві відстані необхідні для визначення координат ПК. Оцінені координати за концепцією ADS-B, поширюються для інших користувачів повітряного простору. У режимі NR ПК вимірює псевдовідстані за рахунок фіксації часу прийому сигналу від літака, що працює у режимі DR та фіксації часу приходу сигналу від наземної станції. Відстань від наземної станції визначається пгім чином:

$$c(t_2 - \tau) = d_D + d_U + b,$$

де  $b$  – відстань пов'язана з невідомим часом передачі повідомлення. Відстань від ПК у режимі DR:

$$ct_1 = d_A + b.$$

Різниця відстаней:

$$c(t_2 - \tau - t_1) - d_D = d_U - d_A.$$

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика альтернативних методів позиціонування

Назва	Необхідність у зміні обладнання		Використовуваний принцип	Метод визначення координат	Можливість визначення висоти	Застосовується сьогодні
	бортового	наземного				
DME/DME	Ні	Ні	Активний	Дальномірний	Ні	Так
DME/DMEs	Так	Ні	Активний	Дальномірний	Так	Ні
WAM	Так	Так	Пасивний	Різницево-дальномірний	Ні	Так
DMPR	Так	Так	Пасивний	Дальномірний	Так	Ні
PL	Так	Так	Пасивний	Дальномірний	Так	Ні
MOSAIC/DME	Так	Так	Активний	Різницево -дальномірний	Так	Ні
DivR	Так	Так	Пасивний	Різницево -дальномірний	Ні	Ні

## Висновки

Недоліки притаманні GNSS вимагають пошуку альтернативних засобів позиціонування та їх впровадження у глобальному масштабі для забезпечення безпеки авіації. У якості альтернативних систем позиціонування на борту ПК застосовуються методи позиціонування за сигналами систем зональної навігації у обчислювальній системі літаководіння. На сьогоднішній день методи позиціонування за парами радіонавігаційних засобів є широко розповсюджені, проте їх точність

Навігаційна задача вирішується у горизонтальній площині, тому для перетворення похилих відстаней у геометричні аналогічно використовується барометрична залежність з актуальними корекціями. Різниця відстаней утворює гіперболічну лінію положення, у фокусах якої знаходяться наземна станція та літак, що працює у режимі DR. Для визначення координат місцеположення використовуються сигнали від різних наземних станцій чи від різних ПК у режимі DR.

Основною проблемою концепції DivR є необхідність точної синхронізації по часу наземного та повітряного сегментів. Відповідно до цього концепція DivR може бути застосована виключно у майбутніх навігаційних мережах.

Порівняльна характеристика кожного з розглянутих методів наведена у табл. 1.

обмежена геометрією взаємного місцерозташування, що є причиною невідповідності майбутнім вимогам зональної навігації. Відповідно до виконаного аналізу, найбільш перспективними засобами альтернативного позиціонування є застосування мультилатераційних та псевдопутникових систем. У той час як пасивне використання DME, MOSAIC чи DivR потребують значних затрат на розбудову наземної мережі та зміну бортового обладнання ПК. Вагомим є застосування цифрових мереж передачі даних, що підтримують функцію позиціонування за наземними станціями.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Lubbers B. A study on the accuracy of GPS positioning during jamming / B. Lubbers, S. Mildner, P. Onincx, A. Scheele // Navigation World Congress (IAIN), – 2015, International Association of Institutes, IEEE. – pp. 1–6. – electronic version, available by link: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7352258/>
- Lilley R.W. DME/DME for Alternate Position, Navigation, and Timing (APNT) / R. W. Lilley, R. Erikson // APNT White Paper. – 2012. – 10p.
- Verma N. DME-DME Network and Future Air Traffic Capacity / N. Verma, M. R. Haque // Journal of Modern Science and Technology. – 2013. – № 1. – pp. 45–51
- Остроумов І.В. Оцінювання точності визначення лінії положення за парою далекомірного обладнання DME при вирішенні навігаційних задач / І.В. Остроумов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – №2(42). – С. 8–12.
- Ostroumov I. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation / I. Ostroumov, N. Kuzmenko // 2016 IEEE 4th Int. Conf. «Methods and Systems of Navigation and Motion Control», October 18-20, 2016. – Kyiv, 2016. – P. 291–294.
- Ostroumov I.V. Analysis of DME/DME positioning facility for Ukrainian airspace / I.V. Ostroumov // 7 World Congress "Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technologies". Vol. 2. – Kyiv: NAU, 2016. – P. 3.6.1–3.6.4.
- Concept of operation for NextGen Alternative Positioning, Navigation and Timing (APNT). – FAA, 2012. – 208 p.
- Kim E. Hybrid APNT architecture using DME/DME and multilateration / Euiho Kim // Digital Avionics Systems Conference (DASC). – 2012, IEEE/AIAA. – pp. 71–83
- Lo S. Alternative Position Navigation & Timing Based on Existing DME and UAT Ground Signals / S. Lo, B. Peterson, D. Akos, M. Narins, R. Loh, P. Enge // Proc. of the Institute of Navigation GNSS Conf. – 2011, Portland, OR. – pp.1-9
- Lo S. Signal structure study for passive ranging system using existing distance measuring equipment (DME). / S. Lo, P. Enge // Proceedings of the Institute of Navigation International Technical Meeting. – 2012, Newport Beach, CA. – pp. 1–11
- Han S. Future Alternative Positioning, Navigation, and Timing Techniques: A Survey / S. Han, Z. Gong, W. Meng, C. Li, X. Gu // IEEE Wireless Communications. – № 23(6). – 2016. – pp.154–160.



12. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. – ICAO, 2008. – 304 p.
13. Eldredge L. Alternative Positioning, Navigation & Timing (PNT) Study / L. Eldredge, P. Enge, M. Harrison, R. Kenagy, S. Lo, R. Loh, R. Lilly, M. Narins, R. Niles // International Civil Aviation Organisation Navigation Systems Panel (NSP), Working Group Meetings. – 2010, Montreal, Canada. – 19 p.
14. Остроумов І.В. Оцінка точності позиціонування за сигналами радіомаяків VOR / І.В. Остроумов // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(39). – К.:НАУ, 2012. – С. 102-107.
15. Lo S. Distance measuring equipment accuracy performance today and for future alternative position navigation and timing (APNT) / S. Lo, Y. H. Chen, P. Enge, B. Peterson, R. Erikson, R. Lilley // Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2013). – 2013, Nashville, TN. – pp. 711-721
16. Chen Y. H. Evaluation & Comparison of Ranging Using Universal Access Transceiver (UAT) and 1090 MHz Mode S Extended Squitter (Mode S ES) / Y. H. Chen, S. Lo, P. Enge, S. S. Jan // PLANS-2014. – 2014, IEEE/ION. – pp. 915-925
17. Schneckenburger N. Precise aeronautical ground based navigation using LDACS1 / N. Schneckenburger, D. Shutin, M. Schnell // Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS). – 2012, IEEE. – pp. B1-1
18. Shutin D. LDACS1 ranging performance analysis of flight measurement results / D. Shutin, N. Schneckenburger, M. Walter, M. Schnell // Digital Avionics Systems Conference (DASC). – 2013, IEEE/AIAA. – pp. 3C6-1
19. Kim O.J. The study of error sources for MOSAIC/DME system: A single station based positioning system for APNT / O. J. Kim, C. Kim, J. Song, Y. Kim, C. Kee // PLANS 2014. – 2014, IEEE/ION. – pp. 855-863
20. Kim O. J. A New Concept of APNT: MOSAIC/DME 3D-Positioning with a Single DME Station / O. J. Kim, C. Kim, S. Junesol, Y. Ho, D. Kim, C. Kee, L. Taikjin // Proceedings of ION ITM. – 2012. – pp. 142–150
21. Wu R.H. An Alternative Positioning Navigation and Timing concept based on Diverse Ranging / R. H. Wu, S. A. Davidson // Position, Location and Navigation Symposium (PLANS 2014). – 2014, IEEE/ION. – pp. 886-914.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 12.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

#### Анализ перспективных систем зональной навигации

И. В. Остроумов

Статья посвящена вопросу позиционирования летательного аппарата, а именно резервным или альтернативным к спутниковым методам определения координат местоположения в пространстве. Выполнен детальный анализ современных средств позиционирования по сигналам наземных угломерных и дальномерных радиомаяков в соответствии с требованиями зональной навигации RNP/RNAV. Рассмотрены возможные пути повышения точности позиционирования по парам дальномерных радиомаяков. Кроме того, проанализированы возможности мультilaterационных и псевдоспутниковых систем, пассивного использования сигналов дальномерного оборудования и позиционирования основанного на обратных расстояниях, выделены преимущества и недостатки каждого из методов. Разработана общая классификация средств позиционирования самолёта с учётом перспективных средств зональной навигации. **Выводы.** На сегодняшний день методы позиционирования за парами радионавигационных средств является широко распространены, однако их точность ограничена геометрией взаимного месторасположение, что является причиной несоответствия будущим требованиям зональной навигации. Согласно выполненного анализа, наиболее перспективными средствами альтернативного позиционирования применение мультilaterационных и псевдоспутниковых систем, в то время как пассивное использование DME, MOSAIC или DivR требуют значительных затрат на развитие наземной сети и изменение бортового оборудования ПК. Весомым является применение цифровых сетей передачи данных, поддерживающих функцию позиционирования по наземными станциями.

**Ключевые слова:** координаты, позиционирование, воздушный корабль, навигация, классификация.

#### Analysis of prospective area navigation systems

I. Ostroumov

The paper considers a problem of aircraft positioning, especially stand-by or alternative to global navigation satellite system methods of aircraft coordinates determination in airspace. Interference with electronic equipment and jamming produced by personal devices have been discussed as main causes that may lead to complete lock of GNSS positioning function. Paper is devoted to important issue that is connected with reducing of positioning accuracy that is the main peril for future development of future air navigation infrastructure and decreases safety of aviation. Paper represents an analysis of prospective methods that use pairs of navigational aids of area navigation that includes usage of Distance Measurement Equipment, VHF Omni Range, and Non Directional Beacon data. Several possible ways of accuracy improving of distance measurement equipment were analyzed that can increase accuracy of positioning by area navigational aids. For instance, usage of modern digital equipment and changing the parameters of navigation signal can be used to achieve the required navigation characteristics. Wide area of multilateration, passive positioning approach, pseudo-satellite, MOSAIC/DME and diverse ranging methods are considered as possible future alternatives to GNSS in aviation. Their advantages and disadvantages are considered in the article. General classification of aircraft positioning methods, including area navigation algorithms is developed. Study outcomes of future positioning approaches indicate that current air navigation infrastructure of navigational aids does not meet requirements of precise future area navigation. Proposed solution for this problem is to introduce completely modern systems grounded on pseudo-satellite principle or wide area multilateration, but it requires absolutely new navigation equipment. As a result, in the future, a revision of the minimum equipment list will be required due to necessity to use new avionics systems in order to ensure accuracy requirements that can create inconvenience for air carriers.

**Keywords:** coordinates, positioning, aircraft, navigation, classification.