

О. М. Безвесільна, д.т.н., проф., С.О. Нечай к.т.н., доц.,
О.О. Вінцевич, магістр

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний
інститут", Україна*

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ВИСОТИ ПРИЛАДОВОГО КОМПЛЕКСУ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

У відомій літературі по системам навігації та орієнтації [1-5] наведено переваги, недоліки, технічні характеристики засобів визначення висоти. Однак, відсутні відомості щодо аналізу та надання рекомендацій щодо вибору тих чи інших засобів вимірювання висоти приладового комплексу авіаційної гравіметричної системи для вимірювань гравітаційних аномалій [6].

Мета даної роботи: надати рекомендації щодо вибору засобів визначення висоти при авіаційних гравіметричних вимірюваннях.

Раніше було знайдено, що у разі авіаційних гравіметричних вимірювань похибка визначення висоти польоту літака має не перевищувати 3...10 м. Вимірюють Δg звичайно на висоті близько 5 км за виключно сприятливих погодних умов на прямолінійних ділянках траєкторії польоту, із застосуванням автопілоту.

Розрізняють основні методи вимірювання висоти [6]: барометричний, радіотехнічний, акустичний, інерціальний, оптичний, ємнісний (табл. 1). Для порівняння й аналізу введемо терміни: абсолютна, істина, відносна висота (рис. 1). Абсолютна висота відповідає висоті польоту літака відносно рівня моря; істиною вважають висоту відносно місця, над яким перебуває літак у даний момент часу; відносна – висота відносно будь-якого умовного місця, наприклад, місця зльоту або посадки літака. Крім того, є ще один тип – висота, яка відлічується від місця з заданим атмосферним тиском, або барометрична.

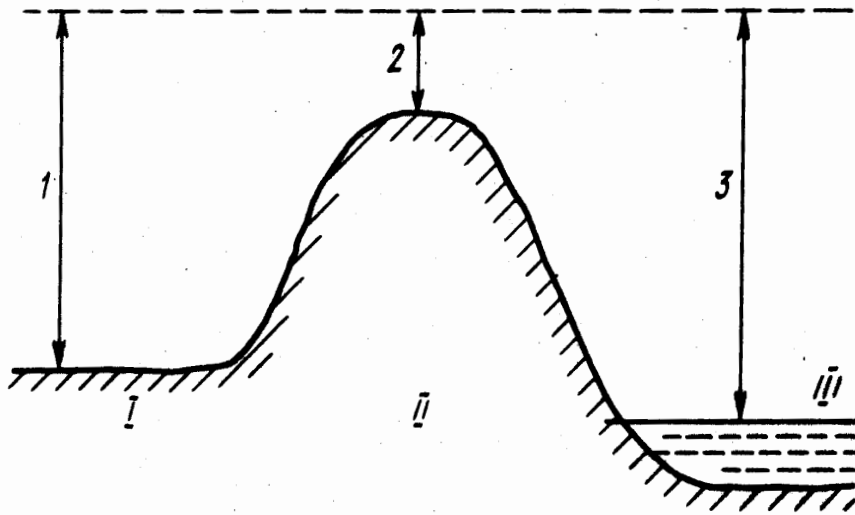


Рис. 1. Типи висот літака [6,7]:

1 - відносна; 2 - істина; 3 - абсолютна; I-III - див. рис. 1

Відомі наступні методи вимірювання висоти [6,7]:

Барометричний метод (рис. 2). Використання закону зміни тиску повітря зі збільшенням висоти. Встановлено середньо - статистичну залежність $P = f(H)$, прийняту як міжнародну стандартну атмосферу. Принцип дії зводиться до вимірювання $P_{абс}$ за допомогою манометра.

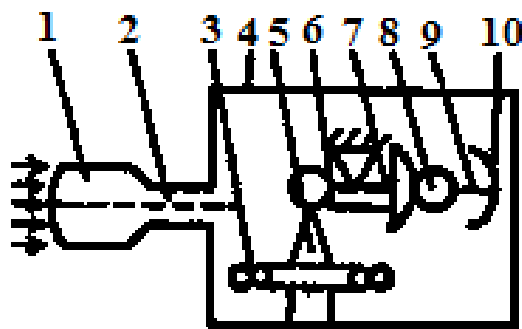


Рис. 2. Барометричний метод:

1 - приймач статичного тиску; 2-трубо-провід; 3 - анероїд; 4 - корпус;
5 - тяга; 6 - кривошип; 7- зубчастий сектор; 8 - трибка; 9 - стрілка; 10 -
шкала

Тип висоти – відносна.

Переваги: простота конструкції; висока надійність; автономність; відносна точність вимірювань.

Недолік - залежність показників від атмосферного тиску.

Діапазон - 0...30000 м.

Точність (на висоті, м) ± 300 м (3000);

± 80 м (6000);

± 10 м (5000)

Радіотехнічний метод безперервної дії (рис. 3). Вимірювання часу проходження радіо хвиль від літака до земної поверхні та назад після їх відбиття.

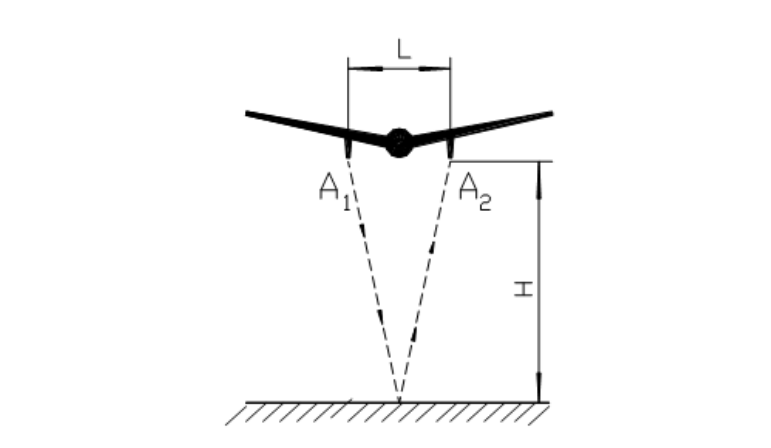


Рис. 3. Радіотехнічний метод безперервної дії [6,7]

Антенa A_1 радіопередавача безперервно випромінює електромагнітні хвилі, котрі після відбиття від земної поверхні вертаються до літака; антенa A_2 радіопередавача приймає радіохвилі, що випромінюються антенною A_1 , так і відбиті від Землі (рис. 4).

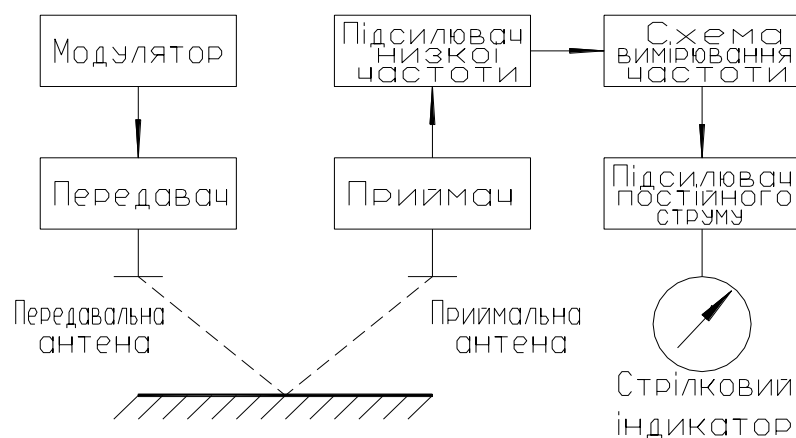


Рис. 4. Принципова схема радіотехнічного методу безперервної дії

Тип висоти – істина.

Переваги: висока точність; незалежність показань від атмосферних умов.

Недоліки: наявність джерела живлення; складність конструкції; неможливість вимірювати великі висоти.

Діапазон до 1500м.

Точність (на висоті, м) $\pm 0,8\%$ (0...10);
 $\pm 5\%$ (1500).

Радіотехнічний метод імпульсної дії (рис. 5). Принцип дії такий самий, як у разі безперервної дії, за винятком того, що радіохвилі випромінюються не безперервно а, імпульсами.

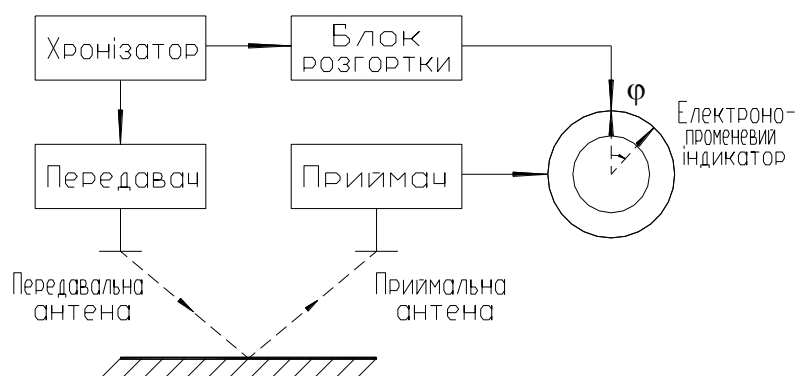


Рис. 5. Принципова схема радіотехнічного методу імпульсної дії [6,7]

Тип висоти – істина.

Переваги: висока точність показників; незалежність показників від атмосферних умов.

Недоліки: неможливість вимірювань малих висот; складність конструкції; наявність джерела живлення.

Діапазон до 500...30000 м.

Точність (на висоті, м) ± 28 м (20 000);
 $\pm 5 \%$ (вище 20000).

Радіоізотопний метод середніх і великих висот (рис. 6). На літаку розташовано джерело випромінювання та вимірювальний пристрій розсіяного випромінювання від відбиваючої поверхні. У разі однакової геометрії системи та

перебування літака в густих шарах атмосфери сигнал на виході вимірювального пристрою в кожному мить часу визначається густиною повітряного середовища. Тому сигнал на виході є функцією висоти польоту.



Рис. 6. Радіоізотопний метод середніх і великих висот [1]

Тип висоти – абсолютна

Перевага: висока точність.

Недоліки: наявність випромінюючої речовини; необхідність застосування захисних засобів; висока вартість.

Діапазон до 80000м.

Оптичний метод. Метод аналогічний радіо хвильовому та заснований на відбитті від земної поверхні світлового променя. Передавачем є оптичний квантовий генератор (лазер), приймачем - фотоелемент. Другий варіант вимірювання вертикальних кутів земних орієнтирів. Метод застосовуваний переважно для контролю інших типів висотомірів.

Схема вимірювання аналогічна схемі для радіотехнічних методів.

Тип висоти – істина.

Перевага: висока точність.

Недоліки: складність апаратури ; при великих висотах необхідність застосування потужних лазерів.

Діапазон до 50 м.

Інерціальний метод (рис. 7). Подвійне інтегрування вертикального прискорення літака. Прилад містить датчик лінійних прискорень (акселерометр) та інтегруючі пристрої [1]

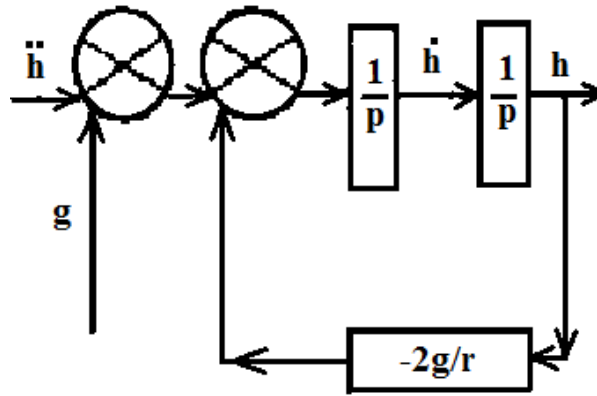


Рис. 7. Інерціальний метод [1]

h -вертикальне прискорення; h - висота; g -прискорення сили ваги; r - радіус Землі; p - оператор диференціювання

Тип висоти – відносна.

Перевага: можливість застосування в автоматичних навігаційних пристроях

Недоліки: зростання похибки з часом; складність конструкції.

Діапазон - немає границі.

Радіоізотропний метод малих висот (рис. 8). На літаку розташовано джерело γ - випромінення 1 та вимірювальний пристрій 2 потоку оберненого розсіяного випромінення від поверхні, що відбиває. Коли літак наближається до поверхні, в кожну мить сигнал на виході вимірювального пристрою при незмінній геометрії системи визначається відстанню до цієї поверхні

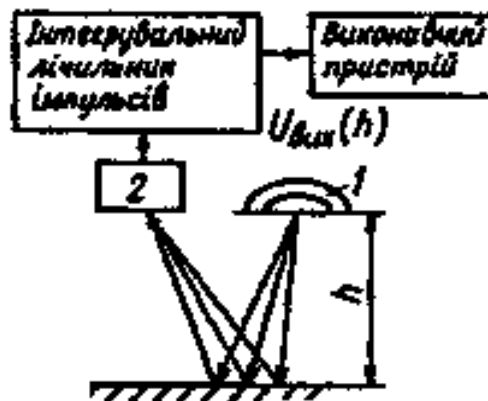


Рис. 8. Радіоізотропний метод малих висот [1]

Тип висоти – істина.

Перевага: висока точність

Недоліки: наявність випромінюючої речовини; необхідність застосування захисних засобів; велика похибка вимірювань; залежність від атмосферних умов та сезону року.

Акустичний метод. Аналогічний радіохвильовому, та відрізняється лише тим, що замість електромагнітних коливань на літаку генеруються й відбиваються від Землі звукові коливання. Акустичний висотомір містить джерело звуку *A* - та приймач *B*, розташовані на літаку (рис. 9).

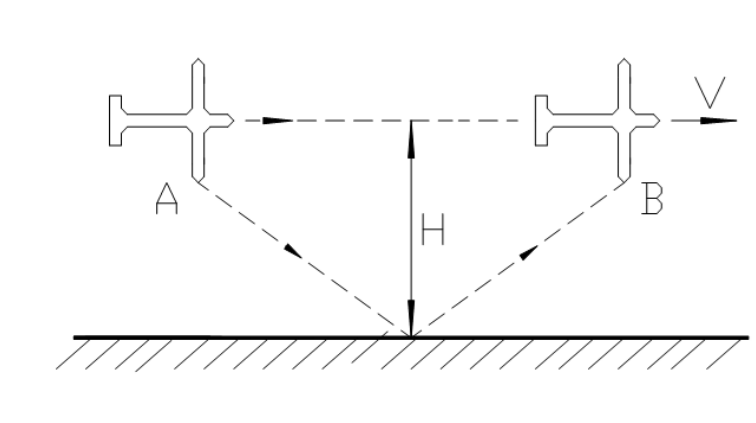


Рис. 9. Акустичний метод

Тип висоти – істина.

Перевага: висока точність.

Недоліки: вплив температури повітря на точність вимірювань; перешкоди від звуку двигуна; неможливість вимірювань великих висот; метод не застосовуваний для надзвукових швидкостей.

Діапазон до 200 м.

Ємнісний метод. Використання зміни ємності системи літак - Земля. Однак через нестабільність роботи і малий діапазон вимірювань метод не дістав поширення.

Тип висоти – істина.

Перевага: висока точність.

Недоліки: нестабільність роботи; малий діапазон вимірювань.

Під час авіаційних гравіметричних вимірювань важливо знати абсолютну та істинну висоти польоту літака. У разі горизонтального польоту істинна висота змінюється зі зміною рельєфу місцевості. Вважають, що для авіаційних

гравіметричних вимірювань найприйнятнішими є барометричні і радіовисотоміри [6].

Барометричні висотоміри вимірюють висоту польоту відносно місця, для якого відомий барометричний тиск повітря. Для того, щоб знайти істинну висоту, у показники барометричного висотоміра вводять деякі поправки. Радіовисотоміри вимірюють безпосередньо істинну висоту польоту.

Наприклад, висоту польоту літака, що здійснював авіаційні гравіметричні вимірювання у США визначали здебільшого за допомогою барометричного і радіовисотоміра [6].

Радіовисотомір використовували над морем. Неточність виставки радіовисотоміра у положення вертикалі в 1 мілірадіан призводить до похибки вимірювання висоти над рівнем моря близько 0,1% (наприклад, для висоти 4,5 км ця похибка становить 4,5 м). Крім того, приладова похибка радіовисотоміра становить близько ± 3 м. Отже, загальна похибка визначення висоти над поверхнею моря з літака на висоті 5 км, швидкість якого – 400 км/час, дорівнювала 7,5 м [6].

Над поверхнею суходолу точність радіовисотоміра незадовільна, тому доцільно було використовувати барометричний висотомір. Як правило, висота над рівнем моря обраної ізобаричної поверхні, на якій перебував літак, була відома з похибкою до 7,5 м. Випробувальні польоти у США здійснювали переважно вночі, коли турбулентність повітря внаслідок нагрівання Землі мінімальна. Висоту від рівня моря до заданої ізобаричної поверхні визначали за допомогою контурних карт. Автопілот утримував літак на заданій ізобаричній поверхні з точністю до $\pm 1,5$ м. Отже, висоту від рівня моря до літака над суходолом було визначено з похибкою 9 м [6,7].

У СНД при вимірюваннях Δg похибка визначення висоти була 9...10 м.

Отже, для визначення висоти на літаках здебільшого застосовують барометричний і радіотехнічний методи. Решта методів або мають суттєві недоліки, або ще розробляються.

Наведений аналіз методів вимірювання висоти дає змогу зробити висновок, що під час авіаційних гравіметричних вимірювань доцільно використовувати комплексно барометричний висотомір над суходолом, а над морем – радіовисотомір [6,7].

Підсумовуючи викладене, зауважимо, що, оскільки авіаційні гравіметричні вимірювання здійснюються під час прямолінійного горизонтального польоту при мінімальній турбулентності повітря, тобто у разі виключно сприятливих умов, то точність визначення висоти h комплексними засобами вимірювання навігаційних параметрів може бути набагато вища, ніж унаслідок аналізу відповідних засобів вимірювання. Це підтверджено на практиці під час експериментальних досліджень АГС з гіроскопічним гравіметром [6].

Література:

1. Браславский Д.А. Приборы и датчики летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 1970.– 391 с.
2. Браславский Д.А., Логунов С.С., Пельпор Д.С. Авиационные приборы. – М.: Машиностроение, 1964.-739 с.
3. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Автономные системы. – М.: Наука, 1966. – 579 с.
4. Горенштейн И.А., Шульман И.А., Сафарян А.С. Инерциальная навигация. – М.: Сов. радио, 1962. – 247 с.
5. Белкин А.М., Миронов Н.Ф., Рублев Ю.И. Сарайский Ю.Н. Воздушная навигация: Справочник – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.
6. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія/ Безвесільна О.М.– Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.
7. Безвесильная Е.Н. Оценивание высоты при авиационных гравиметрических исследованиях // Деп. Укр. НИИНТИ. – 1990. - №2808-Ук.89 – 71 с.