

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОПУСКАННЯ АТМОСФЕРИ В ІНФРАЧЕРВОМУ ДІАПАЗОНІ

Б.М. Іващук, С.В. Чорний, О.А. Жевтюк
(Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

Запропоновано новий метод визначення коефіцієнту пропускання атмосфери у ІЧ діапазоні, що дозволяє зменшити кількість запусків метеорологічних зондів, під час випробувань.

коефіцієнт пропускання, інфрачервоний діапазон

Постановка проблеми. Одним з факторів, що впливають на визначення висоти спостереження для інфрачервоних (ІЧ) систем, є поточний коефіцієнт пропускання атмосфери τ_α [1], [2]. В міжнародній практиці прийнято визначати його середнє значення за моделями “Lowtran” або “Modtran”. В даній статті наводиться новий метод, що дозволяє визначати τ_α безпосередньо в тому районі де проводяться польоти, та зменшити витрати на забезпечення вимірювань.

Аналіз літератури. В [1], приведено аналіз та дослідження характеристик ІЧ тест – об’єктів (мір). В літературі [2], описана методика визначення мінімальної висоти польоту. У [3, 4], описано проходження ІЧ випромінювання через атмосферу. В літературі [5], представлено температуру атмосфери по висоті та в [6] надано аналіз вимірювального обладнання ІЧ випромінювання.

Мета статті. Мета полягає у визначенні поточного коефіцієнта прозорості атмосфери τ_α , в момент прольоту літака з ІЧ системою над вимірювальним полігоном.

Розділ основного матеріалу. Відомо, що на висотах, більше 50 км, впливом атмосфери на ІЧ випромінювання можна знехтувати. Приземний шар атмосфери висотою до 50 км прийнято поділяти на тропосферу і стратосферу.

Нижній шар, у якому середня температура зменшується з збільшенням висоти, називається тропосферою. Висота цього шару становить 16 – 18 км в тропічних районах і 7 – 10 км в полярних районах. Вище тропосфери, розташована стратосфера. На висоті приблизно 11 км, температура повітря становить 217 К [3, 4]. На рис. 1 представлено графік залежності температури від висоти [5].

До основних процесів, які супроводжують розповсюдження ІЧ випромінювання в атмосфері, відноситься його селективне поглинання парами води, вуглекислим газом, озоном, метаном, а також розсіювання маленькими частинками, що знаходяться у стані аерозолі. В діапазоні довжин хвиль вище 1 мкм і в діапазоні висот 12 км найбільше значення має селективне поглинання випромінювання молекулами водяних парів і вуглекислого газу.

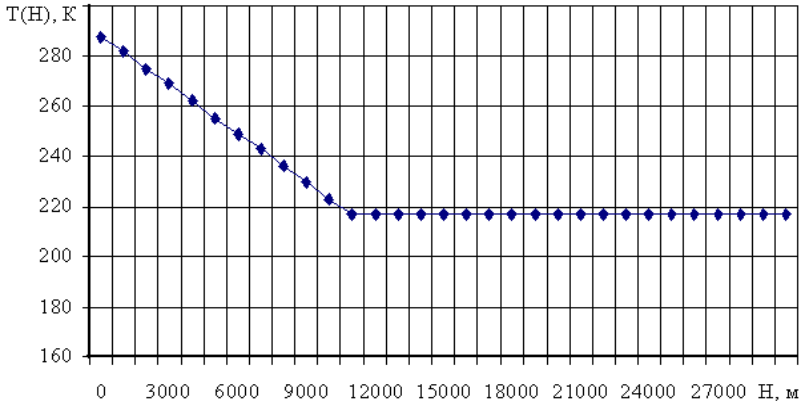


Рис. 1. Залежність $H(T)$

Концентрація водяних парів в атмосфері являється перемінною; вона залежить від географічного положення, висоти, пори року, місцевих метеорологічних умов і знаходиться в межах 0,001 ... 4 % (по об'єму). Зі збільшенням висоти зміст водяного пару в атмосфері різко зменшується; вважають, що на

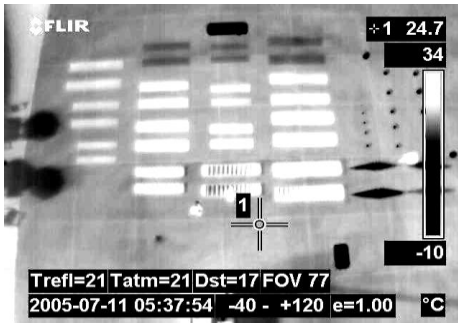


Рис. 2. ІЧ знімок

висотах, більших 12 км, кількості водяних парів в атмосфері можливо нехтувати. У процесі проведення міжнародних досліджень ІЧ вимірювальних мір (липень 2005 року авіабаза Ескашахір, Туреччина), які проведено у рамках Договору відкритого неба, вимірювання проводились радіометром у діапазоні 8 – 14 мкм. типу “TERMACAM” [6]. На рис. 2 показано ІЧ знімок мір.

З правого боку кольорова шкала, де кожному кольору відповідає певна температура. Над шкалою температура, яка відповідає перехрестю на знімку. Радіаційна температура смуг темного кольору (алюмінієві

дзеркала) становила біля $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді, як температура фону становила $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Низька температура дзеркала пояснюється тим, що воно відбивало ІЧ випромінювання, що надходило з висоти 11000 м. По рис. 1 видно, що на висоті 11000 м температура повітря складає 217 К, або $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$. А те, що пластина віддзеркалила лише частину випромінювання можна пояснити поглинанням ІЧ випромінюванням у атмосфері.

На даний час визначення τ_{α} відбувається за методами “*Lowtran*”, “*Modtran*” з використанням даних зондів. Таким чином визначається середнє значення τ_{α} . Запуск метеорологічних зондів відбувається з метеорологічних станцій, які розташовані в районі випробувань. Тому коефіцієнт пропускання не той, який дійсно існує над ІЧ мірою. Запуск одного метеорологічного зонду приблизно коштує 1 тисячу доларів США. Зонди запускаються з кількох метеостанцій кожний час.

Оскільки польоти спостереження ведуться на висотах від 200 до 3000 м, то саме на цих висотах необхідно визначати τ_{α} . Враховуючи, що температура на висоті 11000 м і далі завжди стабільна і майже не змінюється, визначення коефіцієнту пропускання можливо описати модифікованим законом Бугера [3], який описує ослаблення випромінювання в атмосфері

$$\tau = \exp\left(-Q \cdot \frac{T_{H\max}}{T_H \cdot H_{\max}} \cdot H\right) + Qk, \quad (1)$$

де Q – контраст між об’єктом і фоном; Qk – коефіцієнт, обумовлений наявністю власного випромінювання дзеркала; $T_{H\max}$ – температура на висоті 11000 м, (константа, $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$); T_H – виміряна температура пластини під час польоту на певній висоті; H_{\max} – висота 11000 м; H – висота польоту.

Визначення невідомих Q та Qk , можна провести за допомогою апроксимації та визначення за методом “*Modtran*”, по методу найменших квадратів шляхом мінімізації функції

$$E(Q, Qk) = \sum_{i=0}^n \left[\tau_{n,i} - \exp\left(-\left(Q \cdot \frac{T_{H\max}}{T_H \cdot H_{\max}} \cdot H\right) + Qk\right) \right]^2. \quad (2)$$

Помилка апроксимації становить 0,192, середнє квадратичне відхилення – 0,024 (рис. 3).

Значення $Q = 1,326$, а $Qk = -0,045$. Таким чином по формулі (1) можна визначати коефіцієнт прозорості τ_{α} . Для цього не треба проводити запуск дорогих метеорологічних зондів, а лише разом з мірами розмішувати алюмінієву дзеркальну пластину, яка віддзеркалює температуру повітря на висоті 11000 м. При цьому вимірювання τ_{α} будуть проходити лише над мірами, що дозволяє точно визначати висоту польоту спостереження.

Висновки. Запропоновано новий метод визначення коефіцієнту

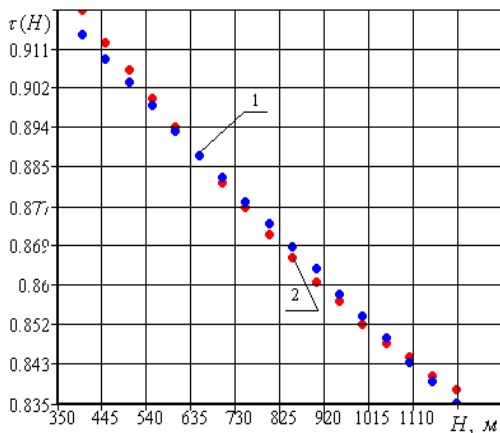


Рис. 3. $\tau(H)$: 1 – дані апроксимації,
2 – експериментальні дані

пропускання атмосфери τ_α у ІЧ діапазоні. “Modtran” не гірше 1% узгодження запропонованого методу. Даний підхід дозволяє зменшити кількість запусків метеорологічних зондів, під час випробувань. Розрахунок коефіцієнту пропускання атмосфери проводиться для точки розташування дзеркала та включає вплив локальної хмарності. Для визначення коефіцієнту атмосферного пропускання використовується таке ж обладнання, як

при вимірюванні радіаційної температури ІЧ мір.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іващук Б.М., С.В.Чорний. Дослідження пасивних інфрачервоних мір. – К.: Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2004. – Вип. 25. – С. 56-61.
2. Іващук Б.М., Чорний С.В., Михалко В.В. Методика випробувань інфрачервоних систем повітряної розвідки // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 4 (44). – С. 47-51.
3. Попов М.А. Основы оптикоэлектроники авиационного оборудования. – К.: КВВАИУ, 1982. – 244 с.
4. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. радио, 1978. – 396 с.
5. Цейтлин Г.М., Сольц М.И., Попов В.М. Аэродинамика и динамика полета самолета с ТРД. – М.: Воениздат, 1973. – 478 с.
6. Іващук Б.М. Аналіз піроелектричних приймачів та проблем їх використання на вимірювальних полігонах при випробуванні інфрачервоних систем повітряної розвідки // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 1 (1). – С. 2-7.

Надійшла 6.01.2006

Рецензент: доктор технічних наук, професор І.І. Зима,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба.