

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИМ РАДІОЛОКАТОРОМ

Національний авіаційний університет
просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03680
E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

Проведено обґрунтування зв'язку швидкості вітру з поведінкою крапель та її впливу на зміну поляризаційних характеристик електромагнітної хвилі. Одержано вираз для розрахунку швидкості вітру з критерію Вебера для режиму критичної деформації краплі, що призводить до роздвоєння краплі. Наведено залежність критичної швидкості вітру від діаметру крапель. Для оцінки динамічних явищ використано попередньо введену концепцію поляризаційного спектру, що визначається, як розподіл відбитої енергії електромагнітної хвилі за поляризаційними компонентами. Показано, що в момент, коли швидкість потоку повітря, яка діє на краплю, буде дорівнювати критичній швидкості, крапля розділиться на дві, менші за розміром, і в спектрах ортогональних приймальних антен з'являться рівні складові відбитого радіолокаційного сигналу, відношення яких дорівнюватиме одиниці. Зазначено, що, володіючи інформацією про відповідність енергетичного рівня складових поляризаційного спектру до розміру краплі, можна одержати інформацію про швидкість вітру, яка на цю краплю діє. Розроблено в загальному вигляді алгоритм оцінювання швидкості вітру поляриметричним радіолокатором.

Ключові слова: гідрометеор; метеорологічний радіолокатор; поляриметрія; швидкість вітру.

Постановка проблеми

Виявлення та прогнозування небезпечних атмосферних явищ є одним з пріоритетних напрямів досліджень для авіації.

Радіолокаційні методи та системи є потужними засобами для вирішення питань, пов'язаних з погодними та атмосферними спостереженнями, виявленням небезпечних метеорологічних явищ тощо [10].

Сучасні метеорологічні системи працюють у різних хвильових діапазонах; є і такі, що чутливі до різних характеристик електромагнітних хвиль (доплерівські та поляриметричні системи) [11; 12].

Істотним обмеженням сучасних поляриметричних систем є той факт, що вони оперують переважно з осередненими даними, а це призводить до часткової втрати інформації про деякі властивості та характеристики досліджуваних об'єктів, наприклад, вібрацію крапель або хаотичні рухи повітря.

Мета роботи:

– обґрунтування зв'язку швидкості вітру з поведінкою крапель та її впливу на зміну поляризаційних характеристик електромагнітної хвилі;

– розроблення загального алгоритму для оцінювання швидкості вітру за допомогою поляризаційних характеристик електромагнітних хвиль.

Аналіз досліджень і публікацій

У праці [7] розглянуто можливість використання поляриметрії для одержання інформації про вітрові атмосферні явища.

У працях [8; 9] подано новий підхід для оцінювання вітрових атмосферних явищ за допомогою поляриметричної радіолокаційної системи з двома, або більше приймальними антенами, які налаштовані приймати відбитий сигнал з поляризацією, що збігається з поляризацією зондувальної хвилі, а також сигналів з поляризацією, що відрізняються від поляризації зондувальної хвилі. У зазначених роботах уведено концепцію поляризаційного спектру, що визначається, як розподіл відбитої енергії електромагнітної хвилі за поляризаційними компонентами.

Рідкі гідрометеори як об'єкти нестабільної форми

У праці [1] показано, що крапля в потоці повітря постійно вібує і може розглядатися як об'єкт з нестійкою або нестабільною формою.

Вібрації краплі виявляються у флуктуаціях осей краплі-сфероїда і відображають важливу інформацію про поведінку, структуру та характеристики вібрувального об'єкта.

Характер флуктуацій обумовлений як характеристиками самого об'єкта, так і його взаємодією з оточуючим середовищем.

Деякими з факторів середовища можуть бути динамічні атмосферні явища – вітер, турбулентність тощо.

У працях [1; 5] показано й обґрунтовано що форма та параметри форми рідких гідрометеорів (краплі) не є фіксованими характеристиками [2] і їх можна розглядати як випадкові характеристики. Вплив вітру та інших динамічних атмосферних явищ на випадковий процес вібрації краплі може виявлятися як зміна частоти, поляризації або амплітуди відбитої електромагнітної хвилі.

Розрахунок критичної швидкості вітру

У праці [1] одержано вираз, що дозволяє визначити розподіл енергії відбитого від гідрометеорів радіолокаційного сигналу між ортогональними антенами доплерівсько-поляриметричного радіолокатора для випадку нетиснутої рідини

$$\frac{dV}{dt} = 0 \text{ та } v = \text{const};$$

$$-\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0,$$

або

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y + \varepsilon_z,$$

де $\frac{dV}{dt}$ – швидкість трансформації рідкої краплі

під дією зовнішнього вітрового явища;

v – об'єм краплі;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – швидкості відносного стиснення,

або витягування краплі вздовж координатних осей x, y, z відповідно.

Скористаємося критерієм Вебера [4] для визначення результуючої деформації краплі:

$$W_2 = \frac{\rho V^2 / 2}{4\sigma / R} = 10, \quad (1)$$

де W_2 – число Вебера, що відповідає моменту роздвоєння краплі;

ρ – щільність повітря;

$\rho V^2 / 2$ – тиск швидкісного напору;

V – швидкість набіжного потоку;

$4\sigma / R$ – молекулярні сили додаткового поверхневого натягування;

σ – поверхневе натягування плоскої поверхні води;

R – радіус краплі-сфери.

Вираз (1) відображає результат взаємодії тиску швидкісного напору з молекулярними силами додаткового поверхневого натягування та має назву число Вебера [3].

Крапля зберігає форму, подібну до еліпса, за значення числа Вебера від 0 до 10.

Якщо значення числа Вебера дорівнює 10, спостерігається розпад (роздвоєння) краплі, а якщо значення більше за 10, крапля ділиться на більшу кількість малих частинок.

З формули (1) одержимо вираз для розрахунку швидкості вітру, за якої відбувається роздвоєння краплі. Таку швидкість будемо називати критичною швидкістю вітру:

$$V_{\text{кр}} = \frac{\sqrt{80\sigma}}{\rho D}, \quad (2)$$

де D – діаметр краплі.

Залежність критичної швидкості вітру від діаметра крапель розраховано за виразом (2) з використанням таких значень параметрів:

– щільність повітря $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$;

– сила поверхневого натягування $\sigma = 0,0725 \text{ Н/м}$;

– діаметри краплі $D = 1\text{--}6 \text{ мм}$.

Із рис. 1 видно, що чим меншою є крапля, тим сильніший вітер має діяти на неї для її роздвоєння.

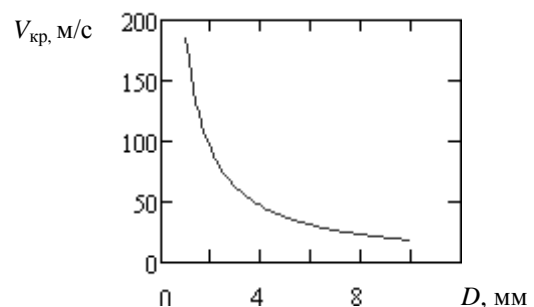


Рис. 1. Залежність критичної швидкості вітру від діаметра крапель

Розрахунки показують, що можна встановити чітку залежність між значенням критичної швидкості вітру та краплею відповідного діаметра.

Поляризаційні характеристики відбитого радіолокаційного сигналу і швидкість вітру

Критичну швидкість вітру за допомогою поляризаційних характеристик радіолокаційного сигналу можна визначити за моментом роздвоєння крапель.

У праці [9] подано підхід, який дозволяє одержати просторовий розподіл складових поляризаційного спектра, відбитого від метеорологічного об'єкта радіолокаційного сигналу.

У праці [3] проведено математичне моделювання поляризаційних спектрів відбитого радіолокаційного сигналу на вході приймальної антени для невеликої кількості розсіювачів і для різних значень амплітуди вібрації крапель.

Характерні приклади з праці [3] показано на рис. 2 (E – енергетичний рівень складових поляризаційного спектра, відбитого від гідрометеорів сигналу на вході приймальної антени (в умовних одиницях), φ – кути поляризації для крапель, що дорівнюють 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 мм).

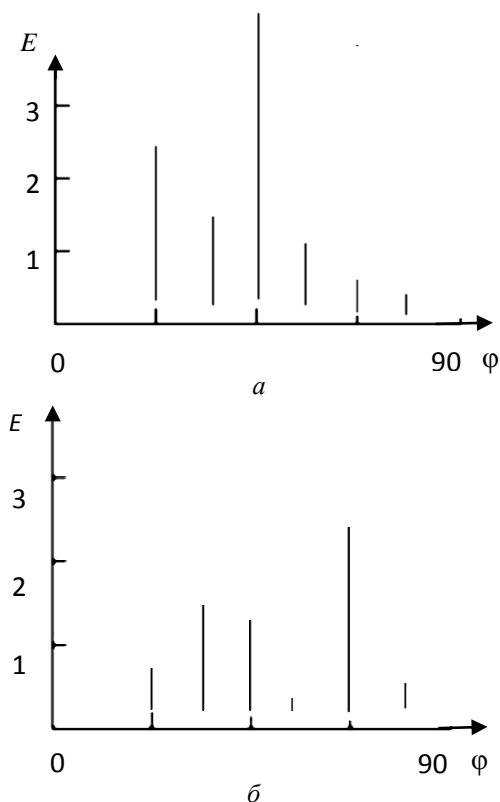


Рис. 2. Змодельовані поляризаційні спектри відбитого від метеорологічного об'єкта радіолокаційного сигналу для невеликої кількості розсіювачів і для значення амплітуд вібрацій крапель 0,2 (а) та 0,3 (б)

У випадку, коли на краплю діє потік повітря, вона деформується. Як наслідок змінюється поляризація відбитої електромагнітної хвилі і відповідно до рівняння (1) відбувається перерозподіл потужності відбитого радіолокаційного сигналу між складовими поляризаційних спектрів антени, налаштованої приймати сигнал з основною поляризацією та складових ортогональної антени. Тобто змінюється енергетичний рівень складових поляризаційних спектрів основної та ортогональної антен поляриметричного радіолокатора.

У момент, коли швидкість потоку повітря, що діє на краплю, буде дорівнювати критичній швидкості, крапля розділиться на дві, менші за розміром, і в обох спектрах з'являться рівні складові відбитого радіолокаційного сигналу, відношення яких дорівнюватиме одиниці. Маючи інформацію про відповідність енергетичного рівня розміру краплі,

можна одержати інформацію про швидкість вітру, яка на цю краплю діє згідно із залежністю (1).

Алгоритм розрахунку швидкості вітру

Експериментально визначити енергетичний рівень складових поляризаційного спектра, що відповідає краплям найменшого діаметра, можна, якщо провести мікрохвильове дистанційне зондування шаруватої хмарності або туману, що складаються з крапель найменшого діаметра, які перебувають в атмосфері в завислому стані. Надалі потрібно встановити відповідність між енергетичним рівнем спектральної складової та ефективною площею розсіювання частинки, яка ініціювала її появу, що можна зробити за допомогою рівняння радіолокації [6]. У загальному випадку процес оцінювання критичної швидкості вітру поляриметричним радіолокатором можна подати за допомогою алгоритму, показаного на рис. 3.

Висновки

Проаналізовано сили, що діють на краплю, яка міститься в потоці повітря. Одержано вираз для розрахунку швидкості вітру з критерію Вебера для режиму критичної деформації краплі, що призводить до роздвоєння краплі. Показано зв'язок між моментом критичної деформації та поляризаційними характеристиками відбитого радіолокаційного сигналу. Розроблено та наведено в загальному вигляді алгоритм оцінювання швидкості вітру поляриметричним радіолокатором. Цей підхід можна використовувати в сучасних доплерівсько-поляриметричних радіолокаторах для одержання додаткової інформації про характеристики вітру та вітрових явищ.

Література

1. Авер'янова Ю.А. Оцінка інтенсивності турбулентності в докритичному режимі деформації рідких гідрометеорів / Ю.А. Авер'янова, А.О. Авер'янов // Вісник Національного авіаційного університету. – К. – 2012. – № 1. – С. 56–60.
2. Авер'янова Ю.А. Оцінювання ступеня деполіризації відбитих від гідрометеорів радіохвиль амплітудним методом / Ю.А. Авер'янова, А.О. Авер'янов, Ф.Й. Яновський // Вісник Національного авіаційного університету. – К. – 2010. – № 1. – С. 100–104.
3. Авер'янова Ю.А. Просторова оцінка розподілу енергії за складовими поляризаційного спектра відбитого від метеоутворення радіолокаційного сигналу / Ю.А. Авер'янова // Вісник «Електроніка та системи управління». – 2012. – № 1(31). – С. 109–112.

4. Вольнский М.С. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли / М.С. Вольнский // Москва: Знание, 1986. – 144 с.

5. Горелик А.Г. Влияние вибрации капель дождя на поляризационные характеристики радиолокационного сигнала / А.Г. Горелик, В.В. Стерлядкин // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1989. – Т. 25, № 9. – С. 960 – 968.

6. Теоретические основы радиолокации. – 2-е изд. / под ред. В.Е. Дулевича. – Москва: Сов. радио, 1978. – 607 с.

7. Averyanova, Yu.A. 2004. *Use of Doppler-Polarimetric parameters for wind phenomena localization*. Proceedings of the European Microwave Week. Amsterdam. The Netherlands: 29–32.

8. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.A.; Yanovsky, F.J. 2009. *Polarization Selective Antennas for Reflected Wave Depolarization Determination*. Proceedings of International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT 2009). Lviv. Ukraine: 256–258.

9. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.A.; Yanovsky, F.J. 2008. *Polarization signal components estimate in weather radar*. Proceedings of 12th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. Odessa. Ukraine: 360–362.

10. Doviak, R.J.; Zmic, D.S, 1993. *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, inc. 522 p.

11. Yanovsky, F. 2011. *Inferring microstructure and turbulence properties in rain through observations and simulations of signal spectra measured with Doppler-polarimetric radars*. Book chapter in: *Polarimetric Detection, Characterization, and Remote Sensing*. Springer. 545 p.

12. Yanovsky, F.J.; Russchenberg, H.W.J.; Unal, C.M.H. 2005. *Retrieval of Information About Turbulence in Rain by Using Doppler-Polarimetric Radar*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Feb. Vol. 53, N 2: 444–450.

References

1. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.O. 2012. *The turbulence intensity estimate in the subcritical regime of the liquid hydrometeors deformation*. Proceedings of National Aviation University. Kyiv. N 1: 56–60 (in Ukrainian).

2. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.O.; Yanovsky, F.J. 2010. *The estimate of the depolarization degree of the reflected from hydrometeors radiowaves with amplitude method*. Proceedings of National Aviation University. Kyiv. N 1: 100–104 (in Ukrainian).

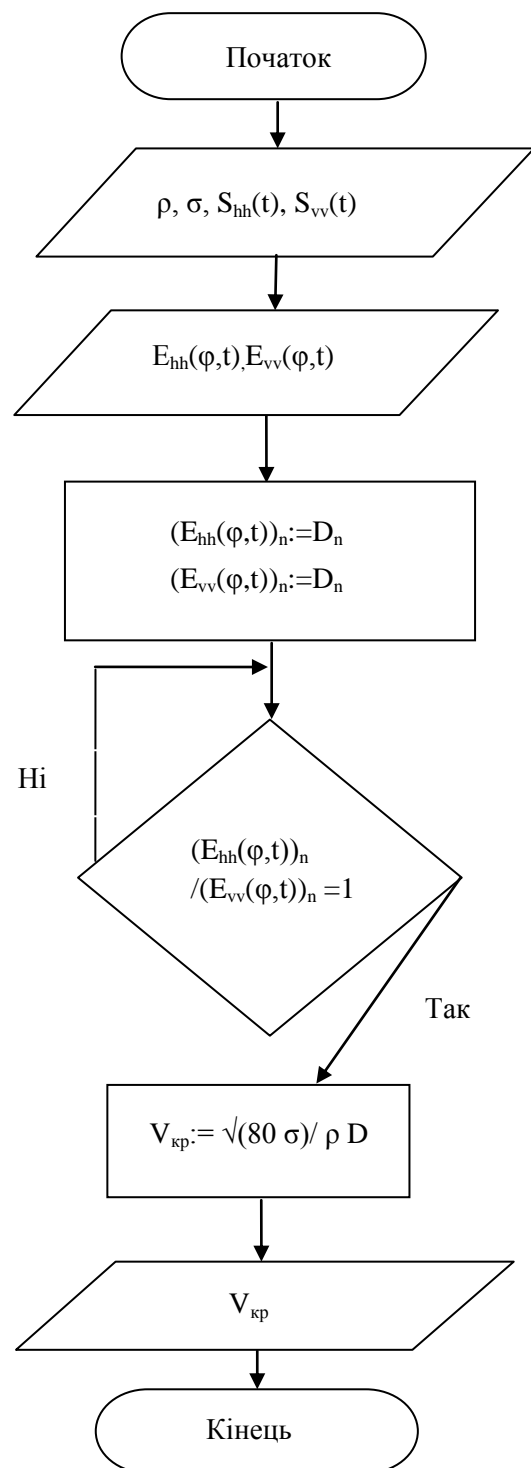


Рис. 3. Загальний алгоритм розрахунку критичної швидкості вітру поляриметричним радіолокатором: $S_{hh}(t)$, $S_{vv}(t)$ – відбиті від метеорологічної цілі сигнали на входах ортогональних антен доплерівсько-поляриметричного радіолокатора; $E_{hh}(\varphi, t)$, $E_{vv}(\varphi, t)$ – поляризаційні спектри на входах ортогональних антен доплерівсько-поляриметричного радіолокатора; $(E_{hh}(\varphi, t))_n$, $(E_{vv}(\varphi, t))_n$ – складові поляризаційних спектрів, що відповідають краплям конкретного діаметра D_n

3. Averyanova, Yu.A. 2012. *The spatial estimate of energy distribution over the components of polarization spectrum of reflected from meteorological object radar signal*. Proceedings “Electronics and control systems”. N 1 (31): 109–112 (in Ukrainian).
4. Volynsky, M.S. 1986. *The unordinary life of ordinary drop*. Moscow, Znanie. 144 p. (in Russian).
5. Gorelik, A.G.; Sterlyadkin, V.V. 1989. *Influence of raindrops vibration on polarization characteristics of radar echo*. Izvestija of Academy of Science of USSR. Physics of atmosphere and ocean. Vol. 25, N 9: 960–968 (in Russian).
6. *The theoretical fundamentals of radar*. Issue 2. Under supervision of Dulevich V.E. Moscow, Sov. Radio, 1978. 607 p. (in Russian).
7. Averyanova, Yu.A. 2004. *Use of Doppler-Polarimetric parameters for wind phenomena localization*. Proceedings of the European Microwave Week. Amsterdam. The Netherlands: 29–32.
8. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.A.; Yanovsky, F.J. 2009. *Polarization Selective Antennas for Reflected Wave Depolarization Determination*. Proceedings of International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT 2009). Lviv. Ukraine: 256–258.
9. Averyanova, Yu.A.; Averyanov, A.A.; Yanovsky, F.J. 2008. *Polarization signal components estimate in weather radar*. Proceedings of 12th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. Odesa. Ukraine: 360–362.
10. Doviak, R.J.; Zrnicek, D.S. 1993. *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, inc. 522 p.
11. Yanovsky, F. 2011. *Inferring microstructure and turbulence properties in rain through observations and simulations of signal spectra measured with Doppler-polarimetric radars*. Book chapter in: Polarimetric Detection, Characterization, and Remote Sensing. Springer. 545 p.
12. Yanovsky, F.J.; Russchenberg, H.W.J.; Unal, C.M.H. 2005. *Retrieval of Information About Turbulence in Rain by Using Doppler-Polarimetric Radar*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Feb. Vol. 53, N 2: 444–450.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2013.

Авер'янова Юлія Анатоліївна. Кандидат технічних наук. Доцент.

Кафедра аеронавігаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Освіта: Київський міжнародний університет інженерів цивільної авіації, Київ, Україна (1999).

Напрямок наукової діяльності: повітряна навігація, управління повітряним рухом, метеорологічна радіолокація, авіаційна метеорологія, радіолокація, доплерівсько-поляриметрична радіолокація, дистанційне зондування атмосфери.

Кількість публікацій: 60.

E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

Yuliya-ans@yandex.ru

Yu. Averyanova. Algorithm for wind speed estimate with polarimetric radar

National Aviation University, Kosmonavta Komarova avenue, 1, Kyiv, Ukraine, 03680

E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

The connection of wind speed and drops behavior is substantiated as well as the drop behavior influence onto the polarization characteristics of electromagnetic waves. The expression to calculate the wind speed taking into account the Weber number for the critical regime of drop deformation is obtained. The critical regime of drop deformation is the regime when drop is divided into two parts. The dependency of critical wind speed on the drop diameter is calculated and shown. The concept of polarization spectrum that is introduced in the previous papers is used to estimate the dynamic processes in the atmosphere. At the moment when the drop is under the influence of the wind that is equal to the critical wind speed the drop will be divided into two parts. This process will be reflected as the appearance of the two equal components of polarization spectra of reflected electromagnetic waves at the orthogonal antennas of Doppler Polarimetric Radar. Owing the information about the correspondence of the polarization component energy level to the drop diameter it is possible to estimate the wind speed with the obtained dependency. The process of the wind speed estimate with polarimetric radar is presented with the developed common algorithm.

Keywords: hydrometeor; meteorological radar; polarimetry; wind speed.

Yuliya Averyanova. Candidate of Engineering. Associate Professor.

Department of Air Navigation Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: Kiyv International Aviation University, Kyiv, Ukraine (1999).

Research area: Air Navigation, Air Traffic Control, weather radar, aviation meteorology, radar, Doppler-Polarimetric Radar, remote sensing.

Publications: 60.

E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

Yuliya-ans@yandex.ru

Ю.А. Аверьянова. Алгоритм оценивания скорости ветра поляриметрическим радиолокатором

Национальный авиационный университет, просп. Космонавта Комарова, 1, Киев, Украина, 03680

E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

Обоснована связь скорости ветра с поведением капель и его влияние на изменение поляризации отраженной электромагнитной волны. Получено выражение для расчета скорости ветра с использованием критерия Вебера для режима критической деформации капли, которая приводит к её раздвоению. Приведена зависимость критической скорости ветра от диаметра капель. Для оценки динамических атмосферных явлений использована предварительно введенная концепция поляризационного спектра, который можно определить как распределение отраженной энергии электромагнитной волны по поляризационным компонентам. Показано, что в момент, когда скорость потока воздуха будет равняться критической скорости для капли определенного размера, капли этого размера разделяться на две, меньшие за размером, а в спектрах приёмных ортогональных антенн доплеровско-поляриметрического радиолокатора появятся две составляющие меньшего размера вместо одной, отношение которых будет равно единице. Отмечено, что, имея информацию о соответствии энергетического уровня составляющих поляризационного спектра отраженного радиолокационного сигнала размерам капель, можно получить информацию о скорости ветра. Оценивание скорости ветра поляриметрическим радиолокатором представлено в виде алгоритма в общем виде.

Ключевые слова: гидрометеор; метеорологический радиолокатор; поляриметрия; скорость ветра.

Аверьянова Юлия Анатольевна. Кандидат технических наук. Доцент.

Кафедра аэронавигационных систем, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Киевский международный университет инженеров гражданской авиации (1999).

Направление научной деятельности: воздушная навигация, управление воздушным движением, метеородиолокация, авиационная метеорология, радиолокация, доплеровско-поляриметрическая радиолокация, дистанционное зондирование атмосферы.

Количество публикаций: 60.

E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

Yuliya-ans@yandex.ru