МЕТЕОРОЛОГИЯ

Д. А. Денисенков, М. А. Жданова, В. Ю. Жуков, Г. Г. Щукин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СДВИГА ВЕТРА ПО ШИРИНЕ СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

D. A. Denisenkov, M. A. Zhdanova, V. Y. Zhukov, G. G. Shchukin

THE EXPERIMENTAL CHECK OF METHOD DEFINITION OF WIND SHEAR ON SPECTRAL WIDTH OF RADAR SIGNAL

Предлагаемый новый метод определения сдвига ветра по ширине спектра сигнала, принимаемого метеорологическим радиолокатором, исследуется на предмет его применения в оперативной практике. Полученные с его помощью данные сравниваются с результатами аэрологического зондирования атмосферы. Приводятся методики проведения эксперимента и обработки получаемой информации. Констатируется положительный результат эксперимента.

Ключевые слова: метеорологическая радиолокация, сдвиг ветра, ширина спектра сигнала, безопасность полетов.

The offered new method of definition of wind shear on spectral width of signal received by the meteorological radar is investigated regarding its application in operative practice. The data obtained with its help are compared to results of aerological I sounding of the atmosphere. The procedures of experiment and processing of the obtained information are given. The positive result of experiment is established.

Keywords: meteorological radar-location, wind shear, spectral width of signal, safely of flights.

Введение

Обнаружение сдвига ветра в пограничном слое является важнейшей задачей обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов на этапах взлета и посадки.

По данным ICAO, из всех катастроф в период с 1964 по 1993 г. примерно 40 % было связано с метеорологическими факторами, такими как сдвиг ветра и турбулентность. Поэтому в последние годы за рубежом и у нас в стране проводятся интенсивные исследования вопросов обеспечения безопасности полетов воздушных судов в условиях сдвига ветра и других аномальных явлений атмосферы. Период с 1987 г. был отмечен успехами в разработке как наземного, так и бортового оборудования, предназначенного для обнаружения сдвига ветра и предупреждения о нем. В результате этого в последнее десятилетие число авиационных происшествий/инцидентов, в которых сдвиг ветра был отмечен в качестве способствующего фактора, заметно уменьшилось.

Однако несмотря на внедрение высокотехнологичных автоматических систем до сих пор имеются трудности по своевременному и точному обнаружению этого явления и измерению его параметров [2].

Среди устройств, позволяющих решать поставленную проблему, наиболее эффективными на настоящий момент являются радиолокаторы [1]. Поэтому совершенствование существующих и разработка новых радиолокационных методов измерения профиля ветра являются актуальными и важными задачами. Ранее уже описывался новый метод обнаружения сдвига ветра на основе оценок ширины спектра сигнала, полученного с доплеровского метеорологического радиолокатора [3, 4]. Он позволяет обнаруживать сдвиг ветра с более высокой достоверностью по сравнению с применяемым сейчас методом азимутального дисплея скорости (VAD) [5]. Кроме более высокой достоверности данный метод интересен тем, что для его применения не требуется вводить радиолокатор в специальные режимы работы — вся необходимая информация формируется в процессе штатного обзора пространства.

В данной работе отражены результаты эксперимента по оценке рассматриваемого метода с точки зрения определения величины сдвига ветра. Данный эксперимент является продолжением ранее проведенных исследований [6], направленных на оценку метода в части обнаружения указанного параметра.

Методика эксперимента

Цель эксперимента — оценить возможность применения предлагаемого метода в задаче определения величины сдвига ветра.

Суть метода может быть описана следующим образом.

- А. При наличии сдвига ветра и при определенном взаимном расположении антенны радиолокатора и векторов скорости ветра в некотором диапазоне дальностей спектр принимаемых отражений становится двухмодальным, а его ширина аномально большой.
- Б. На формируемых радиолокатором картах ширины спектра радиальных скоростей частиц данная ситуация распознается по появлению на горизонтальных или конических разрезах участков больших значений рассматриваемого параметра, имеющих вид симметрично расположенных относительно радиолокатора дуг окружности.
- В. На вертикальных разрезах, сделанных в направлении этих зон, просматриваются начинающиеся на определенной дальности слои аномально широких спектров.
- Г. По значению ширины спектра в этом слое и в областях, расположенных выше и ниже его и дальности образования слоя, может быть рассчитана величина сдвига ветра.

Полученные указанным методом оценки сравнивались с данными аэрологического зондирования атмосферы, принимаемыми в данном случае за эталон. Исследовались результаты наблюдений за зимние месяцы с декабря 2011 г. по декабрь 2012 г. включительно.

Исходные данные для эксперимента были взяты (рис.1):

с радиолокатора ДМРЛ-С, установленного в г. Валдай Новгородской области — в качестве исследуемого ряда данных. Информация получена в виде

- объемных файлов, для вторичной обработки использовалось программное обеспечение «ГИМЕТ-2010»;
- с аэрологической станции «Бологое» (26298) из архива Вайомингского университета [7]. Данная станция расположена на расстоянии 45 км от ДМРЛ-С (г. Валдай).

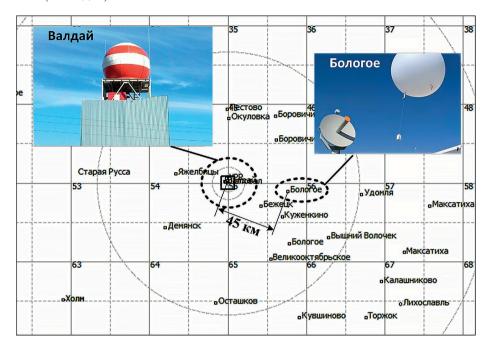


Рис. 1. Расположение аэрологической станции «Бологое» и радиолокатора ДМРЛ-С в г. Валдай

Радиолокационные данные обрабатывались в соответствии со следующим алгоритмом.

- 1. Из всего объема радиолокационных данных выбирались обзоры, наиболее близкие к моментам запуска аэрологических зондов 00:00 и 12:00 UTC.
- 2. Просматривались все карты радиолокационной отражаемости, полученные радиолокатором в упомянутые моменты времени. Отсеивались результаты, к которым исследуемый метод не применим с малым количеством целей, площадь которых не превышала 60% всего просматриваемого радиолокатором пространства и/или с малой средней отражаемостью ($\le 10\,\mathrm{дБZ}$).
- 3. В выбранных обзорах анализировались карты распределения ширины спектра радиальных скоростей гидрометеоров по коническому разрезу при различных углах места (рис. 2). Выявлялись характерные для сдвига ветра области повышенного значения измеряемого параметра [3]. В тех случаях, когда их на картах не обнаруживалось, считалось, что сдвига ветра нет.

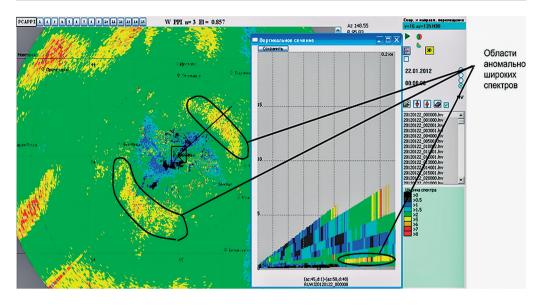


Рис. 2. Пример карты ширины спектра радиальных скоростей гидрометеоров (конический и вертикальный разрезы) с отмеченной зоной аномально широкого спектра

4. В случае, если обнаруживались области аномально широких спектров, величина сдвига ветра оценивалась в соответствии с формулой:

$$W = \frac{\Delta V}{h},\tag{1}$$

где ΔV — суммарная величина, на которую изменяется скорость ветра; h— высота слоя, в котором происходит сдвиг ветра.

Величину ΔV определяли при помощи карты вертикального разреза, проведенного радиально в направлении максимальных значений (рис. 3), в соответствии со следующим выражением для квадрата ширины спектра радиальных скоростей частиц из разрешаемого объема, захватывающего два слоя с различными средними скоростями [6],

$$\sigma^{2} = \frac{1}{P_{1} + P_{2}} \left[P_{1}\sigma_{1}^{2} + P_{2}\sigma_{2}^{2} + \frac{P_{1}P_{2}}{P_{1} + P_{2}} (V_{1} - V_{2})^{2} \right], \tag{2}$$

где P_1 и P_2 — средние мощности отражений от нижнего и верхнего слоев соответственно; σ_1 и σ_2 — ширины спектра радиальных скоростей частиц из этих слоев; V_1 и V_2 — средние радиальные скорости данных частиц. Своего максимального значения она достигает при условии $P_1 = P_2$. Тогда формула для оценки искомой разности скоростей принимает вид [6]

$$\Delta V = \sqrt{4\tilde{\sigma}^2 - 2\tilde{\sigma}_1^2 - 2\tilde{\sigma}_2^2},\tag{3}$$

где $\widetilde{\sigma}$ — оценка величины σ .

Величины $\tilde{\alpha}_1$ и $\tilde{\alpha}_2$ оценивались с помощью карты вертикального разреза по отражениям от соседних элементов разрешения (см. рис. 3), в которых отсутствует градиент скорости и направления ветра. Величина $\tilde{\alpha}$ — оценка ширины спектра радиальных скоростей частиц разрешаемого объема, в котором выполняется условие $P_1 = P_2$. Точно определить дальность, на которой выполняется данное равенство, невозможно, т.к. она зависит от соотношения отражаемостей слоев, обладающего большой пространственной изменчивостью. Единственная возможность найти искомую оценку — это воспользоваться тем, что она максимальна из всех оценок, полученных в рассматриваемой области аномальных значений ширины спектра. Именно такое максимальное значение и принималось равным $\tilde{\alpha}$.

Величина h оценивалась как высота элемента разрешения радиолокатора на расстоянии, предшествующем началу слоя аномально больших значений на вертикальном разрезе карты ширины спектра радиальных скоростей.

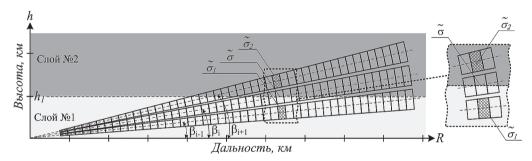


Рис. 3. Оценка величин σ₁ и σ₂ по отражениям от соответствующих элементов разрешения

Одновременно величина сдвига ветра W рассчитывалась по данным аэрологического зондирования в соответствии с формулой

$$W_{i} = \frac{\sqrt{V_{i}^{2} + V_{i+1}^{2} - 2V_{i}V_{i+1}\cos(\theta_{i+1} - \theta_{i})}}{h_{i+1} - h_{i}},$$
(4)

где h_i и h_i+1 — высоты, на которых сделаны измерения; V_i , V_{i+1} , θ_i , θ_{i+1} — оценки скорости и направления ветра на этих высотах. Просматривались высоты от 200 до 1500 м. За оценку сдвига ветра принималось максимальное из всех полученных в данном слое значение. Кроме того учитывалось, что радиолокационный метод имеет порог чувствительности, равный примерно 0,7 м/с на 30 м. Поэтому для корректности сравнения такой же порог вводился и для аэрологических данных — если полученная оценка сдвига ветра не превышала указанной величины, она принималась равной 0.

Результаты эксперимента

В результате просмотра 242 обзоров радиолокатора было отобрано 28, соответствующих требованиям уверенной работы нового метода. Для них была рассчитана величина сдвига ветра. Одновременно эта же величина оценивалась по данным аэрологического зондирования. В результате были образованы два ряда отсчетов, полученных в одно время и в одном слое атмосферы.

Коэффициент корреляции между этими значениями равен 0,61, разница их средних значений — 0,36 м/с на 30 м, средний квадрат разницы между ними — 0,6 м²/с² на 30 м.

Выводы

Статистическая обработка данных показывает хорошее совпадение оценок, получаемых двумя независимыми методами. Поэтому результат эксперимента следует признать положительным, а новый метод определения сдвига ветра по оценкам ширины спектра принимаемого метеорологическим радиолокатором сигнала рекомендовать для внедрения в практику оперативных радиолокационных наблюдений.

Литература

- 1. *Готюр И.А., Девяткин А.М., Жуков В.Ю. и др.* Информационные возможности допплеровских метеорологических радиолокаторов с двойной поляризацией // Учен. зап. РГГМУ. 2013. № 32. С. 66—83.
- 2. *Готюр И.А., Жуков В.Ю., Кулешов Ю.В. и др.* Допплеровский радиолокационный метод определения характеристик поля ветра и некоторые результаты // Учен. зап. РГГМУ. 2011. № 21. С. 66—75.
- 3. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. Исследование зависимости пространственного распределения ширины спектра сигнала, принимаемого метеорологическим радиолокатором, от распределения ветра по высоте в пограничном слое атмосферы // Вестник РосНОУ. 2015. № 10. С. 10–13.
- 4. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. О влиянии сдвига ветра на пространственное распределение ширины спектра радиолокационного сигнала // Радиотехн. и телеком-ые системы. 2016. № 1. С. 5—14.
- 5. *Денисенков Д.А., Жуков В.Ю.* Исследование эффективности методов радиолокационного измерения профиля ветра // VI Всерос. Армандовские чт. Тр. конф. «Радиофиз-ие методы в дистанц. зондировании сред». 2016. С. 402—406.
- 6. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Сивак О.А., Щукин Г.Г. Исследование эффективности метода обнаружения сдвига ветра по оценкам ширины спектра радиолокационного сигнала // Учен. зап. РГГМУ. 2016. № 42. С. 109—116.
- 7. http://www.weather.uwyo.edu