

лучей, скорости вращения антенны, периода повторения, но и от удаления по углу места цели от РСН.

Уточним, что эти выражения характеризуют СКО оценки угла цели для условий получения полной пачки отраженных импульсов. В случае обработки пачки с “потерянными” и импульсами начала и конца для расчета искомого ошибки в выражениях (11) и (14) значение n нужно использовать в качестве множителя – СКО возрастает в n раз.

Кроме того, эти выражения характеризуют лишь одну составляющую реальной ошибки. Другими составляющими являются ошибки измерения углового положения РСН лучей, ошибки, обусловленные изменением размеров и формы лучей по определенным причинам.

Материалы работы представляют интерес для специалистов в области анализа точности радиолокационных систем.

Литература: 1. Рисаков М.Д., Медведев В.К., Лебедев О.Г., Костенко П.Ю. Військова техніка авіаційної радіолокації. Вип. 5: Радіолокаційні засоби управління польотами літаків. Харків: ХІ ВПС, 2001. 97 с. 2. Грачев

В.В., Кейн В.М. Радиотехнические средства управления воздушным движением. М.: Транспорт, 1975. 343 с.

Поступила в редколлегию 09.12.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Костенко П.Ю.

Дукин Геннадий Юрьевич, старший преподаватель кафедры авиационных радиолокационных систем факультета НОБДА ХИ ВВС им. И.Кожедуба. Научные интересы: радиолокация, лазерные информационные технологии. Адрес: Украина, 61118, Харьков, пр. 50 лет ВЛКСМ, 61, кв. 69, тел. 710-54-89, 30-82-14.

Рысаков Николай Данилович, канд. техн. наук, доцент кафедры авиационных радиолокационных систем факультета НОБДА ХИ ВВС им. И.Кожедуба. Научные интересы: радиолокация, радиоуправление. Адрес: Украина, 61093, Харьков, ул. Ильинская, 63, кв.276, тел. 30-82-14.

Хохлюк Виктор Иванович, ведущий научный сотрудник – заместитель начальника научно-исследовательского отдела научного центра боевого применения ВВС ВС Украины. Научные интересы: боевое применение радиотехнических средств. Адрес: Украина, 61093, Харьков, ул. Искринская, 17, кв. 8, тел. 30-82-94.

УДК 621.396.967

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В НАЗЕМНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

ЗУБКОВ О.В., ВЕЛИЧКО Д.А., СИДОРОВ Г.И.

Описывается расширенный диапазон высот зондирования наземного радиопрофилера в результате применения методов пространственного прогнозирования с минимальной ошибкой предсказания, как способа вторичной обработки профилей модуля скорости ветра и его направления. Для предсказания применяются модели авторегрессии второго и более высоких порядков. Экспериментально доказывается, что результаты прогнозирования удовлетворяют требованиям автоматизированных систем управления воздушным движением.

Современные системы дистанционного зондирования атмосферы – это высокоэффективное средство измерения скорости ветра в пространстве и времени. Одним из потребителей такой информации являются комплексы управления движением воздушных транспортных средств, для которых наибольший интерес представляют данные о высотных профилях скорости ветра и его среднеквадратических пульсациях в зоне аэропорта. Эффективным средством измерения скорости ветра являются радиолокационные профилиры ясного неба. В таких РЛС при неблагоприятной для измерений метеоси-

туации существенно уменьшается диапазон высот, для которых определяется скорость ветра.

В этом случае и в ряде других *актуальна задача* оценки метеопараметров атмосферы с заданной достоверностью за пределами области определения радиопрофилера.

В целях решения поставленной задачи предлагается на основе неклассических методов параметрического анализа и прогнозирования с минимальной среднеквадратической ошибкой выполнять пространственное предсказание высотных профилей скорости ветра.

Обоснованность применения предлагаемых методов следует из рассмотрения атмосферного пограничного слоя, как динамической системы с выраженными временными и пространственными корреляционными связями [1,2].

Согласно [3,4] были использованы 3 основных представления прогноза с минимальной среднеквадратической ошибкой.

1) Прогнозы, полученные по коэффициентам авторегрессии (АР):

$$\hat{z}_h(m) = \hat{\phi}_m \cdot z_{h+m-1} + \dots + \hat{\phi}_p \cdot z_{h+m-p} + a_{h+1}, \quad (1)$$

где m – упреждение, на которое делается прогноз; $\hat{z}_h(m)$ – прогноз с упреждением m с высоты h ; $\hat{\phi}_1 \dots \hat{\phi}_p$ – выборочные коэффициенты модели авторегрессии порядка p , определяемые на практике одним из рекуррентных алгоритмов (ковариационным, Берга, модифицированным ковариационным, в результате решения уравнений Юла-Уокера); a_{h+1} – отсчеты порождающего белого шума.

2) Прогноз в проинтегрированном виде:

$$\hat{z}_h(m) = \psi_1 \cdot a_{h+m-1} + \dots + \psi_{m-1} \cdot a_{h+1} + \psi_m \cdot a_h + \psi_{m+1} \cdot a_{h-1} + \dots + a_{h+m}, \quad (2)$$

где $\psi_1 \dots \psi_m$ — коэффициенты импульсной характеристики фильтра предсказания.

3) Прогноз как взвешенное среднее предшествующих наблюдений и прогнозов, сделанных в тот же момент с меньшими упреждениями:

$$\hat{z}_h(m) = \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j \cdot z_{h+m-j} + a_{h+1}, \quad (3)$$

здесь π_j — веса прогноза, рекуррентно связанные с ψ выражением

$$\pi_j^m = \pi_{j+1}^{m-1} + \psi_{m-1} \pi_j. \quad (4)$$

Выбор для прогнозирования модели АР, а не модели скользящего среднего (СС) или АР и СС обусловлен статистическими исследованиями автокорреляционной и частной автокорреляционной функций профилей компонент скорости ветра по ансамблю из 2000 рядов. Профили скорости ветра были получены с сайта <http://www7.etl.noaa.gov/data/>, на котором представлены результаты зондирования 15 радиопрофилеров, расположенных на территории США. Технические характеристики доплеровских радиопрофилеров следующие:

- длительность импульса 400 нс;
- длина временной выборки, по которой определяются компоненты скорости ветра 256 отсчетов;
- период зондирования 20 мс;
- количество усредняемых профилей 100;
- рабочий диапазон высот зондирования 02300 м;
- высотное разрешение 58 м;
- число лучей приемной антенны 3.

Графики усредненной по ансамблю автокорреляционной (кривая V1) и частной автокорреляционной (кривая V2) функций компонент скорости ветра изображены на рис. 1.

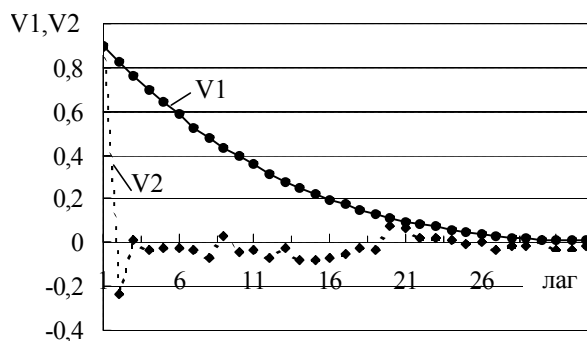


Рис. 1. Автокорреляционная и частная автокорреляционная функции компонент скорости ветра

На основании [4] и полученных кривых можно сделать вывод, что так как автокорреляционная функция экспоненциально затухает, а частная автокорреляционная функция имеет значимые выбросы только на первом и втором лаге, то высотные профили компонент скорости ветра должны опи-

сываться моделью АР порядка не ниже второго. Также следует отметить, что сильные корреляционные связи в анализируемых рядах соответствуют лагам 1 и 2, т.е. качественный прогноз возможен для упреждений, соответствующих увеличению дальности зондирования на 58116 м.

Кроме того, на качество предсказания в значительной степени влияет соответствие порядка модели АР описываемому процессу. Согласно критериям максимума правдоподобия и наименьших квадратов наилучшей, т.е. обеспечивающей минимальную ошибку предсказания, является такая подогнанная к оцениваемому ряду модель (порядок модели), которая обеспечивает в соответствии с [3] минимизацию функции

$$S(\phi) = \min \sum_{k=0}^h [a_k | \phi, z]^2 = \sum_{k=0}^h a_k. \quad (5)$$

Оценки $\hat{\phi}$ параметров ϕ , полученные в соответствии с [3] максимизацией логарифмической функции правдоподобия

$$l(\phi, \sigma_a | z_h) \approx -\frac{n}{2} \ln(\sigma_a^2) - \frac{S(\phi)}{2 \cdot \sigma_a^2}, \quad (6)$$

совпадают с оценками методом наименьших квадратов. Применение данных критериев для выбора порядка модели предполагает, что отсчеты a_h , а следовательно, и z_h распределены по нормальному закону. Поэтому для применения теории прогнозирования с минимальной среднеквадратической ошибкой предсказания и для выбора оптимального порядка модели АР необходимо было доказать, что распределение отсчетов скорости ветра и его направления в профилях подчиняется нормальному закону. С этой целью был взят ансамбль из 2000 реальных профилей компонент скорости ветра и для каждой реализации из ансамбля проверена гипотеза о нормальном законе распределения при помощи критериев, описанных ниже.

В качестве критериев проверки гипотезы о нормальном распределении использовались критерии Пирсона и Смирнова-Колмогорова [5] при стандартном значении достоверности 95%. Статистический анализ 2000 профилей компонент скорости ветра показал, что по критерию Пирсона в 92% профилей отсчеты распределены по нормальному закону, а по критерию Колмогорова-Смирнова гипотеза о нормальном законе подтверждается в 98% рядов. Полученные результаты позволяют применить теорию прогнозирования на основе моделей АР и использовать критерии минимума среднеквадратического отклонения и максимума правдоподобия для определения оптимального порядка выборочной модели авторегрессии.

Выбранная для прогнозирования модель авторегрессии подвергалась диагностической проверке с использованием совокупного критерия согласия [3].

Качество прогноза для упреждений 1m оценивалось в результате сравнения данных радиозондирования модуля горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления на высотах $h+1$ и $h+m$ с предсказанными значениями для тех же высот на основании поведения ряда в диапазоне высот от 1

до h . Численной мерой качества в этом случае служили среднеквадратическое и абсолютное отклонения величины предсказанного параметра от истинного значения этой величины, полученного опытным путем.

Глубина достоверного прогноза оценивалась в соответствии со следующим алгоритмом:

1) используя ансамбль размерностью $N=2000$ профилей скорости ветра и его направления в диапазоне высот от 1 до $h+m$, составлялись прогнозы для каждого профиля из ансамбля по значениям прогнозируемого параметра на высотах от 1 до h для упреждений от 1 до m ;

2) для каждого из упреждений на основании истинного хода исследуемого параметра в профиле вычислялось абсолютное отклонение и дисперсия отклонения предсказанной величины от истинной по ансамблю в N реализаций:

$$\Delta_k = |\hat{z}_h(m)_k - z_{h+m,k}|, \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (\hat{z}_h(m)_k - z_{h+m,k})^2}{N},$$

где $z_{h+m,k}$ — истинное значение ряда на высоте $h+m$ для k -й реализации из ансамбля; N — количество реализаций в ансамбле;

3) для каждого профиля из ансамбля в диапазоне высот $h+1$ до $h+m$ были рассчитаны доверительные границы, в пределах которых прогноз, составленный по предыдущим значениям ряда, достоверен и удовлетворяет требованиям автоматизированных систем управления воздушным движением. Величина доверительного интервала была определена на основании данных о методической погрешности определения скорости ветра [6] в радиолокационных системах дистанционного зондирования, технических требований к погрешности определения скорости ветра и его направления [6], числе спектральных усреднений и экспериментальных данных об отношении сигнал/шум в выборках принятого сигнала с высот $h+1$ до $h+m$.

Согласно [6] абсолютная погрешность определения модуля горизонтальной составляющей скорости ветра V_r в РЛС дистанционного зондирования атмосферы не должна превышать $\delta_{тр} = 0,8 + 0,05 \cdot V_r$ м/с, а направления ветра — 10° . Поэтому данные о допустимых значениях погрешности являются исходными для определения доверительных границ в соответствии с выражением

$$z_{h+m}(\pm) = \pm(z_{h+m} + \delta_{тр} - \delta_{мет} - \delta_{инстр}), \quad (8)$$

где $\delta_{мет}$ — абсолютная методическая погрешность выборочной оценки скорости ветра при заданном отношении сигнал/шум; $\delta_{инстр}$ — абсолютная инструментальная погрешность, обусловленная шумами квантования и дискретизации (данном видом погрешности можно пренебречь, так как в современных РЛС устанавливаются аналого-цифровые преобразователи разрядностью не ниже 16). Модуль и направление горизонтальной составляющей

скорости ветра для трехлучевого доплеровского радиопрофилера определяется из выражений, приведенных ниже согласно [7,8]:

$$\begin{pmatrix} V_e \\ V_n \\ V_z \end{pmatrix} = \text{inv}(A) \cdot \begin{pmatrix} V_{r1} \\ V_{r2} \\ V_{r3} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где V_e, V_n, V_z — компоненты скорости ветра в направлениях на восток, север и зенит соответственно;

$$A = \begin{pmatrix} \sin(\beta_1) \cdot \sin(\alpha_1) & \sin(\beta_1) \cdot \cos(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) \\ \sin(\beta_2) \cdot \sin(\alpha_2) & \sin(\beta_2) \cdot \cos(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) \\ \sin(\beta_3) \cdot \sin(\alpha_3) & \sin(\beta_3) \cdot \cos(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix},$$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — азимутальные углы между направлением на север и азимутальной ориентацией лучей радиопрофилера; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы между зенитом и угломестной ориентацией лучей радиопрофилера; V_{r1}, V_{r2}, V_{r3} — измеряемые значения скорости ветра в направлениях трех лучей радиопрофилера:

$$\varphi = \begin{cases} a \tan(V_e / V_n) + \pi, & V_n > 0, \\ a \tan(V_e / V_n), & V_n, V_e < 0, \\ a \tan(V_e / V_n) + 2 \cdot \pi, & V_n < 0, V_e > 0. \end{cases} \quad (10)$$

Методическая погрешность определения модуля скорости ветра δV_r и его направления $\delta \varphi$ рассчитывались в соответствии с выражениями

$$\delta V_r = \left[\left(\frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r1}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r1}^2 + \left(\frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r2}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r2}^2 + \left(\frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r3}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r3}^2 \right]^{1/2}, \quad (11)$$

$$\delta \varphi = \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial V_{r1}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r1}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial V_{r2}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r2}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial V_{r3}} \right)^2 \cdot \Delta V_{r3}^2 \right]^{1/2}, \quad (12)$$

где $\Delta V_{r1}, \Delta V_{r2}, \Delta V_{r3}$ — значения методической погрешности определения V_{r1}, V_{r2}, V_{r3} ;

$\frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r1}}, \frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r2}}, \frac{\partial |V_r|}{\partial V_{r3}}, \frac{\partial \varphi}{\partial V_{r1}}, \frac{\partial \varphi}{\partial V_{r2}}, \frac{\partial \varphi}{\partial V_{r3}}$ — частные производные от выражений для расчета модуля горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления по измеряемым проекциям скорости ветра в измерительной системе координат;

4) прогноз для упреждения m считался достоверным, если абсолютное значение спрогнозированного параметра не выходило за доверительные границы истинного ряда для того же упреждения;

5) в результате определения вероятности попадания спрогнозированного метеопараметра в доверительные границы для различных упреждений по ансамблю анализируемых профилей был получен диапазон дальностей достоверного прогноза для

рассматриваемого типа РЛС. Альтернативным критерием оценки максимальной глубины прогноза является критерий, согласно которому расчетное значение СКО прогноза на высоте $h+m$ не должно превышать требуемого значения на этой высоте.

Результаты оценки качества прогноза по критерию попадания спрогнозированного метеопараметра в доверительные границы реального профиля, построенные для высот $h+1h+m$, представлены на рис. 2 в виде зависимостей от высоты вероятностей P_{Vr} и P_j попадания предсказанной величины горизонтальной составляющей скорости ветра (рис. 2,а) и его направления (рис. 2,б) в доверительные границы.

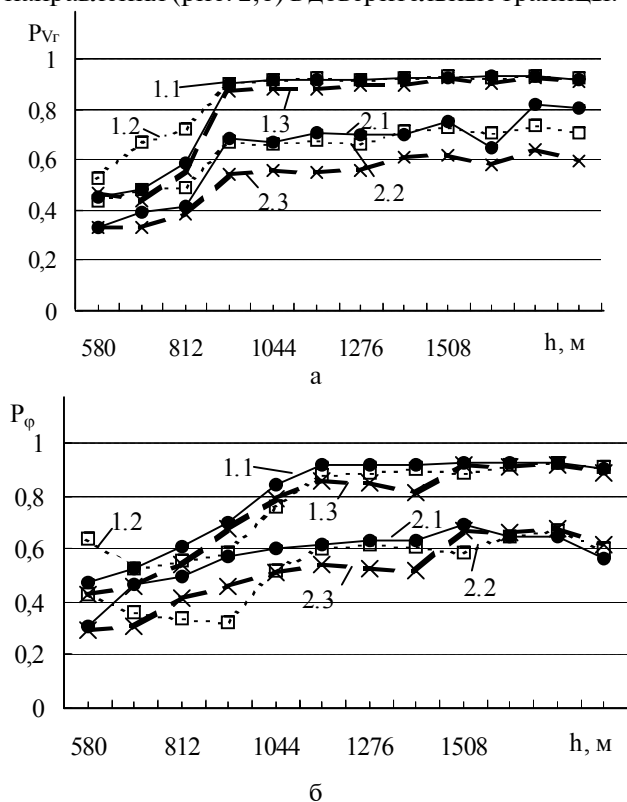


Рис. 2. Зависимости P_{Vr} и P_j от высоты

На рис. 2,а,б представлены две совокупности графиков (кривые 1.1, 1.2, 1.3 и 2.1, 2.2, 2.3) для двух упреждений, соответствующих дальностям предсказания 58 и 116 м соответственно. Кривым 1.1, 2.1 соответствует прогноз, сделанный на основе коэффициентов авторегрессии, найденных с использованием алгоритма Берга; кривым 1.2, 2.2 — с использованием модифицированного ковариационного алгоритма; кривым 1.3, 2.3 — в результате решения уравнений Юла-Уокера.

Проанализировав полученные кривые, можно сделать следующие выводы:

- 1) наибольшее значение вероятности попадания спрогнозированного метеопараметра в доверительные границы истинного профиля обеспечивают прогнозы, коэффициенты авторегрессии для которых были найдены с использованием алгоритма Берга;
- 2) достоверность определения горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления (>92%), требуемая в современных системах автоматизированного управления воздушным движением,

достигается только для упреждения, равного 1, что эквивалентно расширению рабочего диапазона анализируемого типа радиопрофилера на 58 м;

3) при прогнозировании значений горизонтальной составляющей скорости ветра требуемое значение достоверности предсказания достигается при длине анализируемого ряда в 16 отсчетов (для данного типа радиопрофилера с высоты 928 м);

4) при прогнозировании значений направления ветра требуемая достоверность предсказания достигается при длине анализируемого ряда в 20 отсчетов (для данного типа радиопрофилера с высоты 1218 м);

5) применение первого и третьего представления прогноза дает идентичные результаты и обеспечивает получение максимальной достоверности предсказания. При применении прогноза в проинтегрированном виде значения P_{Vr} и P_j уменьшаются на 15-20%.

Результаты оценки качества предсказания, представленные в виде зависимостей среднеквадратического отклонения спрогнозированных значений горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления от определенных по результатам зондирования, представлены на рис. 3,а и б. На них изображены две совокупности графиков (кривые 1.1, 1.2, 1.3 и 2.1, 2.2, 2.3) для двух упреждений, соответствующих дальностям предсказания 58 и 116 м соответственно. Кривым 1.1, 2.1 соответствует прогноз, сделанный на основе коэффициентов авторегрессии, найденных с использованием алгоритма Берга; кривым 1.2, 2.2 — с использованием модифицированного ковариационного алгоритма; кривым 1.3, 2.3 — в результате решения уравнений Юла-Уокера.

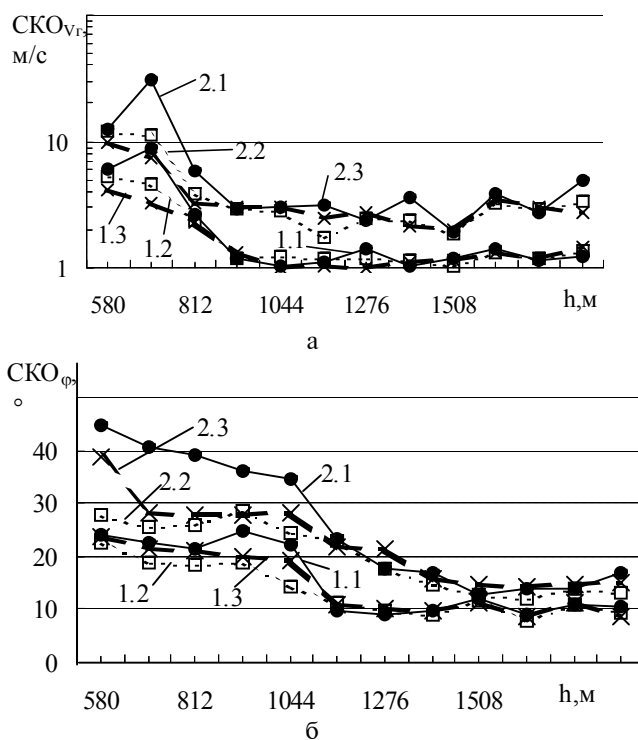


Рис. 3. Зависимости от высоты среднеквадратического отклонения спрогнозированных значений горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления от определенных по результатам зондирования

Так как в соответствии с требованиями к автоматизированным системам управления воздушным движением максимальная погрешность определения направления ветра 10° , а горизонтальной составляющей скорости ветра $\delta_{\text{тр}} = 0,8 \dots 1,55$ м/с, то, используя среднее значение $\bar{V}_r = 1,17$ м/с в качестве допустимой погрешности в диапазоне измеряемых скоростей ветра 015 м/с, были сделаны следующие выводы:

1) максимальная глубина прогноза, при которой рассчитанное по ансамблю из 2000 реализаций значение СКО предсказания горизонтальной составляющей скорости ветра не превышает порогового, составляет 58 м. Для качественного предсказания на основе моделей авторегрессии необходимы ряды данных длиной не менее 16 отсчетов, что позволяет выполнять предсказание горизонтальной составляющей скорости ветра с высоты 870 м для анализируемого типа РЛС;

2) максимальная глубина прогноза, при которой рассчитанное по ансамблю из 2000 реализаций значение СКО предсказания направления ветра не превышает порогового, составляет 58 м. Для качественного предсказания на основе моделей авторегрессии необходимы ряды данных длиной не менее 20 отсчетов, что позволяет выполнять предсказание направления ветра с высоты 870 м для анализируемого типа РЛС;

3) минимальное СКО предсказания обеспечивает прогнозы, полученные из разностного уравнения, коэффициенты авторегрессии для которого найдены с использованием алгоритма Берга;

4) при прогнозировании на 2 шага вперед СКО скорости ветра достигает 4м/с, а СКО направления 17° .

Выполненные исследования доказывают, что в 79% случаев минимальную среднеквадратическую погрешность предсказания обеспечивают модели 2-го и 3-го порядков. В 20,5% случаев требуются модели 4-го и 5-го порядков и в 0,5% случаев — модель 1-го порядка.

Научная новизна полученных результатов заключается в доказательстве применимости методов прогнозирования с минимальной среднеквадратической ошибкой на основе моделей АР к решению задачи предсказания высотных профилей скорости ветра и его направления с качеством, удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к определению этих метеовеличин в комплексах автоматизированного управления воздушным движением.

Практическая ценность полученных результатов: 1) применение методов прогнозирования с минимальной среднеквадратической ошибкой предсказания на основе моделей АР позволяет расширить диапазон определения горизонтальной составляющей скорости ветра и его направления на величину, кратную разрешающей способности в пределах радиуса пространственной корреляции процессов

(в частности, на 58 м при высотном разрешении 58 м рассматриваемого типа радиопрофилеров); 2) качество предсказания скорости ветра и его направления удовлетворяет требованиям, предъявляемым к определению этих метеовеличин в комплексах автоматизированного управления воздушным движением; 3) доказана возможность достоверного прогнозирования горизонтальной составляющей скорости ветра на основании поведения ряда в 16 отсчетов (с высоты 870 м для данного типа радиопрофилера); 4) доказана возможность достоверного прогнозирования направления ветра на основании поведения ряда в 20 отсчетов (с высоты 1218 м для данного типа радиопрофилера); 5) минимальную среднеквадратическую ошибку предсказания обеспечивают прогнозы, полученные с использованием моделей авторегрессии 2-го и 3-го порядков, коэффициенты которых найдены в результате применения алгоритма Берга; 6) при зондировании атмосферы радиопрофилерами с более высоким высотным разрешением следует ожидать увеличения числа шагов, на которые делается достоверный прогноз с требуемой детализацией процессов в диапазоне радиусов пространственной корреляции, в пределах которого отсчеты компонент скорости ветра сильно коррелированы.

Литература: 1. *Лайхтман Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 341 с. 2. *Атмосфера.* Справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 511 с. 3. *Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление: Пер. с англ. Вып. 1 / Под ред. В.Ф. Писаренко. М.: Мир, 1974. 406 с. 4. *Боровиков В.П., Ивченко Г.И.* Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1999. 384 с. 5. *Афифи А., Эйзен С.* Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 488с. 6. Принципы построения автоматизированных систем метеорологического обеспечения авиации / Под ред. Г.Г. Щукина. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 376 с. 7. *Slater K.* UK MST Radar data processing system // COST76. Profiler workshop 1997. 1997. Vol. 2. P. 247-252. 8. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука, 1986. 168 с.

Поступила в редколлегию 10.02.2003

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Прошкин Е.Г.

Зубков Олег Викторович, ассистент кафедры РЭС ХНУРЭ. Научные интересы: радиолокация, статистическое моделирование, цифровая обработка сигналов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-587.

Величко Дмитрий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры РЭС ХНУРЭ. Научные интересы: радиопизические методы измерений, статистические модели, радиолокация. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-587.

Сидоров Геннадий Иванович, канд. техн. наук, профессор кафедры РЭС ХНУРЭ. Научные интересы: радиолокация, статистические модели. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-587.