

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

- 05.07.01 – Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов;
05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов;
05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов;
05.07.05 – Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов;
05.07.07 – Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем;
05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов;
05.07.10 – Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности*

УДК 551.:629.130

DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-43-53

**ПОВЫШЕНИЕ ОПРАВДЫВАЕМОСТИ МЕТЕОПРОГНОЗОВ
ПО АЭРОДРОМУ ПУТЕМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
МЕТЕОПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ**

Э.А. БОЛЕЛОВ¹

*¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Оправдываемость авиационных метеопрогнозов является одним из основных показателей, характеризующих качество метеорологического обеспечения полетов. Существенное влияние качества метеорологического обеспечения полетов на безопасность и регулярность полетов подтверждается результатами ежегодных анализов, проводимых Федеральным агентством воздушного транспорта России и «Авиаметтелеком Росгидромета». В настоящее время качество метеорологического обеспечения полетов по-прежнему остается на достаточно низком уровне по сравнению со странами, которые являются признанными лидерами в авиационной отрасли. Для разработки качественных метеопрогнозов по аэродрому синоптику аэродромной метеослужбы требуется достаточно большой объем информации, основу которого составляют данные метеорологических измерений и наблюдений, полученные с помощью аэродромных метеорологических систем. Отсутствие достоверной информации о значении метеопараметров атмосферы не позволяет синоптику сформировать качественный метеопрогноз, поэтому нередки случаи, когда синоптик аэродромной метеослужбы дает перестраховочный прогноз. Вместе с тем в составе современных аэродромных метеорологических систем имеются достаточно совершенные системы и устройства измерения параметров атмосферы. Более полное использование всех достоинств этих систем в целях разработки качественных метеопрогнозов и, следовательно, повышения их оправдываемости можно обеспечить путем комплексной обработки получаемой метеорологической информации. Важнейшей характеристикой атмосферы является температура воздуха на высотах полета воздушных судов. Достоверные знания о профиле температуры во многом определяют оправдываемость метеопрогнозов и прогнозов опасных для авиации метеоявлений. В статье в качестве примера рассмотрен алгоритм комплексной обработки информации о профиле температуры в районе аэродрома, получена структурная схема алгоритма и приведены результаты моделирования профиля температуры и его комплексной оценки.

Ключевые слова: метеорологическое обеспечение полетов, безопасность полетов, комплексная обработка информации, метеопрогноз, профиль температуры, температурный профилемер.

ВВЕДЕНИЕ

Проводимый анализ метеорологического обеспечения полетов¹ и влияния его качества на безопасность и регулярность полетов гражданской авиации в Российской Федерации позволяет говорить о том, что качество метеорологического обеспечения полетов (МОП) по-прежнему остается на достаточно низком уровне по сравнению со странами, которые являются

¹ Анализ состояния метеообеспечения гражданской авиации. Отчеты [Электронный ресурс] // ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»: офиц. сайт. URL: http://www.aviamettelecom.ru/?id_top30 (дата обращения: 15.05.2019).

признанными лидерами в авиационной отрасли [1]. Анализ причин авиационных происшествий (АП) в Российской Федерации показывает, что 9 % АП связаны с недостатками в МОП (см. рис. 1), а оценка степени влияния различных факторов на причины АП, связанные с нарушением метеоминимума, свидетельствует о высокой степени влияния недостатков МОП (до 25 %) на безопасность полетов гражданской авиации.

Важнейшим показателем качества МОП является оправдываемость метеорологических прогнозов [9, 10], представляющая собой степень соответствия прогнозируемых метеорологических величин и явлений фактически наблюдавшимся.

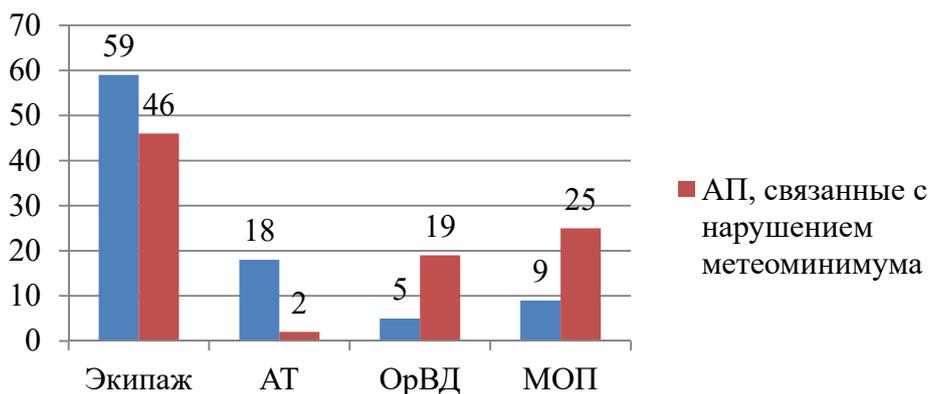


Рис. 1. Анализ причин авиационных происшествий
Fig. 1. Analysis of the accidents causes

Из определения оправдываемости PWF очевидно, что она носит вероятностный характер и может быть представлена как

$$PWF = P\{WF | WE\}, \quad (1)$$

где WF – метеопрогноз, WE – фактически наблюдаемые метеовеличины и метеоявления.

Наилучший метеопрогноз, очевидно, будет определяться из условия

$$WF^* : \max_{\{WF\}} PWF. \quad (2)$$

Проблема обеспечения высокой оправдываемости метеопрогнозов включает в себя ряд аспектов технического, нормативно-правового и организационного характера. Рассматривая только технические аспекты этой проблемы и не касаясь в рамках настоящей статьи нормативно-правовых и организационных аспектов, а также методик прогнозирования, можно считать, что оправдываемость метеопрогнозов будет не хуже требуемой, если технические характеристики средств проведения метеорологических измерений и наблюдений соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Дальнейшее увеличение оправдываемости метеопрогнозов связано с наиболее полным использованием информации всех метеосистем и устройств, измеряющих значения параметров атмосферы. Оправдываемость метеорологических прогнозов зависит от качества метеорологической информации, поступающей от аэродромных метеорологических систем и комплексов (АМС) $I_{АМС}$ и метеорологической информации, поступающей по сети передачи данных (АПСД) Росгидромета $I_{АСПД}$, основу которой составляют данные аэрологической сети, сети

метеорологических радиолокационных станций, наземных метеорологических станций и спутниковой метеорологической сети:

$$PWF = f(I_{AMC}, I_{АСПД}). \quad (3)$$

Каждая из составляющих, входящих в (3), зависит в свою очередь от алгоритмов обработки метеорологической информации A , технических характеристик средств проведения метеоизмерений и наблюдений Y и профессиональной подготовленности метеорологов Q . Ограничимся рассмотрением только той информации, которая поступает от аэродромных средств проведения метеоизмерений и наблюдений. Это упрощение оправдано, т. к. на разработку метеопрогнозов по аэродрому в большей степени оказывает влияние информация от аэродромных средств проведения метеоизмерений и наблюдений.

В этом случае задачу повышения оправдываемости метеопрогнозов можно сформулировать следующим образом. Требуется разработать такой алгоритм обработки метеорологической информации A_{AMC}^* , при котором оправдываемость метеопрогнозов была бы выше при имеющемся уровне профессиональной подготовки метеорологов аэродромных метеослужб Q_{AMC} и технических характеристиках средств проведения метеоизмерений и наблюдений на аэродроме Y_{AMC} :

$$PWF^*(A_{AMC}^* | Y_{AMC}, Q_{AMC}) > PWF(A_{AMC} | Y_{AMC}, Q_{AMC}). \quad (4)$$

Решение данной задачи лежит непосредственно в области разработки комплексных алгоритмов обработки информации, основная цель которых состоит в наиболее полном использовании всех достоинств измерителей, принципы работы которых, как правило, основаны на различных физических принципах. Среди достаточно большого многообразия методов комплексирования особое место занимает марковская теория комплексирования измерителей. Ее достоинства изложены в ряде работ, например [2, 3].

Рассмотрим в качестве примера алгоритм комплексной обработки информации о профиле температуры в районе аэродрома.

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПРОФИЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА

Комплексная обработка информации о профиле температуры требуется для решения задач:

- определения и прогнозирования температурных инверсий и наличия сверхadiaбатического профиля температуры в приземном слое;
- прогнозирования зон обледенения;
- прогнозирования туманов.

Температурные инверсии и наличие сверхadiaбатического профиля температуры в приземном слое оказывает опасное влияние на взлет и посадку воздушного судна (ВС). Для обнаружения изменений профиля температуры в приземном слое и его прогноза требуется достоверная информация о текущем профиле температуры. В настоящее время на аэродромах устанавливаются температурные профилемеры (ТП), принцип работы которых основан на методах радиометрии. ТП является средством дистанционного измерения температуры и измеряет профиль температуры угломестным способом последовательно во времени по высотам зондирования от 0 до 1000 м. Значения температуры выдаются в АМС в фиксированные моменты времени, при этом дискретность выдачи значений профиля температуры для высот от 0 до 100 м со-

ставляет 25 м, а в диапазоне высот от 100 до 1000 м – 50 м. Интервал выдачи значений профиля температуры составляет 75 с. ТП требует периодической калибровки. Калибровка ТП осуществляется от аэродромной метеорологической системы, измеряющей температуру воздуха у поверхности земли $T_{AMC}(h=0)$. На основании этой информации ТП производит сравнение температуры путем вычисления разницы $T_{AMC}(h=0) - T_{ТП}(h=0)$, которая применяется для корректировки весовых коэффициентов, используемых в ТП при вычислении профиля температуры. Такой способ калибровки имеет существенный недостаток, т. к. не осуществляется калибровка по всему измеренному профилю температуры. Как показано в [4], измерения профиля температуры ТП могут содержать существенные ошибки, которые могут составлять несколько °С, причем ошибка измерения температуры увеличивается с высотой.

Достоверную информацию о профиле температуры можно получить используя алгоритм КОИ о профиле температуры на основе информации от ТП и аэродромной системы радиозондирования (АСРЗ), основу которой составляет беспилотный метеоразведчик (БМР). В АСРЗ реализован контактный метод измерения температуры, и измерение профиля температуры осуществляется последовательно во времени путем подъема БМР на заданную высоту зондирования. АСРЗ обеспечивает выдачу в АМС значений профиля температуры с интервалом в 2,5 с. В дальнейшем для определенности будем полагать, что комплексная обработка информации о профиле температуры осуществляется до высоты 1000 м, т. к. для высот более 1000 м измерение профиля температуры может производиться только АСРЗ.

Сформулируем постановку задачи комплексной обработки метеоинформации в рамках марковской теории комплексирования.

Рассмотрим некоторую область пространства в районе аэродрома Ω . Размеры области Ω в вертикальной плоскости ограничиваются 1000 м, а в горизонтальной плоскости окружностью радиуса 15–20 км вокруг аэродрома. Именно в этой области пространства производятся все взлетно-посадочные маневры ВС, а профили температуры имеют важнейшее значение для безопасности полетов. Значение температуры в каждой точке рассматриваемой области Ω зависит от местоположения этой точки (x, y, h) и времени t . В связи с этим в области Ω имеет место случайное изменяющееся во времени трехмерное поле значений температуры $T(t, x, y, h)$. Оценка значений трехмерного поля является весьма трудоемкой операцией, а практическая реализация алгоритмов оценивания случайных трехмерных полей достаточно сложна и требует больших вычислительных затрат [3]. Практическая реализация алгоритмов комплексной обработки информации о профиле температуры накладывает достаточно жесткие ограничения на объемы вычислительных операций в аэродромных метеорологических системах и комплексах. Кроме этого, анализ изменчивости значений метеопараметров в зоне ответственности АМС позволяет провести обоснованные упрощения алгоритмов КОИ. В работах В.Д. Решетова, М.М. Борисенко, М.В. Завариной приводятся результаты исследования пространственно-временной изменчивости метеопараметров атмосферы [6, 7, 8]. В частности, показано, что изменчивость температуры в горизонтальной плоскости $T(x, y)$ имеет достаточно небольшие значения и даже в мезомасштабе хорошо описывается простыми моделями. В области рассматриваемого пространства Ω температуру воздуха на фиксированной высоте полета можно считать неизменной $T(x, y) \approx const$. Изменение температуры с высотой существенно, причем вертикальный градиент температуры $\frac{dT(h)}{dh}$ может достигать достаточно больших значений. В связи с этим при синтезе алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ) о профиле температуры следует рассматривать только вертикальный профиль температуры $T(h)$.

В ТП и АСРЗ измерения профиля температуры $T(h)$ производится последовательно по высотам в течение заданного времени зондирования $[t_0, t_3]$. Строго говоря, периоды времени зондирования ТП и АСРЗ могут и не совпадать. Время зондирования ТП составляет 5 минут, а время зондирования АСРЗ зависит от скорости подъема БМР. При штатных скоростях подъема БМР 4–5 м/с время зондирования АСРЗ может быть согласовано со временем зондирования ТП.

Синтез оптимальных алгоритмов КОИ о профиле температуры с использованием измеренных значений на выходе ТП и АСРЗ предполагает описание статистической динамики $T(t_k)$. Математическая модель динамики $T(t_k)$ может быть получена на основании статистической обработки измеренных профилей температуры за достаточно длительный период. Кроме этого, следует учитывать географическое расположение аэродрома. В данной задаче такой подход представляется не вполне продуктивным, так как корректное описание динамики изменения профиля температуры с учетом разнообразных факторов, как правило, приводит к весьма сложным математическим моделям. Синтез оптимальных алгоритмов КОИ без привлечения таких моделей может быть выполнен на основе метода распределения информации [3, 4]. Метод распределения информации позволяет сократить размерность вектора состояния и тем самым уменьшить объем вычислений алгоритма КОИ профиля температуры. Также в постановке задачи синтеза алгоритмов КОИ профиля температуры необходимо учесть то обстоятельство, что измерения профиля температуры АСРЗ проводятся с более высокой частотой, чем измерения ТП. Поэтому целесообразно использовать метод накопления информации, заключающийся в том, что можно накопить результаты N измерений АСРЗ и обрабатывать их в более редкие моменты времени t_k , тем более что приращение информации за счет обработки результата одного измерения будет незначительным.

Значение температуры может быть представлено как

$$T(t_k) = T_{MCA} + \Delta T(t_k), \quad (5)$$

где T_{MCA} – значение температуры по международной стандартной атмосфере (МСА); $\Delta T(t_k)$ – неизвестные случайные отклонения температуры от значения T_{MCA} , которые являются скрытыми факторами угрозы безопасности полетов.

Уравнение, описывающее динамику изменения $\Delta T(t_k)$ можно записать в виде

$$\Delta T(t_{k+1}) = \Delta T(t_k) + \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T(t_{l+1}) - \Delta T(t_{l-1})}{2\tau}, \quad (6)$$

где $\Delta T(t_k) = T(t_k) - T_{MCA}$; $\Delta t = t_{k+1} - t_k$, $t_k \in [t_0, t_3]$; $\tau = t_{l+1} - t_l$, $t_l \in [t_k, t_{k+1}]$, $N = \frac{\Delta t}{\tau}$.

Математическая модель измерения профиля температуры ТП может быть представлена выражением

$$T_{ТП}(t_k) = T_{MCA} + \Delta T(t_k) + \varepsilon_{ТП}(t_k), \quad (7)$$

где $\varepsilon_{ТП}(t_k)$ – ошибка измерения ТП.

Входящая в выражения (6) ошибка измерения температуры хорошо описывается математической моделью:

$$\varepsilon_{ТП}(t_k) = a_\varepsilon \varepsilon_{ТП}(t_{k-1}) + b_\varepsilon n_{ТП}(t_{k-1}), \quad \varepsilon_{ТП}(t_0) = \varepsilon_{ТП0}, \quad (8)$$

где a_ε – коэффициент, определяемый постоянной времени измерителя; b_ε – коэффициент, определяемый значением стационарной дисперсии погрешности измерителя; $n_{ТП}(t_k)$ – случайная гауссовская величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

В соответствии с методом накопления информации к моменту проведения очередных наблюдений ТП вычисляются значения $T_{АСРЗ}(t_l)$ в моменты времени $t_l \in [t_k, t_{k+1}]$. Измерения АСРЗ отнесем к вектору известных функций времени, входящих в уравнение динамики вектора состояния. С практической точки зрения это вполне оправдано, т. к. точность измерения температуры контактным методом существенно выше точности измерения дистанционным методом. Тогда уравнение (6) может быть записано в виде

$$\Delta T(t_{k+1}) = \Delta T(t_k) + \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T_{P3}(t_{l+1}) - \Delta T_{P3}(t_{l-1})}{2\tau}. \quad (9)$$

Измерение (7) с учетом (8) может быть представлено в виде

$$\Delta T_{ТП}(t_k) = \Delta T(t_k) + \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T_{P3}(t_{l+1}) - \Delta T_{P3}(t_{l-1})}{2\tau} + a_\varepsilon \varepsilon_{ТП}(t_{k-1}) + b_\varepsilon n_{ТП}(t_{k-1}), \quad (10)$$

где $\Delta T_{ТП}(t_k) = T_{ТП}(t_k) - T_{МСА}$.

В рассматриваемой задаче с учетом (6)–(10) вектор состояния включает в себя следующие компоненты:

$$\mathbf{X}(t_k) = [\Delta T(t_k) \quad \varepsilon_{ТП}(t_k)]^T, \quad (11)$$

а вектор наблюдения

$$\mathbf{Z}(t_k) = [\Delta T_{ТП}(t_k)], \quad (12)$$

т. е. вектор наблюдения является скалярной величиной.

Динамика изменения компонент вектора состояния описывается уравнением

$$\mathbf{X}(t_{k+1}) = \Phi_{XX} \mathbf{X}(t_k) + \Phi_{XZ} + \Gamma_X \mathbf{N}(t_k), \quad \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0, \quad (13)$$

где ненулевые элементы матриц имеют значения: $\Phi_{XX}(1,1) = 1$, $\Phi_{XX}(2,2) = a_\varepsilon$,

$\Phi_{XZ}(1,1) = \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T_{P3}(t_{l+1}) - \Delta T_{P3}(t_{l-1})}{2\tau}$, $\Gamma_X(2,1) = b_\varepsilon$; $\mathbf{N}(t_k) = [n_{ТП}(t_k)]$.

Уравнение наблюдения в векторно-матричном виде имеет вид

$$\mathbf{Z}(t_k) = \Delta T_{ТП}(t_k) = \Phi_{ZX} \mathbf{X}(t_k) + \Phi_{ZZ} + \Gamma_Z \mathbf{N}(t_k), \quad (14)$$

где ненулевые элементы матриц имеют значения: $\Phi_{ZX}(1,1) = 1$, $\Phi_{ZX}(1,2) = a_\epsilon$,

$$\Phi_{ZZ} = \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T_{P3}(t_{l+1}) - \Delta T_{P3}(t_{l-1})}{2\tau}, \quad \Gamma_Z = b_\epsilon.$$

Приведенные соотношения полностью определяют модели векторов состояния и наблюдения. Таким образом, располагая априорными сведениями об изменении во времени компонент вектора состояния (13) и имея наблюдения (14), определим наилучшую оценку вектора состояния $\mathbf{X}^*(t_k)$, которая должна удовлетворять критерию минимума апостериорного среднего риска при квадратичной функции потерь.

В соответствии с методикой, приведенной в [2, 3], для оптимальных алгоритмов КОИ о профиле температуры уравнение оценки вектора состояния будет иметь вид

$$\mathbf{X}^*(t_{k+1}) = \Phi_{xx} \mathbf{X}^*(t_k) + \Phi_{xz} + \mathbf{K}(t_{k+1}) [\Delta T_{ТП}(t_{k+1}) - \Phi_{zx} \mathbf{X}^*(t_k) - \Phi_{zz}], \quad (15)$$

$$\mathbf{K}(t_{k+1}) = [\Phi_{xx} \mathbf{R}(t_k) \Phi_{zx}^T + \mathbf{B}_{xz}] [\Phi_{zx} \mathbf{R}(t_k) \Phi_{zx}^T + \mathbf{B}_{zz}]^{-1}, \quad (16)$$

$$\mathbf{R}(t_{k+1}) = [\Phi_{xx} \mathbf{R}(t_k) \Phi_{xx}^T + \mathbf{B}_{xx}] - \mathbf{K}(t_{k+1}) [\mathbf{B}_{xz} + \Phi_{xx} \mathbf{R}(t_k) \Phi_{zx}^T]^T, \quad (17)$$

где $\mathbf{B}_{xx} = \Gamma_{xx} \Gamma_{xx}^T$, $\mathbf{B}_{xz} = \Gamma_x \Gamma_z^T$, $\mathbf{B}_{zz} = \Gamma_z \Gamma_z^T$.

Выражения (15)–(17) описывают оптимальный линейный фильтр, реализующий алгоритм КОИ. Выражение (15) определяет структурную схему КОИ профиля температуры по выходным данным ТП $T_{ТП}(t_k)$ и АСРЗ $T_{P3}(t_l)$ (см. рис. 2).

В состав схемы КОИ о профиле температуры входят:

– блок формирования наблюдений (БФН), выполняющий формирование наблюдений:

$$\Delta T_{ТП}(t_k) = T_{ТП}(t_k) - T_{МСА},$$

$$\sum \tilde{T}_{P3} = \Delta t \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\Delta T_{P3}(t_{l+1}) - \Delta T_{P3}(t_{l-1})}{2\tau};$$

– блок формирования невязок измерений (БНИ), выполняющий операцию формирования невязки:

$$\Delta \mathbf{Z}(t_{k+1}) = [\Delta T_{ТП}(t_{k+1}) - \Phi_{zx} \mathbf{X}^*(t_k) - \Phi_{zz}];$$

– блок формирования оценки (БФО), выполняющий операцию вычисления оценок в соответствии с (15)–(17).

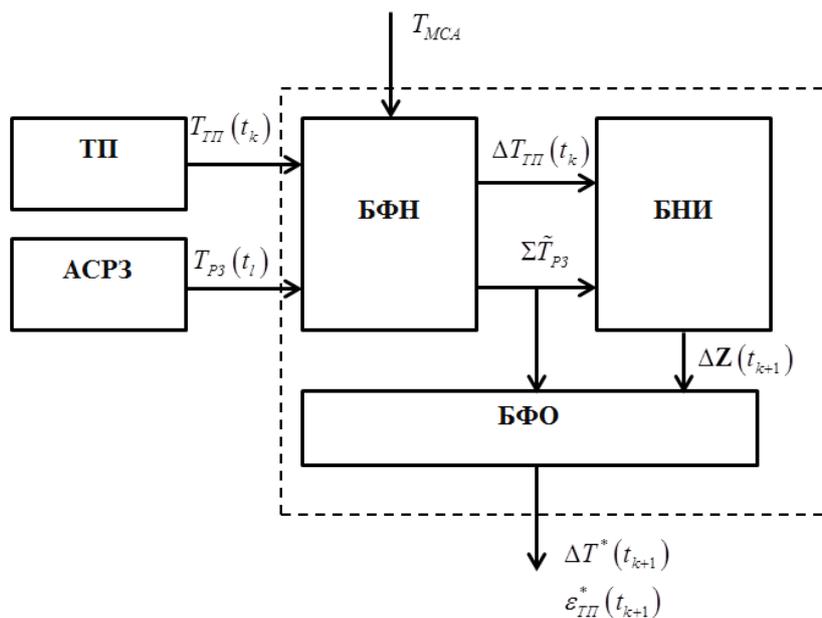


Рис. 2. Структурная схема комплексной обработки информации о профиле температуры
Fig. 2. Structural scheme of complex processing of the information about the temperature profile

Результат моделирования профиля температуры $T(h)$ и его измеренные значения ТП $T_{TP}(h)$ и АСРЗ $T_{P3}(h)$ представлены на рис. 3.

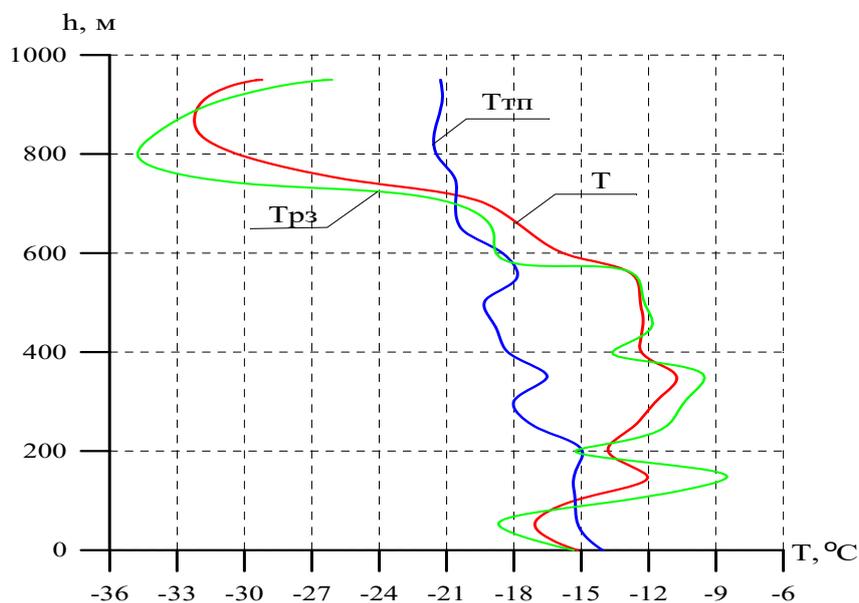


Рис. 3. Профиль температуры и его измеренные значения
Fig. 3. The temperature profile and the measured values

На рис. 3. представлен случай, когда ТП не регистрирует имеющуюся температурную инверсию на высотах 50–600 м. Результат комплексной обработки информации о профиле температуры представлен на рис. 4.

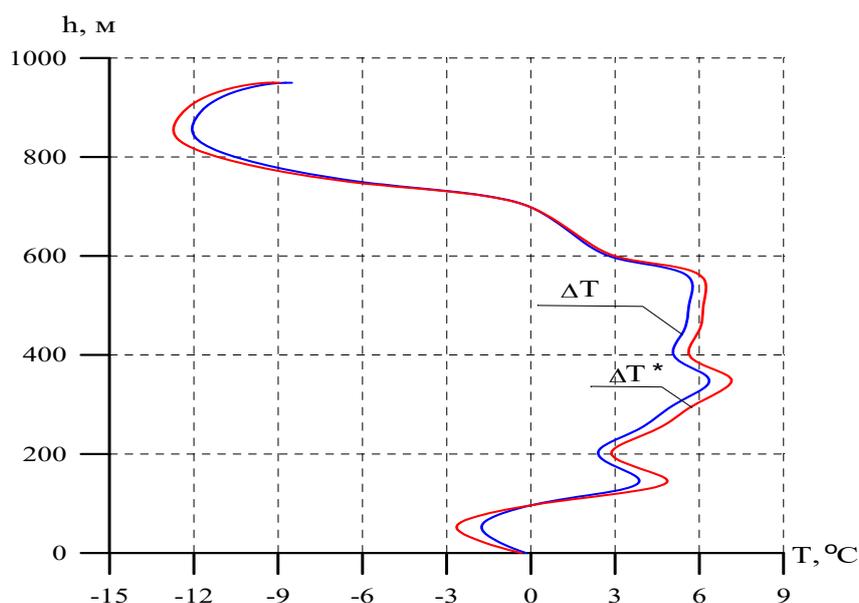


Рис. 4. Действительное значение и оценка профиля отклонения температуры от значений МСА
Fig. 4. The actual value and the assessment of profile deviations of temperature from the values of the standard atmosphere

Наблюдается достаточно хорошее совпадение действительных значений температуры и значений температуры, полученных в результате комплексной обработки информации от ТП и АСРЗ. Анализ элементов матрицы $R(t_k)$ показал, что стационарное значение среднего квадратического отклонения ошибки оценивания профиля температуры составляет $\sim 0,06$ °C, что существенно меньше требований, предъявляемых к измерению температуры (1 °C).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм комплексной обработки информации о профиле температуры позволяет обеспечить калибровку ТП в моменты выпуска БМР. Обоснование количества выпусков БМР в течение суток является предметом исследований, но не должно быть менее двух раз в сутки (в ночное и дневное время).

Недостатком предложенного алгоритма комплексной обработки информации о профиле температуры является то, что для функционирования схемы комплексной обработки информации требуется, чтобы измерители температуры работали в штатном режиме. В случае аномальных режимов работы ТП или АСРЗ данная схема фактически становится неработоспособной, т. к. отсутствуют механизмы контроля достоверности измеренных значений профиля температуры. Выходом из этой ситуации может быть использование штатных средств контроля работоспособности измерителей и (или) использование различных методов контроля целостности метеорологической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черная О.О. Авиаметеообеспечение и право. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. 336 с.
2. Миронов М.А. Марковская теория оптимального оценивания случайных процессов: учебное пособие. М.: ГосНИИ АС, 2013. 194 с.
3. Ярлыков М.С., Миронов М.А. Марковская теория оценивания случайных процессов. М.: Радио и связь, 1993. 464 с.

4. **Кадыгров Е.Н.** Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосферы и океана. 2009. Том 22, № 7. С. 697–704.
5. **Болелов Э.А.** Комплексная обработка метеоинформации в аэродромных мобильных комплексах метеолокации и зондирования атмосферы / Э.А. Болелов, Ю.Н. Кораблев, Н.А. Баранов, С.С. Демин, А.А.Ещенко // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 20. С. 82–92.
6. **Решетов В.Д.** Изменчивость метеорологических элементов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 215 с.
7. **Борисенко М.М.** Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы // Труды ГГО. 1974. Вып. 320. 205 с.
8. **Заварина М.В.** Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 164 с.
9. **Мешков А.В.** Основы авиационной метеорологии: курс лекций. М.: АБН аэро, 2012. 96 с.
10. **Селезнев В.П.** Метеорологическое обеспечение полетов. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. 190 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Болелов Эдуард Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, e.bolelov@mstuca.aero.

INCREASE SUCCESS RATE OF WEATHER FORECASTS FOR THE AIRFIELD BY INTEGRATION OF MEASUREMENTS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE ATMOSPHERE

Eduard A. Bolelov¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Accuracy of aviation weather forecasts is one of the main indicators characterizing the quality of meteorological support of flights. A significant influence of the quality of meteorological support on flight safety and regularity is confirmed by the results of the annual tests conducted by the Federal Agency for Air Transport of Russia and "Aviamettelecom of Roshydromet". Currently, the quality of meteorological support of flights is still at a low level compared to countries that are recognized leaders in the aviation industry. To develop high-quality weather forecasts for the airfield weather service requires a large amount of information, which is based on the data of meteorological measurements and observations obtained by aerodrome meteorological systems. The lack of reliable information about the value of meteorological parameters of the atmosphere does not allow the weather man to form a qualitative weather forecast, so there are cases when the weather forecaster of the airfield weather service gives a reinsurance forecast. At the same time modern airfield meteorological systems have sufficiently advanced systems and devices for measuring the parameters of the atmosphere. The full use of all the advantages of these systems for the development of high-quality weather forecasts and, therefore, to improve their accuracy can be achieved through integrated processing of the meteorological information received. The most important characteristic of the atmosphere is the air temperature at aircraft flying altitudes. Reliable knowledge of the temperature profile largely determines the justification of weather forecasts and forecasts of dangerous weather events for aviation. The article considers, as an example, the algorithm of complex processing of information about the temperature profile in the aerodrome area, the structural scheme of the algorithm is obtained and the results of modeling the temperature profile and its complex evaluation are presented.

Key words: meteorological support of flights, flight safety, complex information processing, weather forecast, temperature profile, temperature profiler.

REFERENCES

1. **Chernaya, O.O.** (2016). *Aviameteoobespecheniye i pravo* [Aircraft meteorological support and law]. Moscow: Izdatelsko-torgovaya korporatsiya “Dashkov i K”, 336 p. (in Russian)
2. **Mironov, M.A.** (2013). *Markovskaya teoriya optimalnogo otsenivaniya sluchaynykh protsessov: Uchebnoe posobie* [Markov theory of optimal estimation of random processes: Training manual]. Moscow: GosNII AS, 194 p. (in Russian)
3. **Yarlykov, M.S. and Mironov, M.A.** (1993). *Markovskaya teoriya otsenivaniya sluchaynykh protsessov* [Markov theory of estimating random processes]. Moscow: Radio i svyaz, 464 p. (in Russian)
4. **Kadygrov, E.N.** (2009). *Microwave radiometry of atmospheric boundary layer: method, equipment, and applications*. Atmospheric and Oceanic Optics, vol. 22, no. 7, pp. 697–704.
5. **Bolelov, E.A., Korablev, Yu.N., Baranov, N.A., Demin, S.S. and Yeshchenko, A.A.** (2018). *Integrated processing of meteorological data in mobile airfield complexes of meteorological and sounding of the atmosphere*. Nauchnyy vestnik Gos NII GA [Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation], no. 20, pp. 82–92. (in Russian)
6. **Reshetov, V.D.** (1973). *Izmenchivost meteorologicheskikh elementov v atmosfere* [Variability of meteorological elements in the atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 215 p. (in Russian)
7. **Borisenko, M.M.** (1974). *Vertikalnyye profily vetra i temperatury v nizhnikh sloyakh atmosfery* [Vertical profiles of wind and temperature in the lower atmosphere]. Trudy Glavnoy Geofizicheskoy Observatorii im. A.I. Voeykova [Proceedings of the main geophysical observatory], iss. 320, 205 p. (in Russian)
8. **Zavarina, M.V.** (1971). *Raschetnyye skorosti vetra na vysotakh nizhnego sloya atmosfery* [Estimated wind speeds at the lower atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 164 p. (in Russian)
9. **Meshkov, A.V.** (2012). *Osnovy aviatsionnoy meteorologii* [Fundamentals of aviation meteorology]. Kurs lektsiy [Course of lectures]. Moscow: ABN aero, 96 p. (in Russian)
10. **Seleznev, V.P.** (2018). *Meteorologicheskoye obespecheniye poletov* [Meteorological support of flights]. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 190 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Eduard A. Bolelov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Air Transport Radio-Electronic Equipment Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, e.bolelov@mstuca.aero.

Поступила в редакцию
Принята в печать

05.06.2019
24.09.2019

Received
Accepted for publication

05.06.2019
24.09.2019