



УДК 551.5:001.891.57
ГРНТИ 37.21.77

ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО РАЙОНУ ПОЛЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

*А.Н. МАСЛОБОЙЩИКОВ, кандидат географических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ю.В. ШИПКО, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Представлен байесовский подход к оценке метеорологических условий по району полетов при наличии ограниченной информации. Проведенный вычисленный эксперимент получения и обработки информации о метеорологических условиях по сообщению экипажа воздушного разведчика погоды показывает, что для района полетов с малой повторяемостью опасных явлений погоды качественные сообщения значительно повышают уточненную вероятность определенного состояния погоды.

Ключевые слова: байесовский подход; фаза погоды; условная вероятность.

ESTIMATION OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE FLIGHTS AREA USING A PROBABILISTIC APPROACH

*A.N. MASLOBOJSHHIKOV, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
YU.V. SHIPKO, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The Bayesian approach to the estimation of meteorological conditions on the flights area in the presence of limited information is presented. Carried out the calculated experiment of obtaining and processing of information on weather conditions, according to the crew of the air reconnaissance weather shows that for district flight with a low frequency of severe weather occurrence, the quality of the message significantly increases the updated probability of a particular weather condition.

Keywords: bayesian approach; weather phase; conditional probability.

Введение. При организации полетов государственной авиации необходимо знать и постоянно учитывать метеорологическую обстановку в районе полетов. Данное требование основано на естественном процессе постоянного изменения погодных условий и необходимости получения объективных метеорологических данных от различных источников информации [1].

На практике процесс получения данных зависит от большого количества факторов: физико-географических условий района полетов; освещенности района в метеорологическом отношении; применяемых методов и средств получения метеорологической информации; оперативной, воздушной, тактической обстановки и т. п. Например, сведения об опасных метеорологических явлениях погоды (ОЯП) или ограничения по метеорологическим условиям являются важной и необходимой информацией при организации полетов и оказывают значительное влияние на их безопасность.

Метеорологическая информация должна быть оперативной, объективной и определять не только условия по району полетов, но и учитывать требования авиационных задач [2]. Метеорологическое обеспечение авиации осложняется при выполнении боевых и специальных задач, в условиях с ограниченным информационным ресурсом.



Метеорологическая информация по району полетов поступает в метеорологические подразделения от различных источников: сообщения от экипажа воздушного разведчика погоды; данные об облачности от радиолокационных станций; данные с метеорологических станций и др. Информация по ограничениям, связанным с метеорологическими условиями, указывается в виде метеорологических и климатических сведений, вероятностных характеристик и т. п. При этом любой источник информации, как правило, обладает своими особенностями, которые также требуют постоянного учета.

Например, каждый экипаж воздушного разведчика погоды имеет определенный летный опыт, допущен к выполнению разведки и владеет ее методикой. Кроме этого, воздушное судно при проведении воздушной разведки погоды может быть оснащено специальным оборудованием, позволяющим проводить инструментальные измерения требуемых метеорологических величин. Чем выше уровень подготовки экипажа воздушного разведчика погоды, чем совершеннее специальное оборудование, тем большего доверия заслуживает сообщение воздушного разведчика погоды о сложившейся метеорологической обстановке. На практике это позволяет создать объективное представление о сложившейся метеорологической обстановке и принять обоснованные управленческие решения при оперативных действиях авиационного потребителя.

Цель работы – повышение эффективности управления метеорологическим обеспечением государственной авиации на основе использования байесовского подхода для оценки метеорологических условий по району полетов.

Формулировка и решение задачи. Байесовский подход теории вероятностей [3] основан на принципе максимального использования имеющейся априорной информации при непрерывном уточнении получаемых данных об исследуемом процессе или явлении.

Рассмотрим процесс получения и обработки информации о метеорологических условиях в районе полетов на примере сообщений экипажей воздушной разведки погоды. Представим некоторый район полетов как некоторую физическую систему, которая может находиться в одном из двух различных состояний (фазе погоды): Φ и $\bar{\Phi}$, где Φ – наличие в районе ОЯП; $\bar{\Phi}$ – отсутствие в районе ОЯП. При этом для определенного момента времени они образуют полную группу событий, т. е. если каждое событие происходит со своей вероятностью, то $P_{\Phi} + P_{\bar{\Phi}} = 1$.

Условимся, что каждому событию соответствует свой диапазон значений метеорологических величин y_i ($i = 1, 2, \dots, m$):

для Φ : $y_1 \in [d_{1\Phi}], y_2 \in [d_{2\Phi}], \dots, y_m \in [d_{m\Phi}]$;

для $\bar{\Phi}$: $y_1 \in [d_{1\bar{\Phi}}], y_2 \in [d_{2\bar{\Phi}}], \dots, y_m \in [d_{m\bar{\Phi}}]$.

Пусть известны так называемые предварительные (априорные) вероятности событий $P_0(\Phi)$, $P_0(\bar{\Phi})$, $P_0(\Phi) + P_0(\bar{\Phi}) = 1$ (которые, например, могут быть определены из климатических характеристик района полетов), в отличие от окончательных (апостериорных), которые будут получены в результате проведения воздушной разведки погоды.

Воздушный разведчик погоды посылается для выяснения в каком из возможных состояний находится система в данном районе. При этом разведчик может доставить о состоянии системы какое-то сообщение \tilde{x} .

Обозначим через \tilde{x}_{Φ} сообщение о том, что система находится в состоянии Φ , $\tilde{x}_{\bar{\Phi}}$ – сообщение о том, что система находится в состоянии $\bar{\Phi}$, \tilde{x}_0 – отсутствие информации о состоянии погоды по какой-либо причине.

Формализация задачи обработки метеорологических данных заключается в следующем: состояние системы определяется совокупностью сообщений (в общем случае разноречивых), поэтому требуется оценить вероятные состояния системы после проведенной воздушной разведки погоды.



Вводятся характеристики «достоверности» сообщений разведки, например, при состоянии системы Φ имеют место условные вероятности:

$P(\tilde{x}_\phi / \Phi)$ – вероятность того, что разведчик принесет сообщение \tilde{x}_ϕ ;

$P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \Phi)$ – вероятность того, что разведчик принесет сообщение $\tilde{x}_{\bar{\phi}}$;

$P(\tilde{x}_0 / \Phi)$ – вероятность того, что разведчик не доставит сообщение.

При этом имеет место равенство $P(\tilde{x}_\phi / \Phi) + P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \Phi) + P(\tilde{x}_0 / \Phi) = 1$.

Аналогичные вероятности для условия, что система находится в состоянии $\bar{\Phi}$, обозначим соответственно $P(\tilde{x}_\phi / \bar{\Phi})$, $P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \bar{\Phi})$, $P(\tilde{x}_0 / \bar{\Phi})$, при этом $P(\tilde{x}_\phi / \bar{\Phi}) + P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \bar{\Phi}) + P(\tilde{x}_0 / \bar{\Phi}) = 1$.

Обозначим вероятности, которые будут получены в результате проведения воздушной разведки погоды через $P_p(\Phi / \tilde{x})$, $P_p(\bar{\Phi} / \tilde{x})$, которые представляют собой условные вероятности состояний Φ и $\bar{\Phi}$ (при условии, что разведка доставила совокупность сообщений \tilde{x}).

Вероятность состояния метеорологических условий по району полетов с учетом результатов воздушной разведки погоды позволяет определить формула Байеса [3], дающая возможность уточнить вероятность некоторой гипотезы с учетом поступивших новых сведений. По формуле Байеса апостериорные вероятности состояния системы Φ соответственно равны:

$$P_p(\Phi / \tilde{x}_\phi) = \frac{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_\phi / \Phi)}{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_\phi / \Phi) + P_0(\bar{\Phi})P(\tilde{x}_\phi / \bar{\Phi})}, \text{ при сообщении } \tilde{x}_\phi; \quad (1)$$

$$P_p(\Phi / \tilde{x}_{\bar{\phi}}) = \frac{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \Phi)}{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \Phi) + P_0(\bar{\Phi})P(\tilde{x}_{\bar{\phi}} / \bar{\Phi})}, \text{ при сообщении } \tilde{x}_{\bar{\phi}}; \quad (2)$$

$$P_p(\Phi / \tilde{x}_0) = \frac{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_0 / \Phi)}{P_0(\Phi)P(\tilde{x}_0 / \Phi) + P_0(\bar{\Phi})P(\tilde{x}_0 / \bar{\Phi})}, \text{ при сообщении } \tilde{x}_0. \quad (3)$$

Очевидно, для состояния $\bar{\Phi}$ соответствующие уточненные вероятности (с учетом разведки) определяются как $P_p(\bar{\Phi} / \tilde{x}) = 1 - P_p(\Phi / \tilde{x})$.

Рассмотренные условные вероятности при использовании указанного подхода имеют определенные особенности. Во-первых, они находятся в зависимости от физико-географических условий района полетов, от сезонов года и т.д. Во-вторых, при прочих равных условиях качество сообщений разведки погоды зависит от уровня подготовки экипажей воздушных разведчиков погоды, от оснащения воздушного судна и др.

Для оценки вероятностей метеорологических условий по району полетов с учетом сообщений воздушной разведки погоды в работе был проведен вычислительный эксперимент с варьированием условных вероятностей.

При моделировании климатические условия района полетов (зависящие от физико-географического положения и сезона года) представлены в следующих условных градациях, определяющих возможные распределения исследуемых вероятностей ОЯП.

1) «Малая» вероятность: $P_0(\Phi) = 0,05$, $P_0(\bar{\Phi}) = 0,95$ или $P_0(\Phi) = 0,1$, $P_0(\bar{\Phi}) = 0,9$.

2) Вероятности состояний системы Φ и $\bar{\Phi}$ примерно одинаковы (два варианта): $P_0(\Phi) = 0,4$, $P_0(\bar{\Phi}) = 0,6$ и $P_0(\Phi) = 0,6$, $P_0(\bar{\Phi}) = 0,4$.



3) «Высокая» вероятность (два варианта):

$$P_0(\Phi)=0,8, P_0(\bar{\Phi})=0,2 \text{ и } P_0(\Phi)=0,9, P_0(\bar{\Phi})=0,1.$$

Качество сообщений экипажа воздушного разведчика погоды характеризовалось следующими (условными) данными:

а) «малая» вероятность распознавания ОЯП:

$$P(\tilde{x}_\Phi / \Phi)=0,1; P(\tilde{x}_{\bar{\Phi}} / \Phi)=0,1;$$

б) «средняя» вероятность распознавания ОЯП:

$$P(\tilde{x}_\Phi / \Phi)=0,45; P(\tilde{x}_{\bar{\Phi}} / \Phi)=0,45;$$

в) «хорошая» вероятность распознавания ОЯП:

$$P(\tilde{x}_\Phi / \Phi)=0,8; P(\tilde{x}_{\bar{\Phi}} / \Phi)=0,1;$$

г) «высокая» вероятность распознавания ОЯП:

$$P(\tilde{x}_\Phi / \Phi)=0,9; P(\tilde{x}_{\bar{\Phi}} / \Phi)=0,05;$$

На рисунке 1 представлены результаты вычислительного эксперимента: апостериорные вероятности $P_p(\Phi / \tilde{x})$ состояния Φ в зависимости от качества сообщения экипажа воздушного разведчика погоды и предварительных вероятностей состояния.

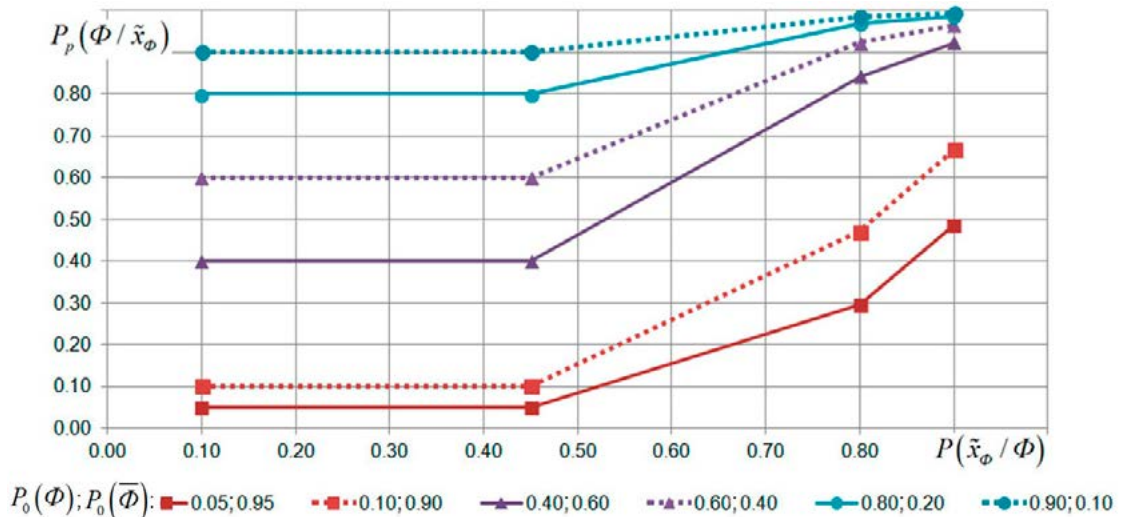


Рисунок 1 – Зависимость уточненных вероятностей $P_p(\Phi / \tilde{x})$ ОЯП состояния системы Φ от качества сообщения экипажа воздушного разведчика погоды и предварительных вероятностей состояний

Проведена оценка эффективности использования сообщения воздушной разведки погоды в сравнении с климатическим прогнозом в виде отношения вероятностей $K_\varepsilon = P_p(\Phi / \tilde{x}) / P_0(\Phi)$, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность сообщения воздушной разведки погоды

$P_0(\Phi)$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	0,9	0,9
$P(\tilde{x}_\Phi / \Phi)$	0,1	0,45	0,8	0,9	0,1	0,45	0,8	0,9	0,1	0,45	0,8	0,9
K_ε	1,0	1,0	5,9	9,7	1,0	1,0	2,1	2,3	1,0	1,0	1,1	1,1

Как следует из данных таблицы 1, для района (сезона) с малой повторяемостью ОЯП (например, $P_0(\Phi) = 0,05$) качественные сообщения воздушной разведки погоды (с условной веро-



ятностью $P(\tilde{x}_\phi / \Phi) = 0,9$) повышают уточненную вероятность состояния погоды Φ почти в десять раз.

Заключение. Байесовский подход к обработке информации о метеорологических условиях в районе полетов по сообщениям экипажа воздушного разведчика погоды позволяет на практике принимать обоснованные управленческие решения в условиях уточнения получаемых данных о сложившейся метеорологической обстановке.

Данный подход может найти приложение в практике метеорологических подразделений при разработке предложений авиационному командиру в условиях метеорологической неопределенности. При этом оценка априорных вероятностей предварительно производится метеорологом на основе климатических данных по району полетов (в первом приближении). Условные вероятности разведчиков погоды могут определяться с использованием экспертного опроса (метода экспертных оценок). В период подготовки к полетам в метеоподразделении с учетом данных воздушной обстановки производится моделирование ситуаций. Результаты предоставляются органам военного управления в вероятностной или категорированной (преобразованной) форме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные авиационные правила производства полетов государственной авиации. М.: Воениздат, 2005. 192 с.
2. Наставление по метеорологическому обеспечению авиации Вооруженных Сил Российской Федерации. М.: Воениздат, 2014. 86 с.
3. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. 365 с.

REFERENCES

1. Federal'nye aviatsionnye pravila proizvodstva poletov gosudarstvennoj aviatsii. M.: Voenizdat, 2005. 192 p.
2. Nastavlenie po meteorologicheskomu obespecheniyu aviatsii Vooruzhennykh Sil Rossijskoj Federatsii. M.: Voenizdat, 2014. 86 p.
3. Gmurman V.S. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. M.: Vysshaya shkola, 1972. 365 p.

© Маслобойщиков А.Н., Шипко Ю.В., 2018

Маслобойщиков Анатолий Николаевич, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры гидрометеорологического обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, masan-29@mail.ru

Шипко Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, yshipko@mail.ru