

Методика восстановления поля ветра для метеорологического обеспечения беспилотной авиации при решении задач специального мониторинга

А.Б. Мартыашкин, email: martsash@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж)

***Аннотация.** В работе предложена методика восстановления поля ветра по спутниковой информации для метеорологического обеспечения беспилотной авиации в условиях дефицита данных наземных наблюдений*

***Ключевые слова:** Беспилотная авиация, поле ветра, спутниковая информация*

Введение

Большая роль в современных исследованиях земной атмосферы отводится метеорологическим искусственным спутникам Земли. Возможность осуществления при их помощи глобальных наблюдений открывает огромные перспективы получения разнообразной информации о состоянии атмосферы и земной поверхности, необходимой для решения широкого ряда научных и прикладных задач.

1. Влияние метеорологических условий на беспилотные летательные аппараты

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) включает в себя систему по выполнению сбора разведывательных данных в режиме реального времени и корректирования артиллерийского огня. Система состоит из двух подсистем наземной станции управления и БПЛА [1].

Все подсистемы БПЛА являются отказоустойчивыми и полностью обеспечены резервными средствами. То есть БПЛА является полностью автономной, безопасной и высоконадежной в эксплуатации системой. Однако метеорологические условия оказывают значительное влияние на полет БПЛА, полноту и возможность полетного задания. Особенное влияние оказывает температурный и ветровой режим атмосферы, наличие облаков, осадков и опасных явлений погоды. Поэтому, руководителю полетов перед вылетом необходимо правильно оценить погодные условия на всем протяжении маршрута, в районе выполнения задания, на взлетно-посадочной площадке (полосе). Параметры ветра

влияют на дальность, радиус действия продолжительность полета БПЛА.

Известно также, что большое число летных происшествий происходит при взлете и посадке БПЛА в условиях значений попутной, встречной и боковой составляющих ветра близким к критическим или превышающих их. Особенно опасны большие сдвиги ветра, которые могут привести к резкому изменению траектории полета, выходу на закритические углы атаки, сваливанию летательного аппарата и столкновению с землей. Максимальная скорость ветра для большинства современных и перспективных БПЛА составляет 15 м/с, при скорости ветра 30 м/с и более однозначно происходит потеря БПЛА.

Исходя из вышесказанного, учет параметров ветра при метеорологическом обеспечении полетов БПЛА различных типов просто необходим. Особенную важность этот вопрос приобретает при выполнении специальных задач над территориями с отсутствием данных фактических наземных метеорологических наблюдений, в том числе и за параметрами ветра. Для решения этой проблемы предлагается использовать данные с метеорологических спутников.

Целью настоящей работы является разработка методики восстановления поля ветра для метеорологического обеспечения беспилотной авиации при решении задач специального мониторинга в условиях дефицита или отсутствия данных наземных метеорологических наблюдений

2. Методика восстановления поля ветра для метеорологического обеспечения беспилотной авиации при решении задач специального мониторинга

Рассмотрим движение единичного объема воздуха. Под действием силы барического градиента воздушная частица получает ускорение и приобретает скорость в направлении от высокого давления к низкому. Как только возникло движение, начинает действовать отклоняющая сила вращения Земли, направленная под прямым углом вправо в северном полушарии. Увеличение и поворот скорости будут происходить до тех пор, пока отклоняющая сила не станет уравновешивать барический градиент. Это будет иметь место в том случае, когда скорость движения частицы направлена по касательной к изобаре. Это справедливо для каждой точки воздушной массы в циклоне. Поэтому в циклоне частицы воздуха перемещаются вдоль изобар против часовой стрелки, оставляя низкое давление слева. Это установившееся горизонтальное движение

вдоль изобар и носит название градиентного ветра, который в центре циклона обращается в нуль, а с удалением от центра при сохранении густоты изобар скорость градиентного ветра возрастает [2].

В приземном слое атмосферы сила трения отклоняет ветер от изобары в среднем на $35^\circ - 45^\circ$ над сушей и на 15° над морем. То есть, направление движение воздуха в циклоне сходится к центру и может быть описана логарифмической, гиперболической или архимедовой спиралью с различными углами закрученности. Циклоны внетропических широт, имеющие траектории движения с запада на восток наилучшим образом описываются логарифмическими спиралями. При этом увеличение угла закрученности спирали характеризует степень развития циклона. То есть, каждой стадии развития циклона можно сопоставить определенные градации углов закрученности логарифмических спиралей.

В процессе исследований с применением процедуры кластерного анализа выделены градации углов закрученности логарифмической спирали соответствующие различным стадиям развития циклонов.

Распределение градиента давления, которое определяет поле ветра в области циклона очень неоднородно. При приближении и прохождении атмосферного фронта вид и форма барической ложбины резко меняется, что приводит к резким изменениям направления и скорости ветра. А при наличии кучево-дождевой облачности, могут возникать порывы ветра до $20 - 30$ м/с и более. Для учета особенностей барического поля в циклоне предложено разбить область циклона линиями тока идущими из центра, на восемь секторов (через 45°), которые изображены на рисунке.

На следующем этапе исследования выявлено три класса с некоторым сходством особенностей распределения ветра. Первый класс включает в себя секторы 1, 2 и 3, что соответствует тыловой части циклона. Второй класс – секторы 4, 5, 6, что соответствует северной периферии циклона. Третий класс – секторы 7, 8 соответствуют передней части ложбины с атмосферным фронтом.

С использованием регрессионного анализа, выявлена связь скорости ветра в любой точке циклона от удаления этой точки до центра атмосферного вихря для каждого класса в отдельности. Для учета различных размеров облачных вихрей предложено использовать величину относительного расстояния (R) до точки восстановления скорости ветра, который равен отношению расстояния от точки, в которой ведется расчет ветра до центра циклона к радиусу циклона.

Для выявления тесноты и вида статистической зависимости вычислены коэффициенты корреляции и корреляционные отношения.

Значения корреляционных отношений значительно превышают коэффициенты корреляции и лежат в диапазоне 0,52 – 0,83, что означает наличие довольно тесной нелинейной связи между рассматриваемыми переменными.

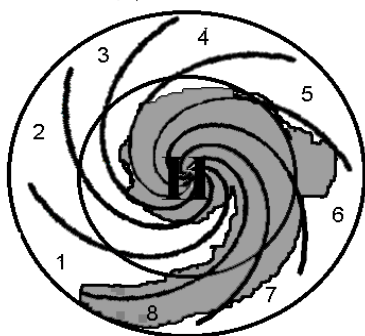


Рисунок. Схема разбиения циклона на сектора

Для получения конкретного вида зависимости методом наименьших квадратов построены полиномиальные уравнения регрессии от первой до пятой степени. Проведена оценка качества каждого уравнения, отобраны наилучшие, которые и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уравнения регрессии для различных стадий развития циклонов

| Первая и вторая (начальная) стадия развития | | Третья (максимального развития) стадия | | Четвертая стадия (заполнение циклона) | |
|---|-------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Класс | Уравнения регрессии | Класс | Уравнения регрессии | Класс | Уравнения регрессии |
| 1 | $V = - 15,2R^2 + 4,8R + 1,7$ | 1 | $V = - 13,1R^2 + 23,6R + 1,3$ | 1 | $V = - 8,5R^2 + 12,8R + 2,1$ |
| 2 | $V = - 8,1R^2 + 16,7R + 2,1$ | 2 | $V = - 17,9R^2 + 26,7R + 0,6$ | 2 | $V = - 9,5R^2 + 15,3R + 2,9$ |
| 3 | $V = - 18,2R^2 + 33,7R + 1,8$ | 3 | $V = - 16,9R^2 + 28,6R + 1,3$ | 3 | $V = - 9,3R^2 + 10,1R + 2,4$ |

Среднеквадратическая ошибка восстановления скорости ветра составляет 2–5 м/с.

Для восстановления поля направления ветра, на основе анализа архивной выборки, выявлены наиболее вероятные значения отклонения направления ветра от линии тока (логарифмической спирали) для каждого сектора ($\Delta\varphi$). Результаты сведены в таблицу 2. Направление ветра в пункте восстановления вычисляется по формуле

$$d = g - \alpha + \Delta\varphi ,$$

где g – азимутальное направление от центра циклона на точку восстановления направления ветра; α – угол закрученности логарифмической спирали; $\Delta\varphi$ – наиболее вероятное (вероятность не менее 0,85) приращение направления ветра для каждого сектора.

Таблица 2

Отклонения направления ветра от линий тока в различных секторах

| Стадия развития циклона | Номер сектора | | | | | | | |
|---|---------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Первая и вторая (начальная) стадия развития | 50 | 20 | 0 | -10 | -10 | 0 | 10 | -20 |
| Третья (максимального развития) стадия | 40 | 20 | 10 | 0 | -10 | 10 | 10 | -20 |
| Четвертая стадия (заполнение циклона) | 30 | 10 | -10 | 10 | 0 | -10 | -10 | -10 |

Заключение

Таким образом, в настоящей работе представлена методика восстановления поля ветра для метеорологического обеспечения беспилотной авиации при решении задач специального мониторинга в условиях дефицита или отсутствия данных наземных метеорологических наблюдений.

Список литературы

1. Руководство по летной эксплуатации. Система БПЛА. – 428 с.
2. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 459 с.