

КОНФЕРЕНЦИЯ D

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ

ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ОБЛЕДЕНИЮ САМОЛЕТА ПРИ ВЗЛЕТЕ ИЛИ ПОСАДКЕ

Г. И. Ситников, М. В. Терентьева, А. В. Старченко

Томский государственный университет

e-mail: SGI93@mail.ru, mariya-terenteva@mail.ru, starch@math.tsu.ru

Ключевые слова: метеорологическая модель, численный прогноз, обледенение самолета

Аннотация: В работе представлены результаты прогноза метеоусловий, приводящих к обледенению воздушных судов в атмосферном пограничном слое, полученные с использованием одномерной метеорологической модели ТГУ и методики Годске, основанной на расчете температуры насыщения надо льдом и последующей проверке определенных условий.

К числу опасных явлений погоды, которые, в первую очередь, необходимо контролировать и прогнозировать в интересах авиации, относят конвективные явления, облачность, сильные ветра, турбулентность, явления, приводящие к ограничению видимости, грозовое электричество. Среди этих явлений обледенение занимает особое место, которое представляет собой отложение льда в полете на различных частях летательного судна. Главная опасность обледенения заключается в том, что оно нарушает аэродинамические свойства воздушного судна, работу приборов и двигателей, связь, ухудшает видимость, может вызывать опасные для прочности вибрации. Например, обледенение может нарушать обтекание крыла самолета, а это приводит к преждевременному срыву потока, потере крылом подъемной силы и самолет теряет свои аэродинамические качества, что может привести к катастрофе. В большинстве самолетов имеются антиобледенительные устройства и в аэропортах предусмотрено применение противообледенительных жидкостей, но борьба с этим явлением затратна, отнимает значительные материальные и людские ресурсы, поэтому прогноз обледенения совершенно необходим для обеспечения безопасности полета [1, 2].

В предлагаемой работе данные для прогноза метеоусловий в атмосферном пограничном слое рассчитывались на основе одномерной метеорологической модели ТГУ[3].

В данной модели применялись следующие допущения:

1. Предполагается, что атмосферный пограничный слой однороден, то есть все осредненные характеристики зависят только от времени и вертикальной координаты z . Такое допущение для атмосферного пограничного слоя справедливо при небольших (до 50 км) линейных масштабах рассматриваемой области, а так же при условии слабой термической и орографической неоднородности поверхности, шероховатость которой меняется незначительно, т.е. область не включает морское побережье, горные массивы, глубокие ущелья.

2. В силу однородности АПС вариации плотности учитываются только при представлении влияния силы плавучести на турбулентную структуру. Такое допущение справедливо, если температура в рассматриваемой расчётной области мало отклоняется от некоторого характерного среднего значения.

3. Процессы молекулярной диффузии незначительны по сравнению с турбулентным обменом. В приземном слое атмосферы масштаб турбулентных пульсаций достигает сотен метров, что значительно превосходит масштаб теплового движения молекул.

Модель включает современную схему микрофизики влаги, оперирующую с тремя видами атмосферной влаги – водяным паром, облачной и дождевой влагой. Учитываются процессы аккреции (захват облачной влаги дождевой), автоконверсии (слипания облачных капель с образованием дождевых), конденсации и испарения. Также включен радиационный теплообмен, который играет одну из основных ролей в формировании атмосферных процессов. Для моделирования радиационного переноса тепла как при ясном небе, так и при наличии облачности используется подход, основанный на делении всего спектра излучения на коротковолновую и длинноволновую составляющие. Основные уравнения модели [4]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle uw \rangle + f \cdot (V - V_g); \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle vw \rangle - f \cdot (U - U_g); \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle \theta w \rangle - \frac{L_w \theta}{c_p T} \Phi_v + Q_{rad}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle q'w \rangle + \Phi_v + \Phi_c; \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_r}{\partial t} = -\Phi_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial (V_r q_r)}{\partial z}; \quad (5)$$

Обледенение самолетов возникает из-за различных факторов, которые определяются как метеорологическими условиями, как и конструкцией самолета, поэтому теоретическое описание данного явления есть сложная задача. Обледенение возможно при температурах от +2°C до -50°C при высокой влажности, в облаках, тумане и осадках. Как показывает статистика, наибольшее количество случаев обледенения самолетов происходит при температурах от 0°C до -20°C и в особенности от 0°C до -10°C. Такой диапазон температур характерен для территории Российской Федерации и особенно для ее Арктического региона. В практических расчетах для прогноза обледенения используются полуэмпирические методы, такие как диаграммы, простые аналитические формулы. Например, в диапазоне высот от 0 до 2 км обледенение возможно, если температура на этих высотах удовлетворяет условию[1] (формула Годске):

$$T \leq -8 \cdot (T - T_d) \quad (6)$$

где T - температура на высоте z , T_d - температура точки росы на высоте z .

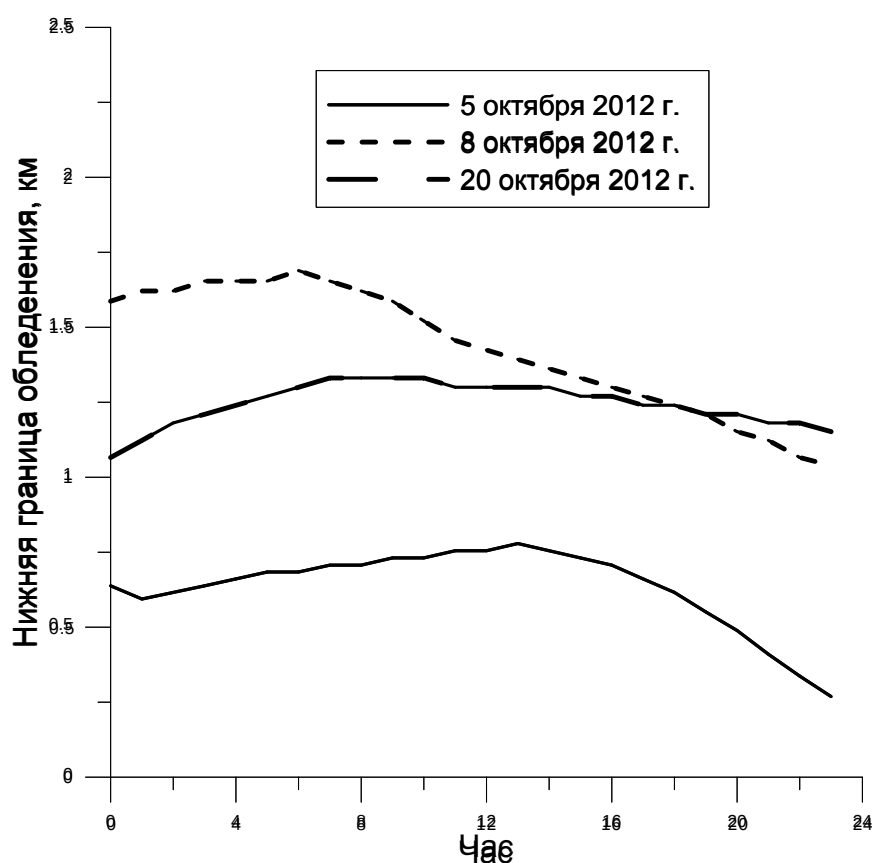
Точка росы – это температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы содержащийся в нём пар достиг состояния насыщения и начал конденсироваться.

В работе точка росы рассчитывалась по следующей формуле [5]:

$$T_{dp} = \frac{c \cdot \chi_m(T, RH)}{b - \chi_m(T, RH)}, \quad \chi_m(T, RH) = \ln(RH) + \frac{bT}{c + T}$$

где T - температура воздуха в градусах Цельсия, RH - относительная влажность в объёмных долях, $b = 17.62$, $c = 243.12$.

Оперативной службой аэропорта г. Томск Богашево (56°23'18" с.ш., 85°12'34" в.д.) фиксируются даты, в которые было установлено обледенение самолетов в районе аэропорта. Для следующих исторических дат (5.10.2012, 8.10.2012, 20.10.2012) были выполнены расчеты возможных зон обледенения летательных аппаратов в атмосферном пограничном слое.



Прогноз изменения нижней границы области возможного обледенения самолета над аэропортом Богашево в течение суток

На рисунке представлены графики прогноза суточного изменения нижней границы зоны возможного обледенения самолетов над аэропортом Богашево. Для этих дат метеослужба аэропорта установила слабое обледенение воздушных судов в атмосферном пограничном слое.

Таким образом, на основе одномерной метеорологической модели атмосферного пограничного слоя, которая учитывает микрофизику влагу и явление радиационного переноса тепла, произведены расчеты зон возможного обледенения воздушных судов в атмосферном пограничном слое в районе аэропорта Богашево (город Томск). Как следует из результатов вычислительного эксперимента, полученные данные удовлетворительно согласуются с реальными данными - почти на все рассчитанные даты результаты показывают вероятность обледенения. Для более детального и точного прогноза планируется применение различных методик расчета областей возможного обледенения воздушных судов.

Работа выполнена по Государственному Заданию министерства образования и науки РФ, № 5.628.2014/К.

Литература

1. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А. Метод прогноза зон возможного обледенения воздушных судов. Методический кабинет Гидрометцентра России.
2. Мазин И. П., Физические основы обледенения самолетов, М., 1957
3. Терентьева М.В., Ситников Г.И., Старченко А.В. Одномерная модель пограничного слоя для прогнозирования атмосферных процессов вблизи аэропорта // Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». – 2014, Томск
4. Terenteva M.V., Sitnikov G.I., Starchenko A.V. Homogeneous boundary layer model for forecasting of atmospheric processes nearby airport // Published in Proceedings Volume 9292: 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. - December 2014