

КОНФЕРЕНЦИЯ D

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ TSU NM3 ДЛЯ ПРОГНОЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

М.А. Волкова, Н.К. Барашкова, А.В. Старченко, Л.И. Кижнер, И.В. Кужевская, А.А. Барт

Национальный исследовательский Томский государственный университет

mv2101@mail.ru, nkbar@sibmail.com, starch@math.tsu.ru, kdm@mail.tsu.ru, ivk@ggf.tsu.ru,
bart@math.tsu.ru

Ключевые слова: обледенение, численная прогностическая модель, аэродром Томск, содержание облачной влаги
Приводятся результаты использования мезомасштабной метеорологической модели TSU NM3 Томского государственного университета для прогноза интенсивности обледенения воздушных судов. Основным физическим предиктором является содержание облачной влаги в пограничном слое атмосферы. Прогноз возможен с высокой пространственно-временной детализацией, соответствующей разрешающей способности модели.

Обледенение воздушных судов (ВС) – опасное для авиации явление, нарушающее безопасность и регулярность авиаперевозок. Обледенение ВС отмечается при полете в облаках, зонах осадков, в редких случаях и вне зоны облачности и осадков при отрицательной температуре воздуха. Таким образом, для прогноза обледенения ВС необходима информация об облаках, осадках и диапазоне температуры воздуха на траектории полета. Все существующие методы прогноза обледенения основаны на учете температурно-влажностных характеристик в атмосфере [1]. Наиболее часто используются значения удельной влажности (q), температуры воздуха (T), дефицита температуры точки росы ($T-T_d$) на разных высотах.

В настоящее время в практике авиационного обслуживания прогноз обледенения осуществляется методами Годске, NCEP и Гидрометцентра России.

Метод Годске основан на эмпирической формуле, которая учитывает температуру воздуха T и температуру точки росы T_d в диапазоне высот от 0 до 2 км.

$$T_{н.л.} \leq -8(T - T_d), \quad (1)$$

где $T_{н.л.}$ – температура насыщения надо льдом.

Если на каком-либо уровне температура насыщения надо льдом ниже температуры окружающего воздуха, то следует ожидать обледенение. Метод NCEP также основан на эмпирических данных. Было показано, что повторяемость обледенения самолетов в зонах, где одновременно выполняются неравенства (2), (3), на порядок выше, чем вне этих зон:

$$-16^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

$$RH \geq 63\%, \quad (3)$$

где RH – относительная влажность воздуха.

Статистический метод (дискриминантный анализ) прогноза обледенения, разработанный в Гидрометцентре России [2], использует данные аэрологического зондирования атмосферы.

Например, для изобарического уровня 850 гПа рассчитывается дискриминантная функция:

$$L = 1.701 \cdot (T - T_d) - 2.046 \cdot q + 0.239 \cdot T - 1.751, \quad (4)$$

где q – удельная влажность (г/кг).

При $L < 0$ обледенение возможно в слое от 1000 до 2000 м.

В предыдущих работах авторов [3, 4] была выполнена оценка зон возможного обледенения в районе аэропорта Томск на основе использования соотношений (1–4), в которых характеристики T , T_d , RH предвычислялись с помощью мезомасштабной модели TSU NM3 на период до 40 часов. Формулировка прогноза – альтернативная: обледенение ожидается, или не ожидается.

Возможности численной прогностической модели TSU NM3, рассчитывающей, кроме температуры и характеристик влажности (T – температура воздуха, °C; Q_{air} – удельная влажность воздуха, кг/кг; T_d – температура точки росы, °C), еще и микрофизические характеристики (Q_{RAIN} – содержание дождевой влаги в атмосфере, кг/кг; Q_{CLOUD} – содержание облачной влаги в атмосфере, кг/кг), позволяют выполнить прогноз интенсивности обледенения. В середине XX века в результате физических экспериментов [5] было показано, что интенсивность пропорциональна водности облака, воздушной скорости самолета, коэффициентам захвата переохлажденных капель и намерзания и обратно пропорциональна плотности льда. Интенсивность обледенения представляется следующими градациями – слабая (0,01–0,5 мм/мин), умеренная (0,51–1,0 мм/мин), сильная (1–2,0 мм/мин) и очень сильная – более 2 мм/мин. Отметим, поскольку интенсивность зависит не только от метеорологических условий, но и от аэродинамических факторов: формы, размеров обтекаемого тела, скорости полета, то градации несколько условны. Кроме того, общее количество отложившегося льда зависит от времени полета в зоне обледенения.

В данной работе предложен прогноз интенсивности обледенения на основе эмпирической формулы (5) с использованием модельного прогноза содержания облачной влаги (Q_{CLOUD}) в пограничном слое атмосферы. Предполагалось, что отложение льда на внешней поверхности летящего самолета вызвано замерзанием сталкивающихся с ней переохлажденных водяных капель (облако, морось или дождь).

Интенсивность (количество образующегося льда в единицу времени, мм/мин) определялась для 23 расчетных периодов (всего 920 часовых прогнозов) по формуле:

$$I = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{\rho_{\text{л}}} \cdot u \omega \tilde{E} \beta \quad (5)$$

где I в мм/мин, $\rho_{\text{л}}$ – плотность льда (г/см^3), u – скорость полета (км/час), ω – водность облака (г/м^3), β – коэффициент намерзания, \tilde{E} – суммарный (интегральный) коэффициент захвата [2].

Формула упрощается для конкретных типов самолета, но при любых упрощениях основным параметром остается водность облака. Остальные величины определены приближенно: $\rho_{\text{л}}$ изменяется от 0,8 до 1,0 г/см^3 . Коэффициент β близок к 1 при температуре воздуха ниже -3 °С, с повышением температуры и существенном увеличении водности облаков он уменьшается. Величина \tilde{E} максимальна в лобовой точке самолета и уменьшается при удалении от нее, зависит также от типа самолета, его скорости, размеров капель в облаке. Величина \tilde{E} обычно колеблется в пределах 0,25–0,50. В мелкокапельных облаках, где средний радиус капель не превышает 3 мк, \tilde{E} становится меньше 0,25, в крупнокапельных облаках (радиус капель > 6 –7 мк) \tilde{E} больше 0,6.

Для модельного прогноза I приняты следующие значения величин: $\rho_{\text{л}} = 0,9$ г/м^3 ; $\tilde{E} = 0,5$; $u = 250$ км/ч. Величина скорости u выбрана с учетом того, что рассматриваемые процессы обледенения относятся к слоям атмосферы, которые самолет пересекает во время посадки на аэродром при фактической скорости 250–350 км/ч.

Пример прогноза интенсивности обледенения на один прогностический период (прогноз на 40 часов с дискретностью в 1 час, время ВСВ) за 10–11 марта 2015 г. в районе аэродрома Томск представлен на рисунке.

По вертикали указана высота уровня (м), по горизонтали – время (ч), на которые дан прогноз. Разной интенсивности соответствуют разные оттенки: чем больше интенсивность обледенения, тем насыщенность больше. Светлые области указывают на отсутствие обледенения. Область в виде прямоугольника соответствует наличию обледенения слабой интенсивности по данным бортовой погоды, которая носит эпизодический характер.

Явление обледенения ВС модель прогнозирует в слое от 100 до 2500 м. В то же время в отдельные часы на некоторых уровнях этого слоя явление не прогнозировалось. Наиболее интенсивное обледенение ВС отмечается в слое 600–800 м. Расчеты показывают, что спрогнозированная данным методом интенсивность обледенения в целом хорошо соответствует фактическим сведениям с бортов самолетов. В то же время модель дает более детальную по интенсивности картину явления: наряду со слабой прогнозировалась также умеренная и сильная интенсивность (рис. 1).

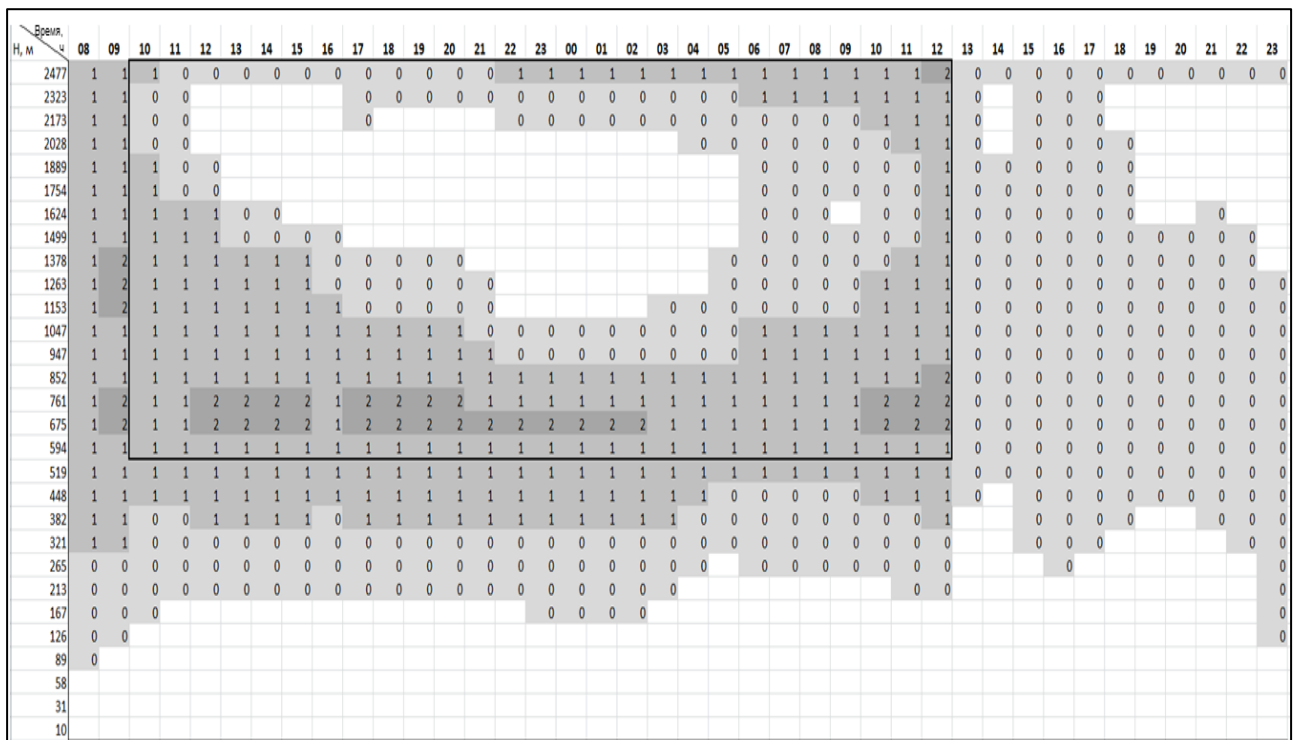


Рисунок 1 – Модельный прогноз интенсивности обледенения в пограничном слое атмосферы на 10–11 марта 2015 г. (Цифры 0, 1 и 2 – обледенение слабой, умеренной или сильной интенсивности).

Результаты представленного численного эксперимента свидетельствуют о практической возможности прогноза не только самого факта обледенения самолета, но и интенсивности явления с пространственно-временной детализацией, возможной в мезомасштабной модели TSU NM3.

Литература

1. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / Под ред. К.Г.Абрамович, А.А. Васильева Л.: Гидрометеиздат, 1985. 301 с.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 492 с.
3. *Sitnikov G.I., Starchenko A.V., Terenteva M.V., Barashkova N.K., Volkova M.A., Kizhner L.I.* Forecast of extreme weather conditions that promote aircraft icing during take-off or landing // Proc. of SPIE 2015. V. 9680. 96806T.
4. *Volkova M.A., Starchenko A.V., Kuzhevskaya I.V., Bart A.A., Kizhner L.I., Barashkova N.K.* Forecast of icing zones using possibilities of hydrodynamic simulation for the atmospheric boundary layer // Proc. of SPIE. 2016. V. 10035. 1003567. doi: 10.1117/12.2249019.
5. *Мазин И.П.* Физические основы обледенения самолетов. М.: Гидрометеиздат, 1957. 120 с.