

# Методические аспекты моделирования степени сложности погоды с учетом инверсионных слоев

Д. В. Гедзенко , e-mail: gdv555900@mail.ru ,  
С. А. Никонов

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

***Аннотация.** Наиболее важными из слагаемых, определяющих степень сложности метеорологических условий для авиации, являются дальность видимости и высота нижней границы облаков. В данной статье приведена методика прогноза метеорологических условий с учетом задерживающих слоев атмосферы.*

***Ключевые слова:** Высота нижней границы облаков, дальность видимости, степень сложности метеорологических условий*

## Введение

Инверсия температуры оказывает непосредственное влияние на формирование и эволюцию низкой слоистообразной области, образования густой дымки, тумана различных видов и других метеорологических явлений [1,2]. Несомненно, данные погодные условия могут создавать проблемы как пилотируемой, так и беспилотной авиации при решении различных задач. Исследование устойчивости.

## Модель прогноза степени сложности погоды на базе регрессионного анализа

При проведении данного исследования был использован материал АМСГ аэропорта Воронеж выборочно за 2010-2015 года. На основании физических представлений о природе механизмов изменение дальности видимости и высоты нижней границы облаков в сочетании с параметрами задерживающих слоёв был образован предварительный набор предикторов, охватывающий весь спектр влияющих факторов.

Наземные метеорологические наблюдения включают величины: количество  $N$  и высота  $H$  облачности, дальность видимости  $S$ , скорость  $F$  и направление  $D$  ветра, температура воздуха  $T$ , относительная влажность  $R$ , атмосферное давление, приведенное к уровню моря  $P$  и его трехчасовая тенденция.

Из характеристик пограничного слоя, влияющих на ход дальности видимости и высоты нижней границы облаков, в список были включены параметры задержавших слоёв: высота нижней границы инверсии  $H_{ин}$ , её мощность и интенсивность  $\Delta H_{ин}, \Delta T_{ин}$ , вертикальный температурный градиент  $\gamma$ , а также коэффициент эффективности задерживающего слоя  $\varepsilon_{ин}$ .

В качестве предикторов использовались значения дальности видимости и высоты нижней границы облаков за 7, 13 и 19 часов.

Так как повторяемость появления задерживающих слоёв в своём большинстве приходится на зимние месяцы, поэтому весь исходный материал архивной выборки включает в себя данные только за холодный период года.

Анализ корреляционных связей некоторых параметров метеорологических условий с метеорологическими величинами показал следующие результаты. Для всех рассматриваемых сроков наиболее тесная связь высоты нижней границы облаков отмечена с температурой воздуха у земли. С направлением ветра относительно высокий коэффициент корреляции с высотой нижней границы облаков имеется только за 13 часов.

Наиболее тесная связь с параметрами задерживающих слоёв наблюдается у высоты нижней границы облаков за все рассматриваемые сроки, кроме вечернего, причём это связь обратная, то есть чем меньше высота нижней границы облаков, тем большее значение имеют параметры инверсии.

Подводя итог изложенному можно сделать следующий вывод. Поскольку уточнения прогнозов погоды и доклады для принятия решения командиром осуществляется как правило в утренние часы, немаловажно то, что значение комплекса сложности летно-метеорологических условий в фиксированные сроки тесно коррелирует с начальными значениями этих величин. Благодаря этому мы можем смело использовать эти предикторы при составлении прогностических уравнений, а также для уточнения прогноза.

С учетом выявленных связей и механизмов изменения дальности видимости и высоты нижней границы облаков, исходя из практических потребностей и возможных уровней ограничения исходной информации, методом пошаговой линейной регрессии были разработаны пакеты прогностических уравнений. Рассмотрим уравнения, полученные для прогноза дальности видимости.

$$S_7' = 7939 + 0,593S_3 - 71,93R_3 + 193,52\Delta P_3 - 33,1T_3 - 1,258\Delta dd \quad (1)$$

где  $F = 82,1$  ;  $P < 0,0000$ ;  $R^2 = 0,69$  ;  $\Delta=1675$  м.

$$S_7'' = 8223 - 0,591S_3 - 81,58R_3 + 2,89\Delta dd + 48,73N + 0,25H_{ин} \quad (2)$$

где  $F = 19,27$  ;  $P < 0,0000$ ;  $R^2 = 0,47$  ;  $\Delta=1400$  м.

$$S_7''' = 1589,8 + 0,211S_3 - 41,8T_3 + 1,4H_3 - 1,3\Delta dd + 90,1\Delta P_3 \quad (3)$$

где  $F = 12,6$  ;  $P < 0,0000$ ;  $R^2 = 0,35$  ;  $\Delta=1140$  м.

$$S_7^* = 4993 + 0,25S_3 - 39,26R_3 - 45,6T_3 + 1,1H_3 + 0,412H_{ин} \quad (4)$$

где  $F = 17,0$  ;  $P < 0,0000$ ;  $R^2 = 0,41$  ;  $\Delta=1070$  м.

$$S_{13}^* = -37042 + 52,2P_3 + 0,1S_3 + 88,9H_3 + 0,8\Delta H_{ин} + 224,0\Delta P_3 \quad (5)$$

где  $F = 5,9$  ;  $P < 0,00004$ ;  $R^2 = 0,21$  ;  $\Delta=1335$  м.

$$S_{19}^* = 2355 - 1,85\Delta dd + 79,5\Delta T_{ин} + 1,03H_{ин} - 40,7T_3 \quad (6)$$

где  $F = 3,3$  ;  $P < 0,01338$ ;  $R^2 = 0,12$  ;  $\Delta=1325$  м.

$$S_{13}^{**} = -34223 + 0,2S_3 + 48,2P_3 + 80,9H_3 + 241,4\Delta P_3 + 0,7\Delta H_{ин} \quad (7)$$

где  $F = 7,4$  ;  $P < 0,0000$ ;  $R^2 = 0,34$  ;  $\Delta=1286$  м.

Во всех уравнениях в качестве одного из предиктора выступает начальное значение прогнозируемой величины, но не во всех уравнения вклад его в искомое значение дальности видимости одинаков. В большинстве уравнений это значение играет достаточно важную роль в прогнозировании. Почти во всех уравнениях присутствуют такие предикторы как температура и относительная влажность воздуха, которые оказывают большое влияние на значение дальности видимости. В некоторые уравнения вошли значение атмосферного давления и его тенденция, что дает возможность учитывать синоптическую обстановку, параметр характеризующий отклонения ветра от южного, который показывает преимущество зонального направления ветра над меридиональным и наоборот, а так же количество и высота нижней границы облаков. Параметры задерживающих слоёв в уравнениях регрессии, по результатам расчётов, также оказывают большое влияние на значение дальности видимости. В прогностических зависимостях были использованы основные характеристики инверсий: мощность ( $\Delta H_{ин}$ ), интенсивность ( $\Delta T_{ин}$ ), высота нижней границы инверсии ( $H_{ин}$ ), и коэффициент эффективности ( $E$ ). Как видно из уравнений,

преувеличение значение дальности видимости улучшается, а при увеличении видимость ухудшается.

Улучшение качества прогнозирования, в процессе составления уравнения регрессии, были рассмотрены различные условия. На первом этапе никаких ограничений использовано не было, и не учитывались параметры инверсии. Как видно из критериев оценки этого уравнения, средняя абсолютная ошибка составляет 1675 м, хотя коэффициент детерминации достаточно высок. В процессе реализации модели пошаговой линейной регрессии наблюдается тенденция улучшения качества уравнений. На последнем этапе средняя абсолютная ошибка равна 1070 м, что в диапазоне от 1 до 4 км составляет примерно 350 м и коэффициент детерминации равен 0,41.

Это говорит о том, что уравнение вполне пригодно для его использования в прогнозе дальности видимости на 7:00 по данным утренних наблюдений.

При составлении уравнений на более поздние сроки (на 13 и 19 часов) качество прогнозирования несколько ухудшается. Но при использовании адаптивных моделей прогнозирования, то есть учитывая значение дальности видимости за предшествующие сроки, мы видим что происходит улучшение критериев оценки этих уравнений (увеличивается коэффициент детерминации, а средняя абсолютная ошибка уменьшается). Эти модели широко внедряются в метеообеспечения с целью улучшения качества прогнозов.

Далее рассмотрим уравнение построенные для прогноза высоты нижней границы облачности:

$$H_7' = 190,8 + 0,526H_3 - 0,133\Delta H_{ин} \quad (8)$$

где  $F = 26,8$  ;  $P < 0,0000$  ;  $R^2 = 0,22$  ;  $\Delta=142$  м.

$$H_7'' = 27,4 + 0,423H_3 + 10,8N - 0,054\Delta H_{ин} + 0,23H_{ин} \quad (9)$$

где  $F = 9,1$  ;  $P < 0,0000$  ;  $R^2 = 0,41$  ;  $\Delta=82$  м.

$$H_{13} = 751,8 - 15,8N_3 + 33,3^{\Delta}T_{ин} - 4,16R_3 - 3,1E \quad (10)$$

где  $F = 6,2$  ;  $P < 0,0017$  ;  $R^2 = 0,20$  ;  $\Delta=109$  м.

$$H_{13} = 384,3 - 18,8N + 16,64^{\Delta}T_{ин} + 0,0352S_7 - 0,0244S_3 \quad (11)$$

где  $F = 7,9$  ;  $P < 0,00001$  ;  $R^2 = 0,24$  ;  $\Delta=93$  м.

Для этих уравнений наиболее информативными предикатами оказались: начальное значение прогнозируемой величины, количества облаков, влажность, видимость, а также мощность, интенсивность и

коэффициент эффективности инверсии. Как видно из прогностических зависимостей, высота нижней границы облаков уменьшается при увеличении относительной влажности, мощности и эффективности инверсии. Как и уравнения, составленные для прогноза дальности видимости, наилучший результат дают уравнения для 7 часов. Для 13 часов было получено два уравнения и результаты показали, что с использованием адаптивных моделей качество прогноза улучшается, но всё равно средняя абсолютная ошибка имеет высокое значение. В дальнейшем уравнения, составляемые для 19 часов, оказались совсем неприемлемыми в использовании ( $R^2 = 0,05$ ), даже включая данные за 7 и 13 часов, результат все равно остается неудовлетворительным.

### **Заключение**

В итоге можно отметить, что прогностические зависимости, составляемые на более поздний срок, по данным утренних наблюдений, дают менее качественные результаты, чем уравнение составлено ранние сроки. Хотя с использованием адаптивных моделей, в некоторых случаях выходные данные несколько улучшаются.

Полученные уравнения рекомендуется использовать при прогнозе, а также для его уточнения, что очень важно для принятия решения, по району базирования аэродрома Воронеж.

### **Литература**

2. Баранов, А. М. Авиационная метеорология/ – С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1993. 285 с.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология/ – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 604 с.