

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ

Лабоха А.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Шамына А.Ю. – ассистент

Численное прогнозирование погоды использует модель атмосферы, построенную на основе системы уравнений физических параметров, описывающих аэро- и термодинамические процессы в атмосфере. В работе рассматриваются ключевые характеристики атмосферных моделей, их влияние на точность прогноза, а также некоторые компьютерные модели предсказания погоды.

Модели прогнозирования погоды можно систематизировать на основании различных критериев. На основании охватываемой прогнозом территории выделяют глобальные и региональные модели. Существует разделение моделей на термотропные, баротропные, гидростатические и негидростатические в зависимости от концептуального взгляда на атмосферу и выделения атмосферных процессов, оказывающих преобладающее влияние на формирование прогнозной модели [1]. Модели подразделяются и по временному диапазону, на которой выполняется прогноз; распространено деление на краткосрочные и долгосрочные прогнозы, однако иногда также выделяются прогнозы средней и повышенной дальности. Таким образом, каждая модель имеет свою специфику, которую необходимо учитывать для выбора наиболее точного прогноза с учетом различных параметров и предъявляемых требований.

В гидростатических моделях гидростатическое приближение позволяет исключить уравнение вертикальной составляющей, что предполагает малость вертикальных ускорений по сравнению с ускорением свободного падения [2]. Уровни давления или давления сигмы в моделях данного типа используются в качестве вертикальных координат. В то же время, с повышением точности модели вероятность нарушения данного допущения возрастает, что может привести к значительным искажениям прогноза, поскольку особенности рельефа конкретной местности исключены из рассмотрения. Негидростатические модели отказываются от идеи гидростатического приближения и ищут другие способы решения системы уравнений. Атмосферные модели данного типа большее внимание уделяют рельефу местности и вместо уровней давления используют уровни высоты или высоты сигмы.

Глобальные прогнозные модели охватывают прогнозом всю площадь Земли, наиболее распространены модели GFS, ECMWF, UKMET, NOGAPS, GEM. Существуют специальные модели для предсказания ураганов, такие как HWRF, GFDL.

Модель **GFS** (Global Forecast System) разработана американским центром NCEP (National Centers for Environmental Prediction) и предоставляет прогнозы на срок до 16 дней [3]. Модель GFS относится к гидростатическим моделям и использует 64 уровня давления сигмы в качестве вертикальных координат. В качестве модели прогнозирования атмосферы используется модель GSM (Global Spectral Model), для представления результатов используется Гауссовская сетка. Базовые условия для составления прогноза предоставляются системой GDAS (Global Data Assimilation System), осуществляющей сбор всех доступных спутниковых, традиционных (радиозондирование, авиационные, поверхностные) и радиолокационных наблюдений. Обновление прогноза GFS происходит 4 раза в день с интервалом 6 часов. Данные могут быть представлены с точностью до 1, 0.5 и 0.25 градуса ($0.25^\circ \approx 25$ км). Прогноз доступен с шагом 1 час на ближайшие 5 суток, с прогнозируемым интервалом 3 часа на 6-10 сутки и с шагом 12 часов на 11-16 сутки. Немаловажным аспектом является общедоступность результатов работы модели GFS: файлы прогнозов доступны бесплатно, для доступа могут быть использованы протоколы ftp или https.

Европейский центр **ECMWF** (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) предоставляет модель прогнозирования погоды IFS (Integrated Forecasting System). Текущее ядро модели IFS гидростатично (IFS-ST), однако разработано новое ядро IFS-FVM, которое является негидростатическим и использует конечно-объемную дискретизацию [4]. Ядро IFS-FVM позволяет учитывать негидростатические динамические эффекты, влияние которых значительно при горизонтальном масштабе, меньшем 10 км (рисунок 1). В рамках модели IFS доступно несколько моделей, вычисляющих прогноз для указанного временного диапазона с указанным пространственным разрешением [5]. Модель HRES вычисляет прогноз с шагом 9 км (0.1°) на ближайшие 10 суток с дискретностью 1 час. Результаты прогнозов представлены с помощью октаэдрических уменьшенных Гауссовских сеток. Значимой особенностью моделей ECMWF является платный доступ к прогнозным данным, что существенно ограничивает возможность их использования в некоммерческих инициативах и в небольших проектах без существенных денежных вложений.

Модель **UKMET** (Unified Model of the Met Office) доступна благодаря деятельности британского центра Met Office. Данное учреждение придерживается концепции комплексного моделирования (seamless modelling), при котором одно и то же динамическое ядро системы вместе со схемами параметризации многократно используются. Таким образом, разработанная центром модель может использоваться одновременно для численного прогнозирования погоды, сезонного прогноза и климатического моделирования, а срок прогноза может варьироваться от нескольких дней до десятилетий [6]. Модель UKMET негидростатична и широко использует параметризацию таких значений, как конвекция, турбулентность пограничного слоя и др. Разработанная модель MOGREPS рассчитывает данные для всего мира с пространственной точностью 20 км (на 7 суток), а для Великобритании – с точностью 2.2 км (на 5 суток); обновление прогнозных данных выполняется 4 раза в сутки с интервалом 6 часов. Для предоставления данных прогноза используются разностная сетка «С» Аракавы и вертикально-разностная сетка Чарни-Филлипса. Решение о предоставлении данных прогноза в каждом случае принимается индивидуально, реализуются программы по поддержке исследовательских проектов.

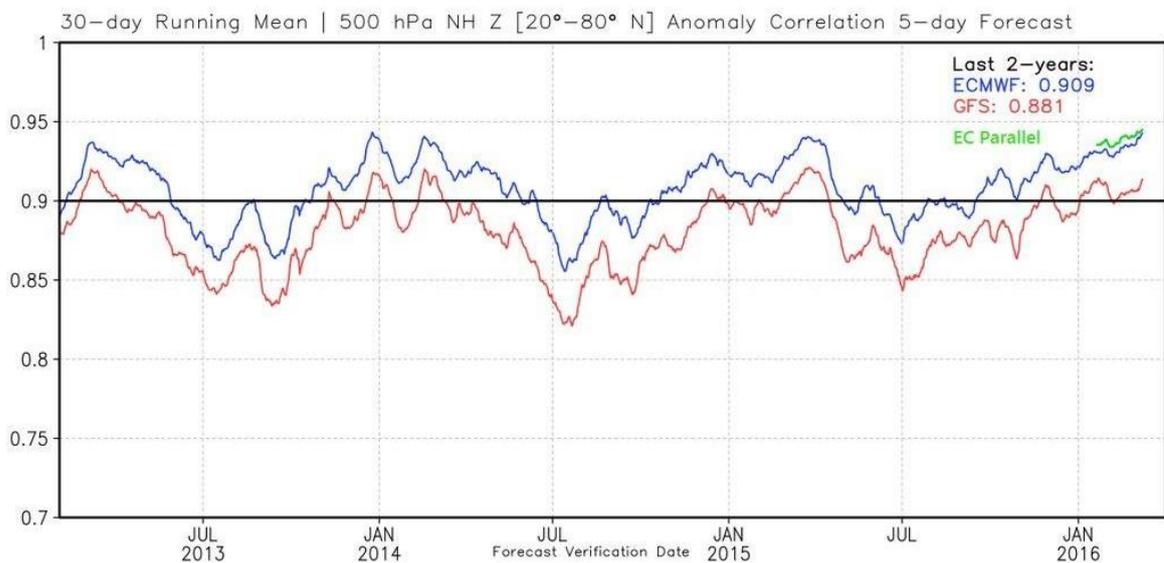


Рисунок 1 – Сравнение точности прогноза европейской модели ECMWF (синяя линия) и американской модели GFS (красная линия) в 2013-2015 гг.

Локальные модели прогноза погоды охватывают только определённую часть территории; ярким примером является модель **AROME** (Applications de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Echelle) французского центра Météo-France, которая предоставляет прогнозные данные только для территории Франции. Однако такое сужение рассматриваемого пространства позволило выполнять прогнозы с пространственной точностью 1.3 км [7], а также учитывать такие параметры, как рельеф, тип поверхности, экосистема и др. Ещё одним значимым аспектом является наличие интеграции с базами данных, предоставляющими фактические значения регистрирующих приборов.

Таким образом, локальные модели прогноза погоды могут предоставлять более полную и детальную информацию по сравнению с глобальными моделями благодаря концентрации внимания на характеристиках конкретной пространственной области. Однако на территориях, не охватываемых локальными моделями, частным случаем которых является Республика Беларусь, необходимо использовать глобальные модели как единственный источник прогнозных данных. Как показывает вышеприведенный анализ, при выборе конкретной модели необходимо учитывать заданные пространственную и временную точности, конкретный перечень искомых параметров погоды, характеристики прогнозной модели, а также соотносить стоимость данных прогнозных модели с финансовыми возможностями конкретного реализуемого проекта.

Список использованных источников:

1. Jacobson, Mark Zachary. Fundamentals of atmospheric modeling. - Cambridge University Press. - 2005. - P. 138–143.
2. Гутман Л. Н. Применение численного метода длинных волн в задаче обтекания гор // ДАН. СССР, 1957, N. 3 – С. 115-124.
3. National Centers for Environmental Prediction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/doc.php>. Дата доступа: 15.03.2019.
4. Atmospheric dynamics | ECMWF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/research/modelling-and-prediction/atmospheric-dynamics>. Дата доступа: 19.03.2019.
5. Documentation and support | ECMWF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>. Дата доступа: 19.03.2019.
6. Unified Model - Met Office [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model>. Дата доступа: 20.03.2019.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКРАТНЫХ ТЕСТОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ НАЧАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ДЛЯ ПСЕВДОИЩЕРПЫВАЮЩЕГО ТЕСТИРОВАНИЯ ОЗУ

Леванцевич В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Ярмолик В.Н. – д.т.н., профессор

Исследуется возможность использования многократных вероятностных тестов с изменяемым начальным состоянием ячеек памяти для псевдо-исчерпывающего тестирования ОЗУ. Определено среднее число итераций многократного теста для исчерпывающего тестирования заданного количества ячеек памяти

Одним из эффективных способов определения неисправных ячеек ОЗУ является исчерпывающее тестирование [1]. Однако его применение ограничено сложностью и как следствие значительными временными затратами на реализацию подобного тестирования. Поэтому используют одну из аппроксимаций исчерпывающего тестирования в виде псевдо-исчерпывающих тестов [2].

Псевдо-исчерпывающим тестом является тест $Ts(M, k)$, который для любого заданного количества ячеек k из общего количества ячеек памяти M , при $k < M$, обеспечивает генерирование всех 2^k двоичных разрядов. То есть таким тестом мы можем организовать исчерпывающее тестирование в любых k ячейках памяти.

В качестве примера псевдо-исчерпывающего теста можно привести тест для шести ячеек памяти $Ts(6, 2) = \{000000, 000011, 011100, 101101, 110110, 111011\}$. Можно заметить, что в данном тесте для любых двух ячеек памяти присутствуют возможные $2^2=4$ двоичные комбинации. При этом некоторые комбинации присутствуют более, чем по одному разу. На рисунке 1 приведены примеры псевдо-исчерпывающих тестов для различного количества ячеек памяти.

$T(3, 2)$	$T(4, 2)$	$T(4, 3)$	$T(5, 2)$	$T(5, 3)$
000	0000	0000	11111	10000
011	0111	0011	10000	01000
101	1011	0110	01000	00100
110	1101	0101	00100	00010
	1110	1100	00010	00001
		1111	00001	01111
		1010		10111
		1001		11011
				11101
				11110

Рисунок 1 – Примеры псевдо-исчерпывающих тестов

Одним из недостатков псевдо-исчерпывающих тестов, является сложность вычисления тестовых наборов, входящих в псевдо-исчерпывающий тест. Поэтому на практике для формирования подобных тестов используют многократные вероятностные тесты.

Классический однократный маршевый для тестирования k произвольных ячеек можно представить как совокупность двоичных векторов, разрядностью k , которая называется орбитой. [3]. Конкретный набор векторов, входящих в орбиту, зависит от трех основных факторов: правила формирования орбиты, очередности формирования адресов ячеек памяти и исходного содержимого ячеек памяти (рисунок 1).