

УДК 551.509.313

ПОДСИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНДУКТИВНОГО ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ОСРЕДНЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ

Д.А.Зубов¹, М.С.Григоренко²

¹ Київський міжнародний університет, dzubovua@mail.ru

² Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, г. Луганск

Виконано дослідження індуктивного методу довгострокового (до півроку) прогнозу середньодекадної температури повітря на основі принципу аналогій та показано його достатню якість. Проведено дослідження запропонованого підходу: у базисі просторових моделей без принципу аналогій; у поліноміально-гармонічному базисі моделей; аналіз середньої якості для випадків використання принципу аналогій та без нього.

Ключові слова: індуктивний метод, довгостроковий прогноз, поліноміально-гармонічний базис.

The research of the inductive method of long-term (forecasting to 0,5 year) prognosis of average decade air's temperature on the basis of principle of analogies was executed and it's sufficient was shown. The research of the offered approach was also conducted: in the base of spatial models without principle of analogies; in the polynomial harmonic base; the analysis of middle quality of the inductive prognostic method for cases of the analogue principle usage and without it.

Keywords: inductive method, long-term prognosis, polynomial harmonic base.

Выполнено исследование индуктивного метода долгосрочного (упреждение до полугода) прогноза среднедекадной температуры воздуха на основе принципа аналогий и показана его достаточная оправдываемость. Проведено исследование предложенного подхода: в базисе пространственных моделей без принципа аналогий; в полиномиально-гармоническом базисе моделей для; анализ средней оправдываемости для случаев использования принципа аналогий и без него.

Ключевые слова: индуктивный метод, долгосрочный прогноз, полиномиально-гармонический базис.

Введение. Задача построения автономного программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров на базе гидродинамико-статистических моделей является в настоящее время одной из наиболее актуальных в гидрометеорологических службах СНГ [11] в связи с полученными за последнее десятилетие методами (например, [1-3]), которые с достаточной оправдываемостью используются на практике. Решение проблемы разработки метода прогноза средней температуры воздуха усложняется многофакторным, стохастическим характером погодных процессов [2,4-8].

Имитационные методы краткосрочного прогноза погоды на базе полных уравнений гидротермодинамики [1, 3] при глубине прогноза более двух недель недостаточно оправдываются из-за значительного влияния небольших изменений аргументов прогностических моделей на выходные параметры, хаотического характера движений в атмосфере [9]. Так, величина расчетной вероятности оправдываемости прогноза температуры воздуха на апрель-

сентябрь 2009 г. в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды “Государственное учреждение “Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации” не превышает 72 % [10].

С внедрением компьютерной техники, быстрыми темпами идет развитие численных методов прогноза на базе статистико-гидродинамических моделей [4,12]. Предлагается использовать робастные модели, грубость которых обусловлена тем, что структурный базис прогностических моделей среднемесячных температур воздуха применяется к прогнозу среднедекадных, т.е. тенденции изменения среднемесячных температур воздуха задействуются для среднедекадных (принцип аналогий).

Целью данной статьи является разработка структуры программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров, обладающей сравнительно небольшой ресурсоёмкостью и позволяющей качественно решить задачу долгосрочного прогнозирования; и исследование возможности применения индуктивного метода долгосрочного прогноза среднедекадной температуры воздуха на основе самоорганизации полиномиальных робастных моделей и принципа аналогий в системе прогнозирования указанного программно-аппаратного комплекса.

1. Автономный программно-аппаратный комплекс долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров. Предлагается следующая структура автономного программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров (рис.1).



Рис. 1. Структура программно-аппаратного комплекса сбора и первичной обработки метеоинформации на основе беспроводных технологий с подключением к Internet

На рис.1 обозначено:

1- датчик скорости и направления ветра; 2-датчик температуры и влажности; 3- датчик уровня выпавших осадков; 4-USB модуль для подключения к ПК; 5- USB кабель; 6-персональный компьютер; 7-специализированное программное обеспечение; 8-глобальная компьютерная сеть Internet.

Информация с метеодатчиков (скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, уровень выпавших осадков) по беспроводной Bluetooth технологии передаётся на USB модуль подключения к ПК. USB модуль осуществляет прием информации с датчиков по беспроводной технологии и передачу данных на персональный компьютер через порт USB 2.0.

Параметры радиопередачи данных с метеодатчиков на ПК: частота 433 МГц, радиус передачи до 100 метров при отсутствии препятствий на пути передачи сигнала, интервал между сеансами передачи около 1 минуты. В составе программного обеспечения комплекса предполагается три программные системы:

1. система сбора, первичной обработки и хранения метеоинформации.
2. система прогнозирования осредненных значений метеопараметров.
3. экспертная система поддержки принятия решений метеоролога.

2. Основные технические характеристики комплекта многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200. Устройство WMRS200 (производитель Oregon Scientific Inc., США) представляет собой комплект многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков контроля метеопараметров, таких как температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, уровень выпавших осадков, при подключении дополнительной опции и ультрафиолетовое излучение. Датчики по беспроводному каналу подключаются к USB-модулю, осуществляющему прием и сохранение информации, а также передачу ее на персональный компьютер.

Основные функции WMRS200:

- измерение температуры воздуха;
- измерение влажности воздуха;
- измерение скорости и направления ветра;
- измерение атмосферного давления и уровня выпавших осадков;
- беспроводная передача данных на 100м (от датчиков на USB-устройство, подключенное к ПК);
- отображение данные на экране ПК;
- хранение данных в памяти ПК.

Данные запрашиваются, отображаются, проверяются на аварийные значения и сохраняются на ПК, затем отражаются в Internet/Intranet.



Рис. 2. Комплект многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200

На рис.2 обозначено:

- 1- датчик скорости и направления ветра;
- 2- датчик уровня выпавших осадков;
- 3- датчик температуры и влажности воздуха;
- 4- USB модуль для подключения к ПК.

Комплектация набора многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200:

- USB модуль для подключения к ПК;
- USB кабель;
- датчик скорости и направления ветра;
- датчик температуры и влажности воздуха;
- датчик уровня выпавших осадков;

Анализ функциональных возможностей и технических характеристик комплекта многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200 показал возможность построения программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров на базе данного комплекта.

3. Полиномиальный самоорганизующийся базис прогностических моделей. Прогностическая модель выбирается в полиномиальном базисе:

$$x_n[k] = a_1 + a_2 k + \sum_{i=3}^p a_i x_f [y[k] - d - c - (i-3)f], \quad (1)$$

где a_1, a_2, \dots, a_p – коэффициенты модели, вычисляемые методом наименьших квадратов (МНК); p – количество слагаемых модели; $y[k]$ – номер элемента в выборке данных среднесуточных температур воздуха; $x_n[k]$ – прогнозируемое

значение среднедекадной температуры воздуха; $x_f[j]$ – значение средней температуры воздуха в дискретный момент $y[j]$, где осреднение производится в выборке среднесуточных температур воздуха с элемента с номером $y[j]$ по элемент с номером $(y[j]-f+1)$; k – номер декады во временном ряду среднедекадных температур, которые используются для определения коэффициентов прогностической модели $k=1, \dots, N_1$; $f=1 \dots 30$, дни; d – глубина прогноза – разность в днях между датой прогноза и датой окончания статистических данных, используемых для построения модели, дни; c – разность в днях между датой окончания имеющихся статистических данных и датой начала данных, которые используются для прогнозирования, дни; N_1 – длина временного ряда осредненных величин метеорологических параметров, которые используются для определения коэффициентов прогностической модели. Под датой декады подразумевается дата последнего дня в декаде. Переменные правой части прогностической модели находятся во временном диапазоне 500 дней:

$$(f(p-2)+c+d) \leq 500. \tag{2}$$

Таким образом, для выбора оптимальной структуры прогностической модели необходимо определить соответствующую критерию структуру, а именно значения тройки (f, p, c) . Данная задача решается на базе анализа их возможных комбинаций и сравнением альтернативных моделей на тестовой выборке по комбинированному критерию “минимум смещения плюс регулярность”:

$$(f, p, c) = \underset{\substack{f, p, c; \\ 1 \leq f \leq 30; \\ 1 \leq p \leq N_2; \\ 0 \leq c \leq 364}}{\arg} \left(\left(\left(\left| x_2[j] - x_1^*[j] \right| < \max_1 \right)_{1 \leq j \leq N_2} \right) \wedge \left(\left| x_1[j] - x_2^*[j] \right| < \max_1 \right)_{1 \leq j \leq N_2} \right) \wedge \left(\left(\frac{\sum_{j=1}^{N_2} |x_2[j] - x_1^*[j]|}{N_2} < \max_2 \right) \wedge \left(\frac{\sum_{j=1}^{N_2} |x_1[j] - x_2^*[j]|}{N_2} < \max_2 \right) \right) \wedge \left(\left| \frac{\sum_{j=1}^{N_2} |x_2[j] - x_1^*[j]|}{N_2} - \frac{\sum_{j=1}^{N_2} |x_1[j] - x_2^*[j]|}{N_2} \right| < \max_3 \right) \right), \tag{3}$$

где \wedge – операция конъюнкции; $N_2 = \text{Trunc}(N_1/2)$ – количество элементов в обучающих и проверочных выборках данных; $\text{Trunc}(\cdot)$ – выделение целой части вещественного аргумента; $x_1[j], x_2[j]$ – элементы с номером j первой и второй

проверочной выборки, которые формируются как четные и нечетные элементы суммарной выборки $(x_1 \cup x_2)$; $x_1^*[j]$, $x_2^*[j]$ – прогнозируемое значение среднедекадной температуры воздуха в дискретный момент j ; max_1 – максимально допустимое значение отклонения прогноза от факта; max_2 – максимально допустимое значение среднего абсолютного отклонения прогноза от факта; max_3 – максимально допустимое значение разности средних абсолютных отклонений прогноза от факта при первой обучающей и второй проверочной выборках данных и при второй обучающей и первой проверочной выборках данных.

В результате вычислений эксперту-метеорологу предлагаются такие значения тройки (f, p, c) , при которых обеспечивается истинность приведенных в критерии неравенств. Количество предлагаемых вариантов регулируется значениями переменных max_1 , max_2 и max_3 . Выбор конкретной тройки (f, p, c) эксперт-метеоролог производит самостоятельно на базе анализа соответствующих максимального и среднего абсолютного отклонения прогноза от факта, разности средних абсолютных отклонений прогноза от факта на первой обучающей и второй проверочной выборках данных и на второй обучающей и первой проверочной выборках данных, значений тройки (f, p, c) .

Вычисленный специализированным программным обеспечением (ПО) прогноз может корректироваться экспертом-метеорологом на основании собственных знаний, опыта, с учетом среднего наблюдаемого значения, предыдущих фактических и прогнозируемых значений, допустимых границ, альтернативных прогнозов (факторы указаны в порядке уменьшения релевантности субъективно – мнение авторов). Количественные результаты откорректированных прогнозов обусловлены субъективными характеристиками экспертов-метеорологов, но качественные характеристики прогноза инвариантны человеческому фактору.

Для поддержки принятия решений в ПО автоматически определяются:

1. Две тройки (f, p, c) , удовлетворяющие комбинированному критерию качества и соответствующие минимальным значениям максимального отклонения и суммы средних абсолютных отклонений прогноза от факта двух выборок данных.

2. Выборка троек (f, p, c) с одновременно уменьшающимися минимальными значениями максимального отклонения и суммами средних абсолютных отклонений прогноза от факта. Окончательный выбор модели эксперт-метеоролог осуществляет самостоятельно, однако последний элемент выборки, с точки зрения авторов, соответствует “физическому” экстремуму прогностической модели и, следовательно, имеет более высокий приоритет в выборе конечного значения прогноза.

К достоинствам предлагаемого подхода также относится возможность оценки оправданности прогноза неизвестных метеоданных на базе анализа максимального и среднего абсолютного отклонения прогноза от факта на двух обучающих выборках данных.

4. Критерий оправдываемости долгосрочного прогноза среднедекадной температуры воздуха. Учитывая значительный диапазон варьирования среднедекадных температур воздуха в холодный период, оценку оправдываемости долгосрочного прогноза будем производить по следующему критерию ($|\Delta x|$ – абсолютное отклонение фактической температуры воздуха от прогнозируемого значения, $^{\circ}\text{C}$):

- для диапазона изменения среднедекадных температур менее 15°C (со 2-й декады апреля по 3-ю декаду октября):

$$100\% : |\Delta x| \leq 1,5^{\circ}\text{C}; \quad 75\% : 1,5^{\circ}\text{C} < |\Delta x| \leq 3,0^{\circ}\text{C}; \\ 25\% : 3,0^{\circ}\text{C} < |\Delta x| \leq 4,5^{\circ}\text{C}; \quad 0\% : 4,5^{\circ}\text{C} < |\Delta x|;$$

- для диапазона изменения среднедекадных температур более 15°C (с 1-й декады ноября по 1-ю декаду апреля):

$$100\% : |\Delta x| \leq 2,0^{\circ}\text{C}; \quad 75\% : 2,0^{\circ}\text{C} < |\Delta x| \leq 4,0^{\circ}\text{C}; \\ 25\% : 4,0^{\circ}\text{C} < |\Delta x| \leq 6,0^{\circ}\text{C}; \quad 0\% : 6,0^{\circ}\text{C} < |\Delta x|.$$

Границы диапазонов изменения среднедекадных температур верны для г. Киева, Луганска, Чернигова, Винницы и Херсона. Территориальное расположение данных городов позволяет допустить, что указанные границы диапазонов среднедекадных температур верны для всех регионов Украины.

5. Исследование индуктивного метода долгосрочного прогнозирования среднедекадной температуры воздуха на основе самоорганизации полиномиальных робастных моделей для г. Луганска, Киева, Винницы, Чернигова и Херсона. Для исследования качества прогноза среднедекадных температур воздуха разработано специализированное ПО в среде Borland Delphi v. 7.

В табл. 1 представлены результаты исследований метода прогноза среднедекадной температуры воздуха с глубиной 0,5 года на основе самоорганизации полиномиальных робастных моделей и принципа аналогий с учетом предыдущих фактических и прогнозируемых значений с 2003 г. по 2008 г. для г. Луганска, Киева, Винницы, Чернигова и Херсона.

Таблица 1

Средняя оправдываемость прогноза среднедекадных температур с 2003 г. по 2008 г. для Луганска, Киева, Винницы, Чернигова и Херсона

Дата	Средняя оправдываемость прогноза для городов, %				
	Луганск	Киев	Винница	Чернигов	Херсон
1 полугодие 2003 г.	75,0	77,9	77,8	80,6	88,2
2 полугодие 2003 г.	77,8	77,8	77,8	83,3	83,3
1 полугодие 2004 г.	91,2	79,2	76,4	86,1	83,3

Продолжение таблицы 1

2 полугодие 2004 г.	79,2	80,6	79,4	80,9	80,6
1 полугодие 2005 г.	72,2	70,8	72,2	69,4	79,2
2 полугодие 2005 г.	90,3	80,6	75,0	90,3	80,6
1 полугодие 2006 г.	68,1	77,9	76,4	79,2	80,6
2 полугодие 2006 г.	86,8	70,6	73,6	75,0	79,4
1 полугодие 2007 г.	76,5	81,7	80,0	85,0	79,7
2 полугодие 2007 г.	85,3	77,8	83,3	77,8	79,7
1 полугодие 2008 г.	72,2	76,4	80,6	90,3	86,1
2 полугодие 2008 г.	85,3	82,1	76,5	80,6	89,7
Среднее за 2003-2008 г., %	80,0	77,8	77,4	81,5	82,5

Как видно из таблицы 1, получена достаточная оправдываемость метода (77,4 % – Винница, 77,8 % – Киев, 80 % – Луганск, 81,5 % – Чернигов, 82,5 % – Херсон). Интервал осреднения при вычислении параметров модели приравнялся 30 дней (принцип аналогий).

Количественное отличие представленных в данной работе результатов от полученных ранее (например, [8]) обусловлено субъективными характеристиками экспертов-метеорологов, которые принимают окончательное решение относительно величины прогноза.

Анализ данных таблицы 1 показывает достаточную оправдываемость индуктивного метода долгосрочного прогноза среднедекадной температуры воздуха на основе принципа аналогий. Качество прогноза обеспечивает целесообразность применения индуктивного метода в системе прогнозирования осредненных значений метеопараметров программного обеспечения программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров.

Выводы

1. Выполнено исследование автономного программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров. Показана возможность построения данного программно-аппаратного комплекса на базе комплекта многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200 (Oregon Scientific Inc.).

2. Выполнено исследование индуктивного метода долгосрочного (упреждение до 0,5 года) прогноза среднедекадной температуры воздуха на основе самоорганизации полиномиальных робастных моделей и принципа

аналогий с 2003 г. по 2008 г. и показана его достаточная оправдываемость (77,4 % – Винница, 77,8 % – Киев, 80 % – Луганск, 81,5 % – Чернигов, 82,5 % – Херсон).

3. Определена целесообразность применения индуктивного метода в системе прогнозирования осредненных значений метеопараметров программного обеспечения комплекса программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров.

В настоящее время предложенный метод проходит апробацию в Луганском и Винницком областных гидрометеоцентрах. Планируется внедрение разработанной методики и в других центрах по гидрометеорологии Украины.

Основными перспективами дальнейших исследований представляются:

1. Синтез прогностической модели средней температуры воздуха с использованием других метео- (давление, скорость и направление ветра, осадки, др.) и внесистемных (например, демографические показатели) параметров с использованием выборок данных большего объема.

2. Разработка экспертной системы поддержки принятия прогностических решений эксперта-метеоролога.

3. Исследование экспериментальных результатов работы комплекта многофункциональных беспроводных атмосферных датчиков WMRS200 в составе автономного программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров.

3. Исследование экспериментальных результатов работы подсистемы индуктивного долгосрочного прогноза в составе автономного программно-аппаратного комплекса долгосрочного прогнозирования осредненных значений метеопараметров.

Необходимым условием эффективного применения разработанной методики прогноза является подготовка специалистов, обладающих специальными знаниями в предметных областях метеорологии и искусственного интеллекта [13].

Литература

1. Белов П.И., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды: Учеб. для вузов по спец. "Метеорология". – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 376 с.

2. Власов Ю.Н., Ульшин В.А., Зубов Д.А. Исследование метода долгосрочного прогноза среднедекадной температуры воздуха на базе полиномиально-гармонического самоорганизующегося базиса моделей // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2006. – № 2(13). – С.81-86.

3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология: Учеб. для вузов по спец. "Метеорология". – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
4. Зубов Д.А., Болотова М.С. Долгосрочный прогноз среднедекадной температуры воздуха на базе полиномиально-гармонического базиса моделей и "хорошо" обусловленной обучающей выборки данных // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім.В.Даля. – 2007. – Частина перша. – № 11(117). – С.55-61.
5. Зубов Д.А., Власов В.Ю. Долгосрочный прогноз средней температуры воздуха и суммы осадков на базе авторегрессионной модели данных и критерия минимизации максимальной ошибки // Збірник наукових праць Східноукр. нац. ун-ту ім.В.Даля. Технічні науки. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.В.Даля, 2004. – С. 40-49.
6. Зубов Д.А., Власов Ю.Н. Исследование переборного алгоритма долгосрочного прогноза температуры воздуха на базе линейной авторегрессионной модели и критерия регулярности // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім.В.Даля. – 2002. – № 2(72). – С.77-85.
7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с.
8. Zubov D., Vlasov Y., Grigorenko M. Method of the Decade Air's Temperature Long-Range Prognosis with Robust Inductive Models and Analogy Principle Usage // Proc. 2nd Int. Conf. on Inductive Modeling, Kyiv, Ukraine, Sept. 15-19, 2008. – Kyiv, 2008. – P.263-266.
9. ГУ "Гидрометцентр России" // Прогнозы погоды и климата и присущие им ограничения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/forecasts-limits>.
10. ГУ "Гидрометцентр России" // Вероятностный прогноз температуры и осадков в России на вегетационный период (апрель - сентябрь) 2009 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/veget-period>.
11. Джон Л. Гини. Инновации и новые технологии, направленные на улучшение метеорологического обслуживания //Официальный журнала Всемирной метеорологической организации "Бюллетень" том 57(4) за октябрь 2008г.
12. GMDH-methodology and implementation in C / G.Onwubolu, D.Zubov, A.Kiryanov, A.Andrakhanov, L.Sarycheva, A.Sarychev, A.Olejniak et al. (edited by G.Onwubolu) // World Scientific Publishing Company, 2010. – 300 p.
13. University Specialists Training and Scientific Projects Development Concurrently (One Realization Example) // Journal of Engineering & Technology Education. – 2009. – Vol. 3. – № 1 (January-June). – P. 1-5.