

УДК 551.509

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В.С. МУХА, А.Ф. ТРОФИМОВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П.Бровка, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 8 июня 2009

На основании оценок взаимной корреляционной функции температуры воздуха и атмосферного давления, а также алгоритма линейного статистического прогнозирования случайных последовательностей исследуется эффективность прогнозирования температуры воздуха и атмосферного давления при их совместном прогнозировании в сравнении с эффективностью скалярного прогнозирования этих процессов.

*Ключевые слова:* статистическое прогнозирование, эффективность прогнозирования.

### Введение

Анализируется эффективность прогнозирования температуры воздуха и атмосферного давления при их совместном (векторном) прогнозировании в сравнении с эффективностью скалярного статистического прогнозирования этих характеристик погоды, исследованных в работе [1].

Напомним, что совместным или векторным прогнозированием называется прогнозирование каждой составляющей векторного процесса с использованием результатов измерений остальных составляющих процесса, в отличие от скалярного прогнозирования, когда прогнозирование составляющей производится по результатам измерений только этой составляющей данного процесса без использования результатов измерений других составляющих процесса.

Для исследования использованы данные Гидрометцентра Республики Беларусь за 6 лет, с 1998 г. по 2003 г., по метеостанции Минска. В основе анализа лежит исследование взаимных корреляционных функций метеорологических процессов атмосферного давления  $p$  и температуры воздуха  $t$ , а также их влияние на эффективность совместного статистического прогнозирования указанных процессов.

### Взаимные корреляционные функции атмосферного давления и температуры воздуха

На основании приведенных в [1] графиков оценок  $\bar{r}_{p,t}(kT)$  взаимных корреляционных функций атмосферного давления и температуры воздуха построена таблица, в которой отражены важнейшие количественные характеристики взаимных корреляционных функций:

- 1) интервал корреляции;
- 2) значения функции в интервале корреляции;
- 3) амплитуда суточных колебаний.

Под интервалом корреляции понимается интервал, внутри которого взаимная корреляционная функция по абсолютному значению превышает уровень 0,1. Интервал корреляции называется многосвязным, если он представляет собой объединение двух или более интервалов. Упорядоченные значения границ интервалов мы обозначаем  $0 \leq \tau_1 \leq \tau_2 \leq \tau_3 \leq \dots \leq \tau_{\text{кор}}$ ,

где максимальное значение есть  $\tau_{кор}$  время взаимной корреляции. Отсчеты процессов, отстающие друг от друга на время, большее  $\tau_{кор}$ , считаются практически некоррелированными.

Значения взаимной корреляционной функции в интервале корреляции представлены в таблице значениями на концах интервалов при монотонности функции или значениями на концах и экстремальными значениями внутри интервалов при наличии в них экстремумов. Для тех месяцев года, в которых наблюдаются суточные колебания взаимной корреляционной функции, использовалось среднее значение на суточном интервале наблюдения для определения интервала корреляции.

#### Характеристики взаимной корреляционной функции атмосферного давления и температуры

Месяц	$\bar{r}_{p,t}(\tau)$		
	Интервал корреляции, ч	Значения взаимной корреляционной функции в интервале корреляции	Амплитуда колебаний взаимной корреляционной функции
Январь	0...21 57...155	-0,26...-0,1 0,1...0,19...0,1	0
Февраль	0...12	-0,22...-0,1	0
Март	0...15	-0,27...-0,1	0,018
Апрель	0...110	0,1...0,105...0,1	0,053
Май	6...64 111...180	0,1...0,28...0,1 -0,1...-0,16...-0,1	0,114
Июнь	0...160	0,1...0,34...0,1	0,088
Июль	0...320	0,35...0,476...0,1	0,06
Август	3...90	0,1...0,254...0,1	0,105
Сентябрь	0...3	-0,128...-0,1	0,049
Октябрь	0...40	-0,263...-0,1	0,002
Ноябрь	0...116 235...340	-0,434...-0,1 0,1...0,254...0,1	0
Декабрь	0...370	-0,539...-0,1	0

Анализ данных, представленных в таблице, может дать предварительные оценки относительно результатов векторного прогнозирования рассматриваемых двух процессов. Наибольшее по модулю значение взаимной корреляционной функции, равное 0,539, наблюдается в декабре. Это значит, что в декабре следует ожидать значительного улучшения результатов совместного прогнозирования температуры и давления. Наименьшее значение взаимной корреляционной функции, равное 0,105, имеем в апреле, т.е. в апреле следует ожидать незначительного повышения достоверности совместного прогноза температуры и давления. Эти оценки уточняются в дальнейшем путем расчета эффективности прогнозирования.

Характер взаимосвязи температуры воздуха и атмосферного давления изменяется в течение года от знакопостоянного до знакопеременного: в мае с положительного для малых времен до отрицательного для больших времен, а в ноябре и январе наоборот, с отрицательного для малых времен до положительного для больших времен. Это значит, что в мае рост (падение) давления в текущий момент времени ассоциируется с ростом (падением) температуры в ближайшем будущем и падением (ростом) температуры в более отдаленном будущем. В ноябре рост (падение) давления в текущий момент времени ассоциируется с падением (ростом) температуры в ближайшем будущем и ростом (падением) температуры в более отдаленном будущем.

Для остальных месяцев года характер взаимосвязи давления и температуры остается неизменным для ближайшего и отдаленного будущего. Так, для летних месяцев (июнь, июль, август) наблюдается положительная корреляционная связь давления и температуры, т.е. рост (падение) давления в текущий момент времени ассоциируется с ростом (падением) температуры в будущем. Для других месяцев года (сентябрь, октябрь, декабрь, февраль, март) характерна отрицательная корреляционная связь, т.е. рост (падение) давления в текущий момент времени ассоциируется с падением (ростом) температуры в будущем.

### **Сравнительная эффективность скалярного и совместного прогноза температуры воздуха**

Предварительные соображения относительно совместного прогнозирования атмосферного давления и температуры, изложенные в предыдущем разделе, требуют обоснованного количественного подтверждения. Это можно сделать с помощью расчетов в соответствии с алгоритмом работы [2] апостериорной среднеквадратичной ошибки (с.к.о.) прогноза  $\sigma_{\text{апост.}}$  и эффективности прогноза. Отметим, что точность прогноза оценивается разностью между априорной и апостериорной с.к.о.

Эффективностью прогноза отдельной составляющей векторного случайного процесса называется величина [3]

$$e = \frac{\sigma_{\text{апр.}}^2 - \sigma_{\text{апост.}}^2}{\sigma_{\text{апр.}}^2}, \quad (1)$$

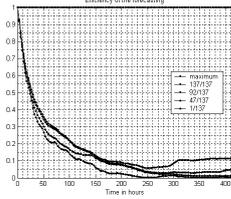
где  $\sigma_{\text{апр.}}^2$  и  $\sigma_{\text{апост.}}^2$  – априорная дисперсия отдельной составляющей процесса и дисперсия прогноза отдельной составляющей относительно этой составляющей (апостериорная дисперсия составляющей).

На рис. 1 для каждого месяца года приведены графики эффективности прогноза температуры воздуха в зависимости от времени прогноза при различных временах наблюдения в случае прогнозирования температуры совместно с атмосферным давлением. На том же рисунке слева для сравнения приведены аналогичные графики в случае скалярного прогнозирования температуры воздуха. Время наблюдения варьируются от 3 часов (1 отсчет) до 400 часов (137 отсчетов или 17 суток), а время прогноза изменяется от 0 до 400 часов. Расчеты выполнены для прогнозов вида 137/137, 92/137, 47/137, 1/137 (в отсчетах), где первая часть указывает число отсчетов наблюдения, используемых для указанного после знака ”/” количества отсчетов прогнозирования [1]. Порядок расположения кривых по вертикали для каждого месяца соответствует порядку расположения по вертикали записей пояснений, размещенных на каждом графике. Такое же соответствие применяется и далее. При изучении представленных кривых можно сделать вывод, что прогнозирование температуры совместно с атмосферным давлением приводит к повышению эффективности прогноза температуры для всех месяцев года.

### **Сравнительная эффективность скалярного и совместного прогноза атмосферного давления**

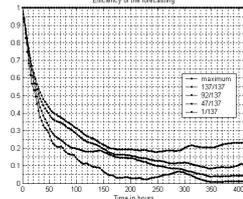
На рис. 2 представлены графики эффективности прогноза атмосферного давления для всех месяцев года в случае, когда прогнозируется векторный процесс  $\gamma = (t, p)$ , где  $t$  – температура воздуха,  $p$  – атмосферное давление. На том же рисунке слева для сравнения приведены аналогичные графики в случае скалярного прогнозирования атмосферного давления в зависимости от времени прогноза при различном времени наблюдения для прогнозов вида 137/137, 92/137, 47/137, 1/137 (в отсчетах). Анализируя представленные на рисунке кривые, можно сделать вывод, что прогнозирование атмосферного давления совместно с температурой приводит к увеличению эффективности прогноза атмосферного давления для всех месяцев года.

Эффективность скалярного прогнозирования температуры воздуха

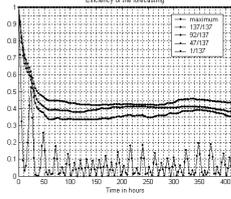


Ноябрь

Эффективность совместного прогнозирования температуры воздуха

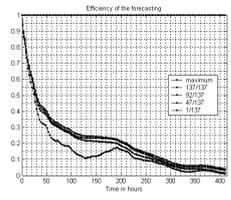
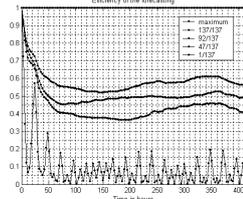


Эффективность скалярного прогнозирования температуры воздуха

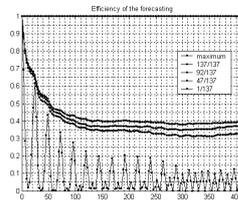
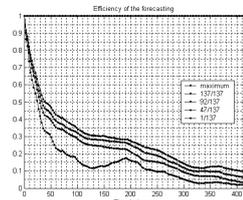


Май

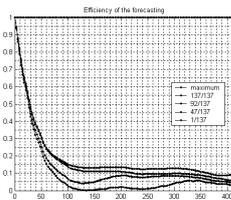
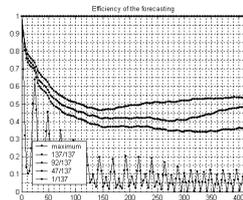
Эффективность совместного прогнозирования температуры воздуха



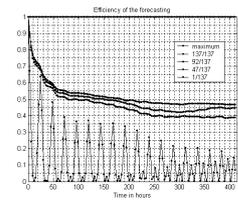
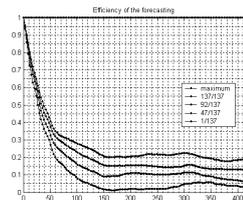
Декабрь



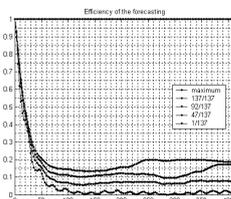
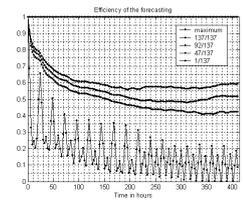
Июнь



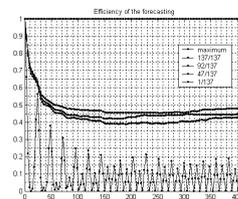
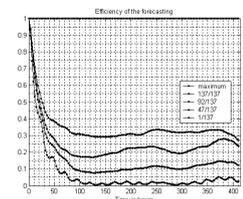
Январь



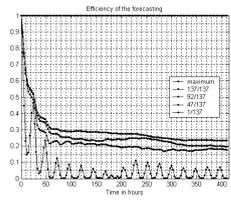
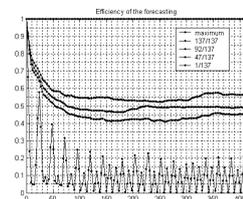
Июль



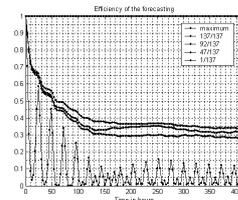
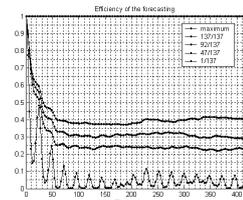
Февраль



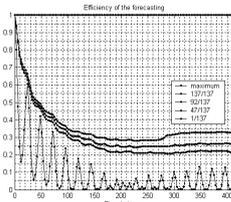
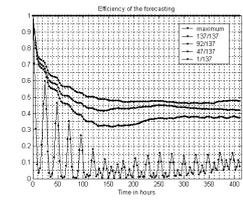
Август



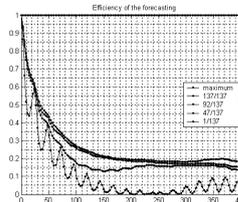
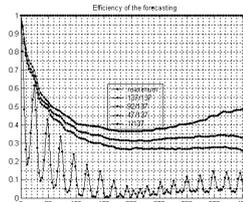
Март



Сентябрь



Апрель



Октябрь

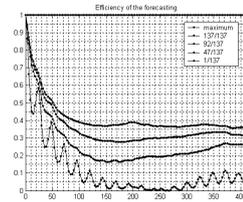
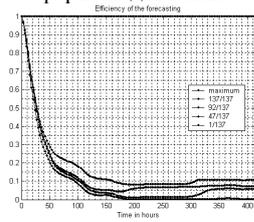
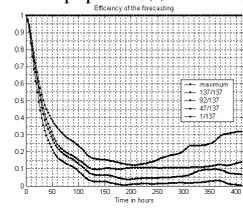


Рис. 1. Графики эффективности прогноза температуры при скалярном и совместном с атмосферным давлением прогнозировании

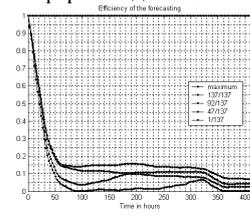
Эффективность скалярного прогнозирования атмосферного давления



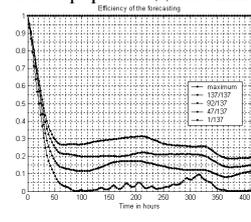
Эффективность совместного прогнозирования атмосферного давления



Эффективность скалярного прогнозирования атмосферного давления

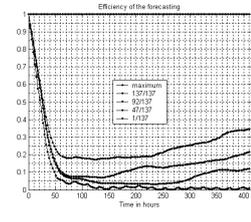
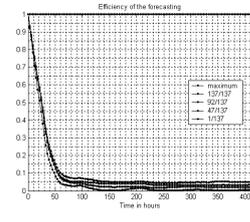
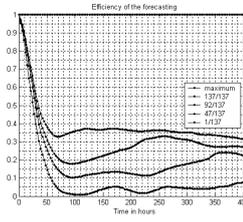
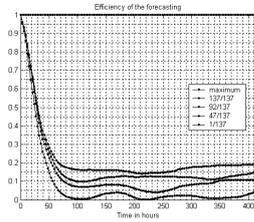


Эффективность совместного прогнозирования атмосферного давления



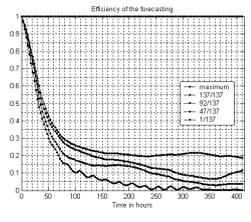
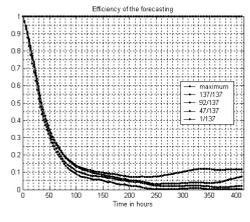
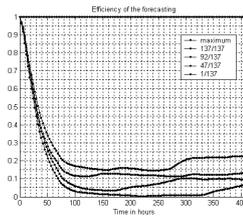
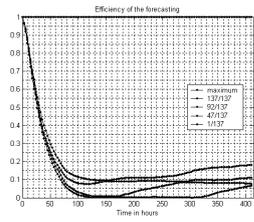
Ноябрь

Май



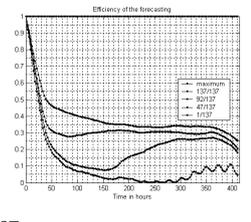
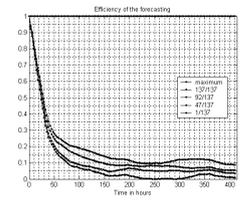
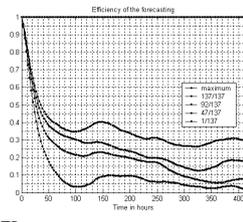
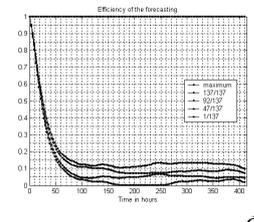
Декабрь

Июнь



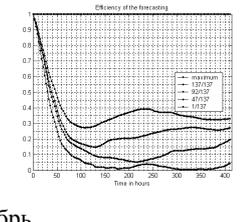
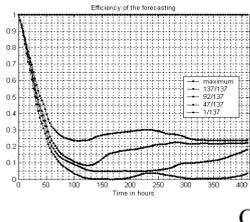
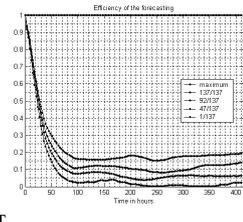
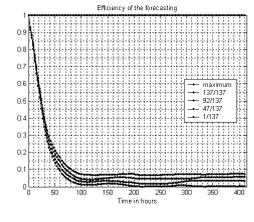
Январь

Июль



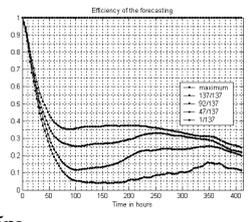
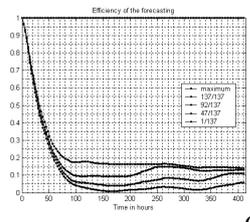
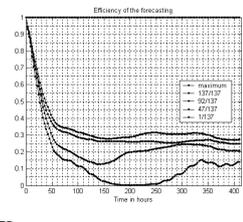
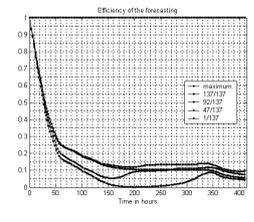
Февраль

Август



Март

Сентябрь



Апрель

Октябрь

Рис. 2. Графики эффективности прогноза атмосферного давления при скалярном и совместном с температурой прогнозировании

### **Заключение**

Рассмотрены вопросы, связанные с эффективностью совместного статистического прогнозирования таких метеорологических процессов, как температура воздуха и атмосферное давление; рассчитана эффективность их прогнозирования для 12 месяцев года. В результате было обнаружено, что эффективность прогнозирования указанных процессов достаточно быстро падает с ростом заблаговременности прогноза. В то же время оказалось, что для ряда месяцев года сохраняется достаточно высокий уровень эффективности для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования рассмотренных процессов при использовании совместного (векторного) прогнозирования каждой составляющей метеорологического процесса.

### **ABOUT EFFICIENCY OF JOINT STATISTICAL FORECASTING OF METEOROLOGICAL PROCESSES**

V.S. MUKHA, A.F. TROFIMOVICH

#### **Abstract**

On the basis of estimations of mutual correlation functions of air's temperature and atmospheric pressure and algorithm of linear statistical forecasting of casual sequences the forecasting effectiveness of air's temperature and atmospheric pressure is investigated at their joint forecasting in comparison with efficiency of scalar forecasting these processes.

#### **Литература**

1. *Муха В.С., Трофимович А.Ф.* Информатика. 2008. № 1. С. 113 – 124.
2. *Муха В.С.* Информационные системы и технологии (IST'2004). Материалы междунар. конф. (Минск, Беларусь, 8-10 ноября 2004). Часть 2. С. 195 – 200.
3. *Mukha V.S.* Computer Data Analysis and Modeling. Robustness and Computer Intensive Methods. Proceeding of the 7th International Conference (Minsk, September, 6-10, 2004). Vol. 2. P. 142 – 145.