ІНЖЕНЕРНА МЕХАНІКА ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

УДК 625.72:551.509.33

Артеменко В.А., Петрович В.В., канд.техн.наук

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Анотація. Наведені результати прогнозування середньодобових температур повітря у м. Києві методом локальної аппроксимації. Розглянуті можливості та переваги даного метода прогнозування.

Ключові слова: Температурний часовий ряд, прогнозування температури повітря, метод локальної аппроксимації.

Аннотация. Приведены результаты прогнозирования среднесуточных температур воздуха в г. Киеве методом локальной аппроксимации. Рассмотрены возможности и преимущества данного метода прогнозирования.

Ключевые слова: Температурный временной ряд, прогнозирование температуры воздуха, метод локальной аппроксимации.

Annotation. In this article are broughted the results of the forecasting the mean – day air temperature in the Kiev – city by Local Approximation method. Possibility of the forecast and advantage of this method are discussed.

Key words: Air temperature time series, forecasting the air temperature, the Local Approximation method.

Введение

Лишь относительно недавно, благодаря применению методов нелинейной динамики и детерминированного хаоса, в области прогнозирования временных рядов наметился определенный прогресс.

Как известно, такие методы оказываются весьма эффективными при прогнозировании поведения детерминированно-хаотических (модельных) рядов, порожденных, например, итерацией каскадных систем (логистическое уравнение, уравнение Энона и др.), или эволюцией потоковых систем (уравнение Лоренца и другие системы обыкновенных дифференциальных уравнений, проявляющих хаотическое поведение) [1].

Однако в большинстве случаев природные процессы и явления порождают ряды, которые не являются в полной мере детерминированно-хаотическими рядами.

В том случае, когда такие природные ряды по многим своим свойствам будут достаточно близкими к модельным хаотическим рядам, прогнозирование их поведения с помощью методов нелинейной динамики даёт превосходные результаты.

В настоящее время известно достаточно много различных методов прогнозирования хаотических временных рядов.

Среди таких методов особо выделяется такой класс методов прогнозирования как методы локальной аппроксимации (методы **LA-**прогнозирования).

Один из наиболее простых в реализации метод **LA-** прогнозирования нулевого порядка рассмотрен нами в [1].

Вместе с тем подавляющее большинство природных временных рядов оказываются весьма далёкими по своим свойствам от модельных хаотических рядов. В этом случае качество прогноза сильно снижается [2].

Тем не менее, методы нелинейной динамики являются единственными методами, с помощью которых возможно адекватное прогнозирование подобных рядов.

В статье излагаются возможности прогнозирования температурных временных рядов методом локальной аппроксимации.

Результаты исследования могут быть полезны при дальнейшем совершенствовании расчетов теплового режима дорожных конструкций.

Метод локальной аппроксимации

В работе [1] был подробно рассмотрен один из наиболее простых методов прогнозирования временных рядов на основе принципов нелинейной динамики и детерминированного хаоса-метод локальной аппроксимации (метод **LA)** нулевого порядка.

Этот метод как бы непосредственно отражает идею аналогов, которые также часто называют аналогами Э.Лоренца.

Метод **LA** удобен тем, что имеет достаточно мало параметров (настроек) прогнозирования.

К таким параметрам относятся [1]:

DIM- размерность реконструированного фазового пространства(равна числу столбцов траекторной матрицы);

NNV- число аналогов, находимых для текущего вектора состояния, из которых далее формируется единый средний аналог;

N- общее число точек, на которое прогнозируется данный ряд;

NFS- число (точек), на которое осуществляли прогноз за одно обращение (один шаг) к процедуре **LA** – прогнозирования;

TAY- временная задержка, используемая при формировании траекторной матрицы (принято, что **TAY**=1).

Кроме того, этот метод позволяет осуществлять прогноз временных рядов с наличием в них фазовых переходов [3].

Следует отметить, что метод **LA** нулевого порядка не является лучшим методом с точки зрения получения сроков адекватного прогноза.

Так, использование метода **LA** первого порядка позволяет увеличить время прогнозирования, например, логистического ряда, примерно в 2 раза. Это в большей или меньшей степени относится и к другим модельным рядам.

Однако при продлении природных временных рядов методы **LA** с порядком аппроксимации выше нулевого следует применять осторожно, поскольку возможна численная неустойчивость таких методов прогнозирования. Заметим, что написать процедуру метода **LA** - прогнозирования достаточно легко. При этом не требуется обращения к таким особым процедурам как, например, **EIG( )** либо **SVD( ),** где необходимо привлечение серьёзных ресурсов ЭВМ (времени ,памяти).

Исходные данные и методика исследования

В качестве исходных данных использовался временной ряд среднесуточных температур воздуха в г. Киеве за период с 1985 по 2010 год (всего 9490 значений).

С целью облегчения манипуляций с рядом было принято, что в каждом году 365 дней, т.е. исключались данные за 29 февраля высокосного года.

Рассмотрим вначале процесс прогнозирования температуры с опережением на одну точку (одно значение) вперёд на протяжении года.

Для этого исходный ряд с 1 января 1985 г. и по 31 декабря 2009г. включительно подаём на вход процедуры прогнозирования согласно [1].

В результате получаем прогноз на одну точку вперед (т.е. на 1 января 2010 года). Наносим на график эту прогнозную точку и точку реального ряда за 1 января. Далее подаем на вход процедуры прогнозирования реальный ряд с 1 января 1985 г. по 1 января 2010 г. включительно и получаем в итоге прогноз на 2 января 2010 г.

Фиксируем на графике новую прогнозную точку и точку реального ряда за 2 января, и так далее на протяжении года. И, наконец, подаем реальный ряд с 1 января 1985 г. по 30 декабря 2010 г. на вход процедуры прогнозирования и получаем прогноз на 31 декабря.

Окончательно наносим на график эту прогнозную точку и точку реального ряда за 31 декабря 2010 г.

Таким образом, применяя одношаговое прогнозирование 365 раз, можно получать ежедневные прогнозные значения на протяжении года.

На **рис.1** приведены результаты ежедневного прогнозирования температуры воздуха в г. Киеве за 2010г. при значениях параметров прогнозирования **DIM**=10, **NNV**=1, **N**= 365 и **NFS**=1.

Как видно из рисунка, получен прогноз удовлетворительного качества. При этом в некоторых точках графика наблюдается значительное отличие реальных значений температуры (сплошная линия) от значений прогнозных (штриховая линия).

Увеличение числа находимых векторов – аналогов (**NNV**=10) заметно улучшает качество прогноза (см **рис.2**).

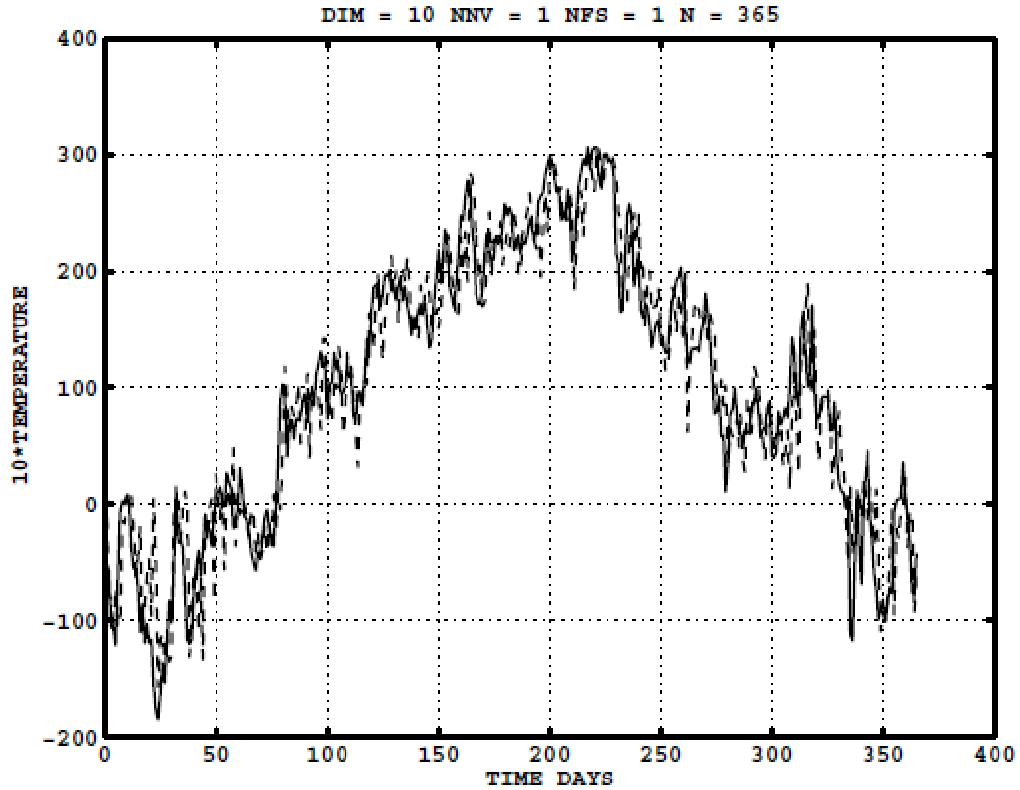

Рисунок 1

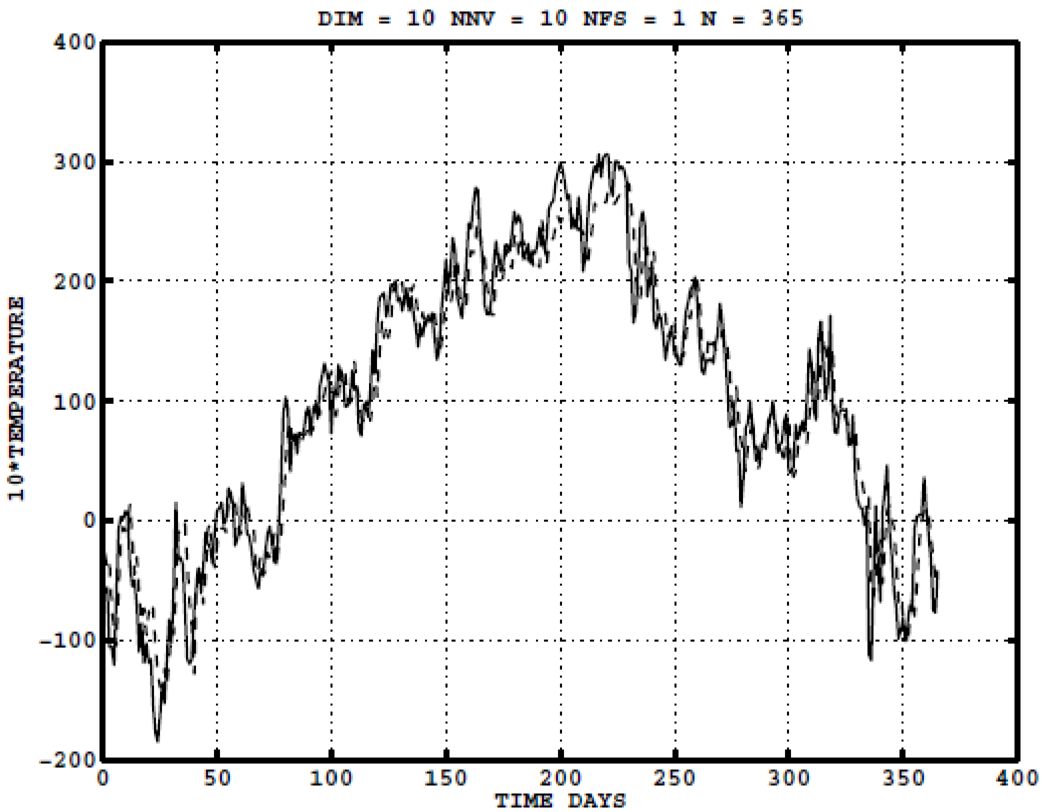

Рисунок 2

При этом данный пример не является случаем наилучшего прогнозирования, поскольку параметры **DIM** и **NNV** специально не подбирались.

В случае детерминированно-хаотического (модельного) ряда достаточной длины (порядка 10000 точек) при соответствующем выборе **DIM** и значении **NNV**=1 будем иметь почти полное совпадение реальных и прогнозных точек на графике. В тоже время, как показали проведенные численные эксперименты, для « случайного » ряда, сгенерированного с помощью «генератора случайных чисел», не удаётся получить адекватный прогноз даже на одну точку вперёд. В этой связи **рис.1** и **рис.2** прямо говорят о детерминируемости ряда среднесуточных значений температуры воздуха.

Таким образом, метод **LA –** прогнозирования также является и методом анализа временных рядов на детерминируемость, т.е. с помощью этого метода можно легко отличить детерминируемый ряд от «случайного» ряда.

Однако в данном случае понятие «детерминированности» следует понимать в контексте лишь отличия таких рядов от рядов «случайных»: т.е. если температурный ряд адекватно прогнозируется при помощи метода **LA** с опережением как минимум на одну точку (значение) вперёд, уже можно говорить о нем как о «неслучайном» ряде.

Термин «детерминированный», по-видимому, следует использовать, если прогнозируемость рассматриваемого ряда в достаточной степени приближается к прогнозируемости модельных хаотических рядов.

Однако прогноз, рассмотренный выше, не представляет особого интереса для практики, поскольку выполняется только на 1 точку (значение) вперёд (для прогноза постоянно необходимы данные реального ряда за предыдущие сутки).

Далее рассмотрим возможности прогнозирования ряда температуры воздуха на более длительные сроки. При этом используем только некоторую часть процедуры прогнозирования, позволяющую проследить эволюцию исходного вектора и его вектора-аналога сразу на определенное число точек вперед, без прогнозирования всех промежуточных точек (см.**рис.3 - рис.9**).

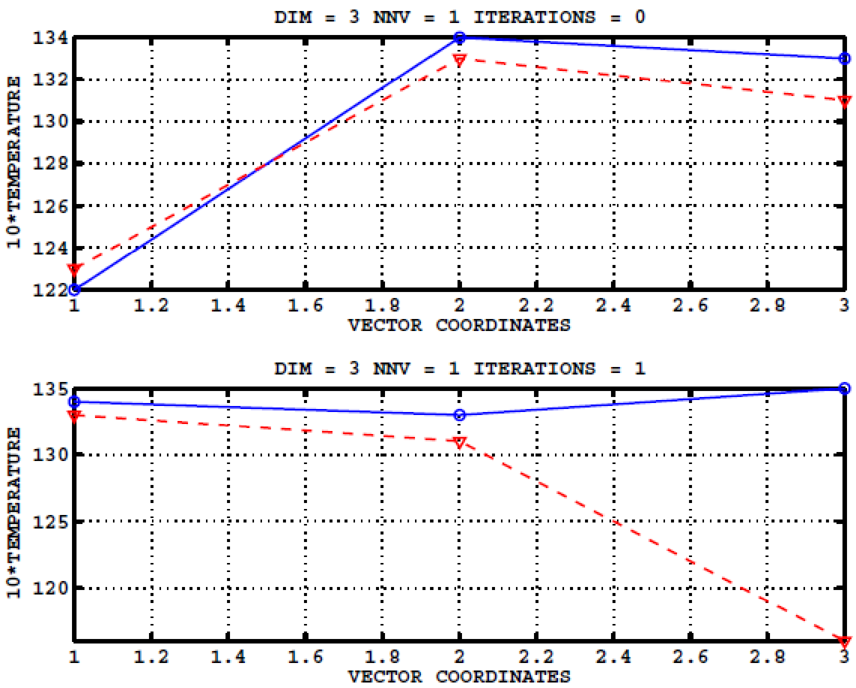

Рисунок 3

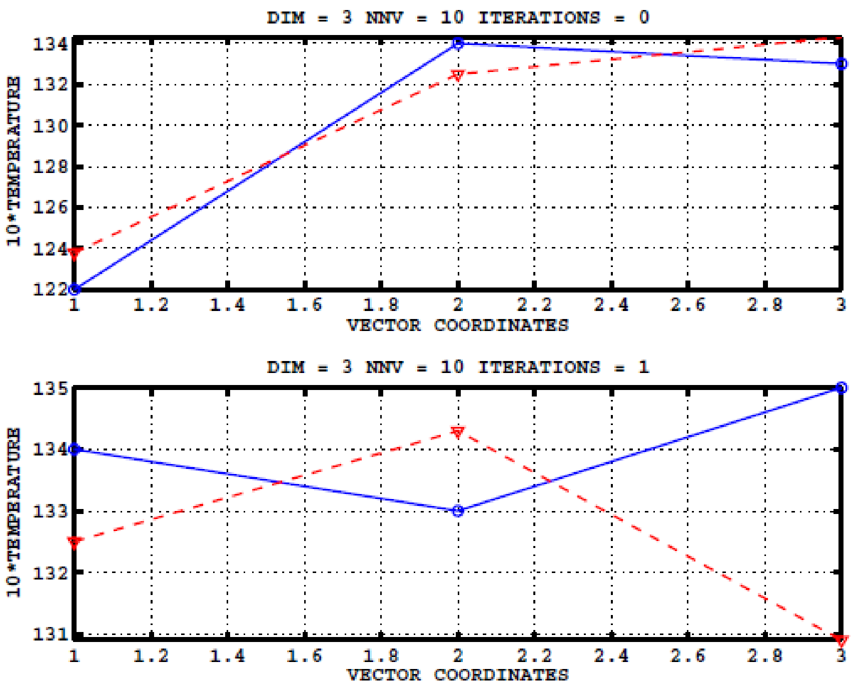

Рисунок 4

На этих рисунках верхняя часть показывает исходный вектор (сплошная линия) и найденный для исходного вектора его вектор-аналог (штриховая линия).

Нижняя часть рисунков иллюстрирует эволюцию исходного вектора и его вектора–аналога после проведения соответствующего числа итераций (перемещение «вниз» по траекторной матрице согласно [1]).

Как видно из **рис.3,** даже после одной итерации наблюдается расхождение исходного вектора и его вектора – аналога. Это может быть вызвано, возможно, тем, что при достаточно низкой размерности (**DIM**=3) происходит соответствующий выбор вектора – аналога, который является аналогом лишь в настоящий момент времени, но не является аналогом для процесса эволюции системы.

На **рис.4** приведен случай, когда **DIM**=3, но для вектора – аналога берут уже среднее арифметическое из десяти найденных аналогов (**NNV**=10). В данном случае также имеет место расхождение векторов даже после одной итерации.

Однако достаточная длина векторов (**DIM** =15) позволяет в некоторых случаях подбирать аналог, остающимся таким (с достаточной степенью точности) и для всего процесса эволюции (правда, всего на один шаг, т.е. одну итерацию согласно **рис.5**).

Конечно, делать подобное заключение на основании только последнего примера не совсем корректно, поскольку следовало бы рассмотреть максимальное число векторов - аналогов, взятых в разных частях траекторной матрицы как при параметре **DIM**=3, так и при **DIM**=15.

Однако в качестве примера можно ограничиться и таким значением аналога.

Далее рассмотрим случай, когда **DIM**=15, но **NNV**=20 (см. **рис.6**). Несмотря на то, что берем уже 20 векторов - аналогов с разных частей траекторной матрицы, результат получаем не намного лучше приведенного на **рис.5**.

На **рис.7** видно, что при **DIM**=30 даже дальнейшее увеличение числа выбираемых аналогов (**NNV**=30) не позволяет все же сформировать достаточно хорошего аналога для исходного вектора. Однако при этом заметно уменьшается расхождение рассматриваемых векторов.

Переходим теперь к рассмотрению случаев, когда выполняется более одной итерации. Только такие случаи наиболее интересны для практики.

Так, при **DIM**=30 для 5 итераций даже при значении **NNV**=30 не добиваемся отличного совпадения реальных и прогнозных значений ряда температуры (см. **рис.8**).

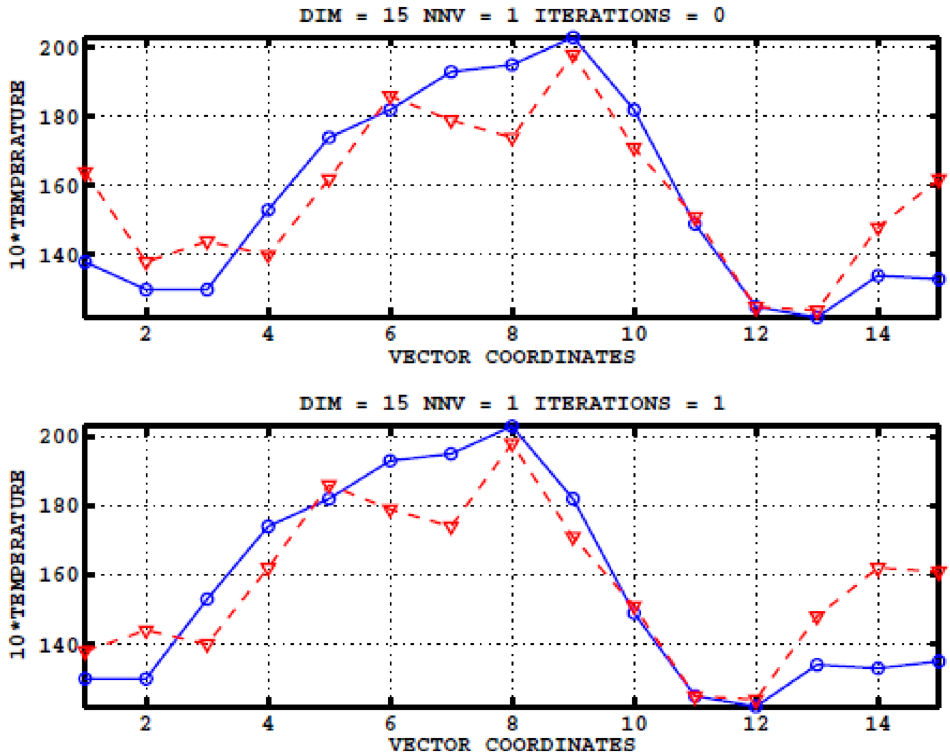

Рисунок 5

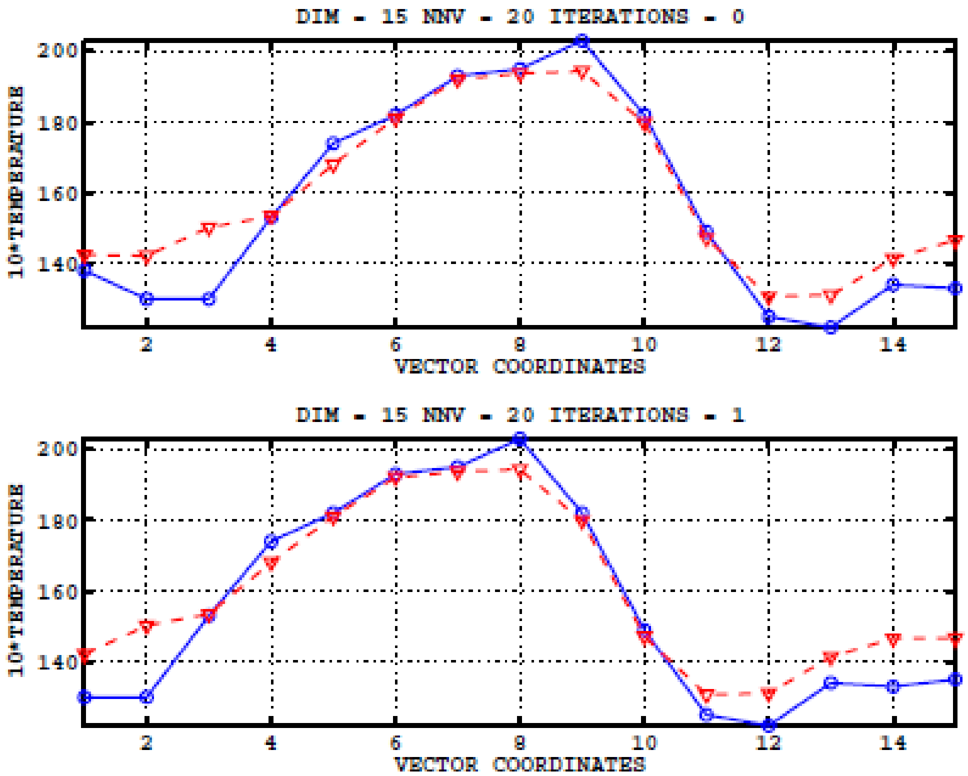

Рисунок 6

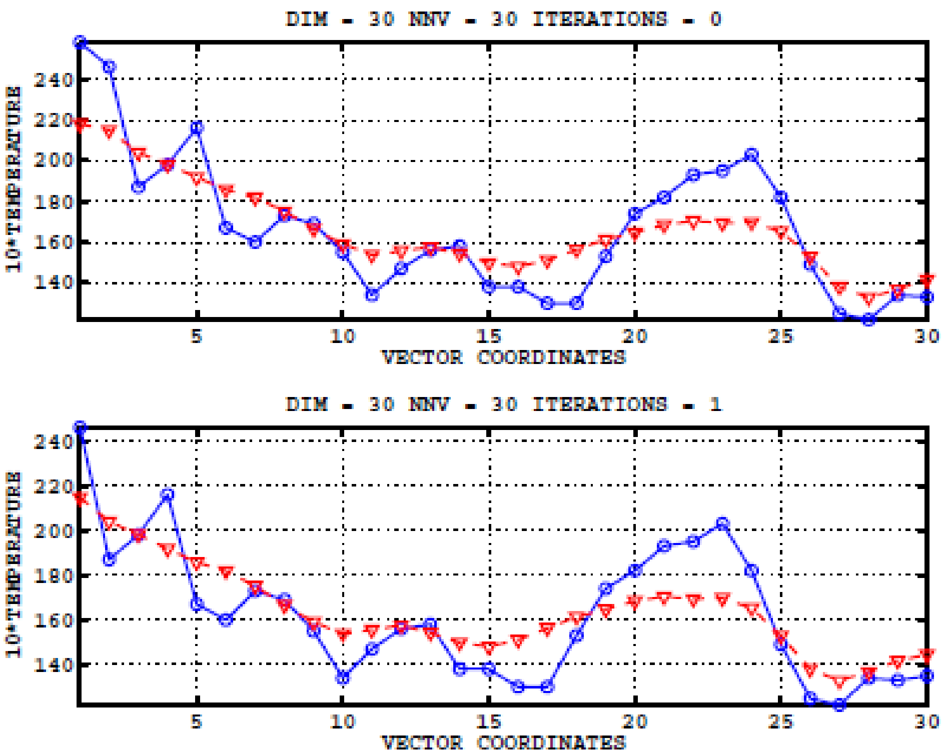

Рисунок 7

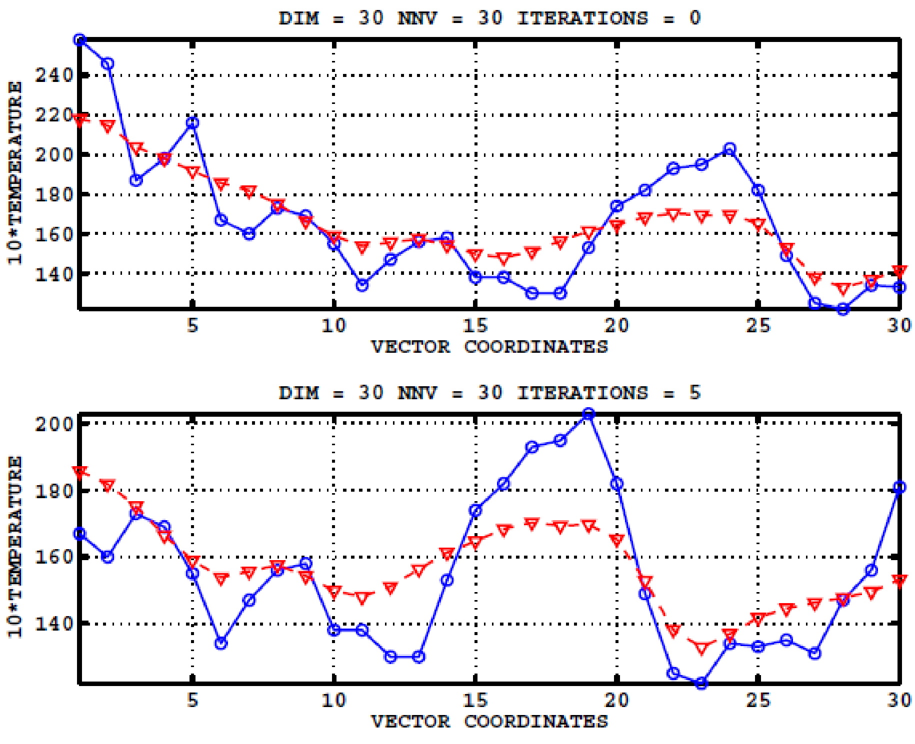

Рисунок 8

Однако ошибка в данном случае не превосходит значения примерно 2,5°C, что для некоторых практических целей будет вполне достаточно.

На **рис.9** приведён результат для 10 итераций при тех же значениях **DIM** и **NNV.**

В этом случае прогноз с достаточной для практики точностью на 10 суток вперёд является максимальным.

Более долгосрочный прогноз получается уже неудовлетворительным.

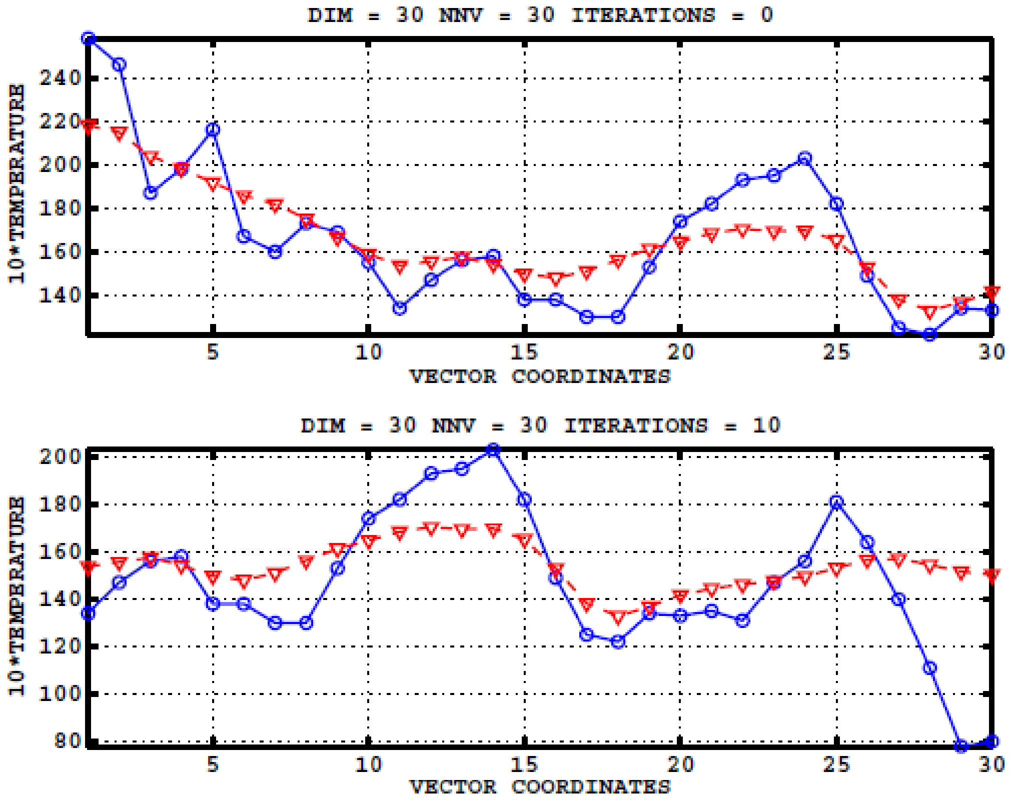

Рисунок 9

Обсуждение результатов

Подбирая различные параметры процедуры прогнозирования, мы установили, что прогноз отличного качества может быть сделан на 1…3 точки (суток) вперёд, хороший прогноз – до 5 точек (суток) вперёд.

Прогноз, который скорее всего следует назвать удовлетворительным, получается до 7 точек (суток) вперёд.

И только значительно снизив высокие требования к качеству прогноза, можно говорить о прогнозе до 10 (иногда до 12) суток вперёд.

Такой прогноз на 10-12 суток представляет наибольший интерес для практики.

Заметим, что результаты прогноза среднегодовых температур воздуха для г.Киева при использовании метода линейных разностных уравнений с отклоняющимся аргументом (уравнений «с задержкой») дают почти такой же результат «предела предсказуемости » по количеству прогнозных точек [4].

Как показали проведенные численные эксперименты, основная проблема, возникающая при прогнозировании температуры воздуха (как, собственно, и других природных временных рядов) методом **LA**, - нельзя хорошо подобрать близкие векторы-аналоги при достаточно больших значениях параметра прогнозирования **DIM**. При малых значениях этого параметра, как было отмечено выше, находимые аналоги хотя и являются достаточно близкими с точки зрения нормы векторов, тем не менее аналогами в смысле эволюции системы уже не являются. Это говорит о том, что, по-видимому, существующий оптимум в данном случае будет при значениях **DIM** ≈ 10 … 15.

Заметим, что модельные детерминированно-хаотические ряды при длине порядка 10 000 значений (точек) позволяют находить векторы-аналоги с очень большой точностью и использовать преимущества метода **LA** – прогнозирования в полной мере.

Использование временного ряда среднесуточных температур воздуха даже длиной более 40 000 значений не улучшает качества подбора аналогов (не гарантирует нахождения достаточно близких аналогов).

В этом состоит одна из причин малых сроков прогноза подобных временных рядов.

Использование ансамбля векторов-аналогов (большой величины параметра **NNV**) качества прогноза кардинально не улучшает.

В заключение отметим, что прогноз температуры, например, на 3 … 5 суток вперёд выполняется методом **LA** меньше чем за минуту даже на ПЭВМ 10…15-летней давности.

Таким образом, достигается громадное преимущество по сравнению с программами на основе гидродинамических моделей, которые в настоящее время широко используются в практике метеорологического прогнозирования. Такие программы реализуются на суперкомпьютерах и задействуют огромные вычислительные ресурсы.

Кроме того, для прогноза методом **LA** требуется только временной ряд хода температуры в отличие от трудоёмких подборов многочисленных параметров у гидродинамических моделей.

Краткие выводы

1. Изучены возможности прогноза среднесуточных температур воздуха в г.Киеве методом локальной аппроксимации (методом **LA**).

Установлено, что «предел предсказуемости» в данном случае зависит от качества подбора близких векторов-аналогов при достаточно больших значениях параметра прогнозирования **DIM**.

2. Как показали проведенные исследования, метод **LA** – прогнозирования является в то же время и методом анализа временных природных рядов на детерминируемость. С помощью этого метода можно легко отличить детерминированный ряд от ряда «случайного».

3. Отмечены значительные преимущества прогнозирования температурных временных рядов методом LA по сравнению с используемыми в настоящее время программными комплексами на основе гидродинамических моделей.

Литература

1. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації//Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 86. – К.: Вид-во НТУ. – 2012. – С. 176 – 195.
2. Артеменко В.А., Петрович В.В. Использование хаотического LA – фильтра при прогнозе природных процессов методами нелинейной динамики // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 88. – К.: Вид-во НТУ. – 2013. – С.
3. Петрович В.В., Артеменко В.А. Порівняльна оцінка виникнення фазових переходів в часових рядах температури// Дороги і мости. – Вип.12. – К.: Вид-во ДерждорНДІ. –2010. – С. 150-158.
4. Петрович В.В., Артеменко В.А. Метод наддовгострокового прогнозу змін в часових кліматичних рядах// Дороги і мости. – Вип. 13. – К.: Вид-во ДерждорНДІ. – 2011. – С.106 – 114.