

**А. А. БЕЛОЩИЦКИЙ<sup>1,2\*</sup>, А. Ю. КУЧАНСКИЙ<sup>2</sup>, Ю. В. АНДРАШКО<sup>3</sup>,  
Д. ЕДИЛХАН<sup>4</sup>, С. Н. ТОКСАНОВ<sup>4</sup>, А.Р. ФАЙЗУЛЛИН<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Astana IT University, г. Нур-Султан, Казахстан*

<sup>2</sup>*Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, г. Киев, Украина*

<sup>3</sup>*Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина*

<sup>4</sup>*Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

<sup>5</sup>*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан*

*e-mail Andrii.Biloshchytskyi@astanait.edu.kz, kuczanski@gmail.com,  
andrashkojv@gmail.com, d.yedilkhan@astanait.edu.kz, sapar.toxanov@astanait.edu.kz,  
adil.fazullin@astanait.edu.kz*

## **МОДЕЛИ СЕЛЕКТИВНОГО И ГИБРИДНОГО ТИПОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В SMART SYSTEM**

*Разработаны комбинированные модели селективного и гибридных типов с индексацией временных рядов для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в Smart System. Индексация в данных моделях происходит на основе метода ближайшего соседа с выбранными метрическими расстояниями. Описанные модели позволяют достичь высокой точности краткосрочного и среднесрочного прогнозирования по сравнению с моделями, которые включаются в базовое множество этих комбинированных моделей. Модели и соответствующие методы могут использоваться при построении Smart System мониторинга состояния окружающей среды и аппаратно-программных комплексов для общего экологического мониторинга.*

**Ключевые слова:** комбинированные модели прогнозирования; загрязнение воздуха; экологический мониторинг.

**Введение.** Загрязнители воздуха могут вызвать широкое многообразие проблем, включая уменьшение видимости, неприятные запахи, вред культурным растениям, негативное влияние на здоровье людей и животных (сердечно-сосудистые, нервные заболевания, повреждения дыхательной системы, глаз, почек и других органов). Они не только влияют на воздух, но также могут загрязнять воду и пищевые продукты. Общее качество нашей окружающей среды в некоторых случаях может серьезно влиять на выживание людей, животных и растений. Эффект воздействия на окружающую среду зависит от характера и протяженности источников воздушного загрязнения, где, как и на какой высоте загрязнители выбрасываются в воздух, возникают химические превращения при выбросе загрязнителей, а также от метеорологических факторов. Контроль и прогнозирование уровня загрязнения воздуха необходим для того, чтобы защитить окружающую среду и здоровье человека.

Задачей исследования является построение комбинированных моделей селективного и гибридных типов с индексацией временных рядов для расчета краткосрочного и среднесрочного прогноза уровней загрязнения воздуха. Предполагается, что данные модели могут помочь эффективно выявлять и предвидеть загрязнители, концентрация которых возрастает и может нанести вред. Это позволит осуществлять оперативное

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [andrii.biloshchytskyi@astanait.edu.kz](mailto:andrii.biloshchytskyi@astanait.edu.kz)

управление различными аспектами экологической безопасности на той или иной территории (в городе, в промышленной зоне и т.п.). Поскольку состояние окружающей среды как объект динамично меняется, то функционирование этого объекта может происходить в некоторой Инфокоммуникационной системе или Smart System.

Smart System мониторинга состояния окружающей среды представляет собой сочетание:

- аппаратно-программного комплекса по экологическому мониторингу. Аппаратная часть комплекса экологического мониторинга представляет собой экологическую станцию, предназначенную для непрерывного мониторинга различных экологических показателей окружающей среды, предварительной обработки информации, ее хранения и передачи в программной части с помощью определенных каналов связи. Программная часть построена с применением микро-сервисной архитектуры и предназначена для сбора, обработки и хранения информации из сети экологических станций, ее анализа и отображения конечным пользователем;

- методов обработки входящей информации и моделей прогнозирования уровней загрязнения воздуха и тому подобное;

- источников информации (информация о загрязнении воздуха различными загрязнителями, координаты GPS с места сбора данных о состоянии окружающей среды и т.п.);

- потребителей информации (организации, занимающиеся обеспечением экологической безопасности).

С ростом промышленных мощностей и увеличением уровня развития стран задача прогнозирования загрязнения воздуха становится все более актуальной. В работе [1] исследовано применение моделей нейронных сетей к прогнозированию концентрации некоторых загрязняющих веществ в воздухе Лондона. В работе [2] авторы также применили к этой задаче нейросети с возможностью обнаружения периодических компонент в изменении концентрации загрязнителей. В работе [3] рассматривается метод опорных векторов для краткосрочного прогнозирования уровня загрязнения воздуха города Макао.

В данном исследовании рассматривается построение комбинированных моделей селективного и гибридных типов с предыдущей индексацией временных рядов. В работе [4] рассматриваются особенности выявления сходства во временных рядах. В работах [5, 6] рассматривается использование метода ближайшего соседа для прогнозирования временных рядов, в том числе финансовых. В работе [7] рассматривается метод прогнозирования, который использует сравнения различных фрагментов временного ряда с образцом. В работе [8] рассматривается метод прогнозирования на основе селективного сопоставления с образцом, описаны возможные критерии селекции моделей прогнозирования. Метод прогнозирования знаков приростов, который использует принципы построения комбинированных моделей описано в работе [9]. Для эффективного прогнозирования, при выборе параметров моделей или на этапе принятия решений по тенденции изменения значений временного ряда может быть использовано нечеткие экспертные системы, методы построения которых описано в работе [10].

Исследовательские материалы и результаты исследования

Уровень загрязнения воздуха специфическими загрязнителями (оксид углерода, гидрокарбонаты, диоксин серы, диоксин азота, свинец, ртуть и т. д.) фиксируется в определенные моменты времени можно представить в виде конечного дискретного временного ряда без пропусков как последовательности действительных чисел, обозначающих концентрацию загрязнителя  $r_i \in R, i = 1, n$

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (1)$$

В данном случае временной ряд представляет уровни загрязненности воздуха одним из загрязнителей (оксид углерода, гидрокарбонаты, диоксин серы, диоксин азота, свинец, ртуть и т. д.), фиксируется аппаратно-программным комплексом Smart System мониторинга состояние окружающей среды. Значения могут быть зафиксированы с периодичностью в месяц, неделю, день, час и т.п. Задача заключается в расчете оценки уровня загрязненности воздуха одним из загрязнителей с горизонтом, то есть для каждого следующего момента времени  $n + 1, n + 2, \dots, n + \theta$ . Другими словами, необходимо построить модель, которая бы позволяла рассчитать оценки прогнозов уровня загрязнения с периодом  $\tau = 1, \theta$ , то есть рассчитать значение прогнозируемого часового ряда:

$$R^* = (\bar{r}_{n+1}, \bar{r}_{n+2}, \dots, \bar{r}_{n+\theta}), \quad (2)$$

где  $\theta$  фиксируется перед расчетом прогноза.

Пусть  $m$  – объем ретроспективной выборки, то есть размерность того участка входного временного ряда, непосредственно предшествует точке, в которой рассчитывается прогноз (точке  $r_n$ ) и которая задействована в расчете оценок прогноза,  $m \leq n$ . Функциональная зависимость, на основе которой определяются оценки прогноза (2) называется моделью прогнозирования. Причем  $\bar{r}_{n+\tau}$  – оценка прогноза, который рассчитывается в точке  $r_n$  на  $\tau$  точек вперед или с периодом  $\tau, \tau = 1, \theta$ . Если формально обозначить такую модель через  $f$ , то прогноз, который рассчитывается в точке  $r_n$  на одну точку вперед или с периодом 1, можно определить следующим образом:

$$\bar{r}_{n+1} = f(r_{n-m+1}, r_{n-m}, \dots, r_n). \quad (3)$$

Для прогнозирования таких временных рядов могут быть применены трендовые модели, адаптивные полиномиальные модели сглаживания и тому подобное. Для расчета прогноза рассмотрим подход построения комбинированных моделей с учетом сходства в динамике входного временного ряда, а также других временных рядов уровня загрязнения воздуха. Рассмотрим два типа комбинированных моделей: селективный и гибридный. Прогноз в селективной комбинированной модели реализуется на основе единой модели, избирается путем селективного отбора из базового набора моделей. Процедура селективного отбора реализуется на основе некоторого критерия селекции. Критерий селекции, как правило, представляет собой оценку погрешности прогнозирования данной модели в точке прогноза. В данном исследовании будем осуществлять селективный выбор отдельно для каждого из значений  $\tau = 1, \theta$ . Это связано с тем, что некоторые модели являются более точными для краткосрочного прогнозирования, другие – для среднесрочного.

Пусть задан базовый набор моделей прогнозирования уровня загрязнения воздуха  $F = (f_1, f_2, \dots, f_v)$ . Для каждой из моделей  $f_k$ ,  $k = \overline{1, v}$  рассчитаем критерии эффективности для по одной из формул:

$$\Phi_0^k(\tau) = \sum_{i=0}^m b_i^k \left| r_{n-m+i} - \bar{r}_{n-m+i}^{(\tau+1),k} \right|, \quad (4)$$

$$\Phi_0^k(\tau) = \sum_{i=0}^m b_i^k \frac{\left| r_{n-m+i} - \bar{r}_{n-m+i}^{(\tau+1),k} \right|}{r_{n-m+i}} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $\bar{r}_{\square}^{(\tau+1),k}$  – прогнозные значения временного ряда, которые спрогнозированы на  $\tau$  точек вперед за  $k$ -й моделью  $f_k$ ,  $k = \overline{1, v}$ ,  $\square = \overline{n-m, n}$ , а  $b_i^k$ ,  $i = \overline{0, m}$  – нормированные веса,  $b_0 + b_1 + \dots + b_m = 1$ .

Для прогнозирования в точке  $r_n$  на  $\tau = \overline{1, \theta}$  избирается та модель из набора  $F$ , для которой для фиксированного  $m$ ,  $m < n$  та  $j \in \{0, 1\}$ , выполняется условие:

$$f^{*,\tau} = \arg \min_{k=1,v} \Phi_j^k(\tau), \quad (6)$$

где  $f^{*,\tau}$  – модели, избираемых для прогнозирования на  $\tau$  точек вперед или с периодом  $\tau$ ,  $k = \overline{1, v}$ ,  $v = \text{card}(F)$ . Соответствующие оценки прогнозов по данным моделям обозначим так:  $\bar{r}_{n+1}^*$ ,  $\bar{r}_{n+2}^*$ , ...,  $\bar{r}_{n+\theta}^*$ .

Проведем индексацию временного ряда  $R$ . Для этого рассматриваем участок ряда, который предшествует прогнозу и включает точку, в которой прогноз рассчитывается:

$$r' = (r_{n-\mu}, r_{n-\mu+1}, \dots, r_n), \quad (7)$$

где  $\mu$  – размерность этого участка. Значение  $\mu$  определяется экспериментальным путем или фиксируется на основе экспертного опроса. Если  $\mu$  выбрать большим, то на результат индексации и соответственно прогноза будут влиять устаревшие значения временного ряда. Если  $\mu$  выбрать маленьким, то теряется некоторая информация о поведении временного ряда.

Рассмотрим два варианта проведения индексации:

1. Нахождение такого участка временного ряда  $R$  размерности  $\mu$ , которая подобна участку  $r'$  на основе определенной степени близости, например, расстояния Евклида (8), меры Минковского (9):

$$w_0(R, r') = \sqrt{\sum_{\square=0}^{n-2\mu} \sum_{j=1}^{\mu} (r_{\square+j} - r_{n-\mu+j})^2}, \quad (8)$$

$$w_1(R, r') = \left( \sum_{\square=0}^{n-2\mu} \sum_{j=1}^{\mu} |r_{\square+j} - r_{n-\mu+j}|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (9)$$

2. Введение в рассмотрение другого временного ряда  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ , который также отражает уровень загрязненности воздуха и нахождение на основе определенной степени близости такого участка данного временного ряда размерности  $\mu$ , которая подобна участку  $r'$ . В этом случае формулы (8), (9) будут иметь вид:

$$w_0(Z, r') = \sqrt{\sum_{h=0}^{n-\mu} \sum_{j=1}^{\mu} (z_{h+j} - r_{n-\mu+j})^2}, \quad (10)$$

$$w_1(R, r') = \left( \sum_{\square=0}^{n-\mu} \sum_{j=1}^{\mu} |z_{\square+j} - r_{n-\mu+j}|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (11)$$

Пусть на основе первого или второго подхода был определен участок размерности  $\mu$ , которая подобна  $r'$ . Обозначим ее через:

$$r'' = (r_{n-\mu-g}, r_{n-\mu-g-1}, \dots, r_{n-g}), \quad (12)$$

где  $g > \mu$ ,  $g + \mu \leq n + 1$ .

Формально это означает, что среди других участков размерности  $\mu$  входного временного ряда или набора временных рядов нет таких, для которых степень близости была бы меньше, чем мера близости между участками  $r'$  и  $r''$ .

Прогноз временного ряда уровня загрязнения воздуха  $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ , рассчитанный в точке  $r_n$  с горизонтом  $\tau = \overline{1, \theta}$  на основе комбинированной модели селективного типа определяется по формуле:

$$\bar{r}_{n+\tau} = \rho \cdot r_{n-g+\tau} + (1-\rho) \cdot \bar{r}_{n+\tau}^*, \quad (13)$$

где  $\rho \in [0, 1]$  – параметр, определяющий какой из прогнозов (на основе селекции или на основе сходства участков временного ряда) имеет больший вес в определении результата прогнозирования. Подробнее об этой модели описано в работе [8].

При построении комбинированной модели гибридного типа нужно для каждого значения  $\tau = \overline{1, \theta}$  построить такие наборы моделей, обозначим их через  $F_\tau$ , которые включают только те модели, которые могут быть точными на текущей участке временного ряда и  $F_\tau \subset F$  при  $\tau = \overline{1, \theta}$ . Такой отбор применяется для того, чтобы менее точные модели с базового набора не повлияли на результат прогнозирования.

Введем в рассмотрение пороговое значение  $\gamma$ , определяемое прогнозом по результатам прогнозирования экспериментального участка временного ряда. Тогда по формуле (4) или (5) находим значения погрешностей и определяем множества  $F_\tau$  за правилом:

$$F_\tau = \{f^k \mid \Phi_j^k(\tau) \leq \gamma, k = \overline{1, v}, j \in \{0, 1\}\}, \tau = \overline{1, \theta}, \tau = \overline{1, \theta}, \quad (14)$$

то есть избираются только те модели, для которых значение погрешности не превышает порогового значения  $\gamma$ .

Обозначим оценки прогнозов по моделям, которые включены в наборы  $F_1, F_2, \dots, F_\theta$  соответственно через  $\bar{r}_{n+1}^{(1), c_\tau}, \bar{r}_{n+1}^{(2), c_\tau}, \dots, \bar{r}_{n+1}^{(\theta), c_\tau}$ , где  $c_\tau = 1, \text{card}(F_\tau)$ . Тогда прогноз по комбинированной модели гибридного типа с учетом подобных участков входного временного ряда  $R$  рассчитывается по формуле:

$$\bar{r}_{n+\tau} = \rho \cdot r_{n-g+\tau} + (1-\rho) \cdot \left( \sum_{i=1}^{c_\tau} \varphi_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^{c_\tau} (\varphi_j \cdot \bar{r}_{n+\tau}^{(\tau), c_\tau}), \quad (15)$$

где  $\rho \in [0, 1]$  – параметр, определяющий вес прогнозов, а  $\varphi_i$  – весовые коэффициенты,  $i = \overline{1, c_\tau}$ ,  $\tau = \overline{1, \theta}$ .

Алгоритм прогнозирования по моделям гибридного и селективного типов с учетом сходства временных рядов в инфокоммуникационной системе мониторинга состояния окружающей среды состоит из следующих шагов:

1. Загрузка временного ряда  $R$  уровня загрязненности воздуха одним из загрязнителей.

2. Построение базового набора моделей. Например, базовый набор может включать адаптивные модели Хольта разных порядков, модели текучих средних и тому подобное.

3. Выбор значения горизонта прогнозирования  $\theta$  и значения параметров для моделей прогнозирования. Реализация моделей прогнозирования с базового набора.

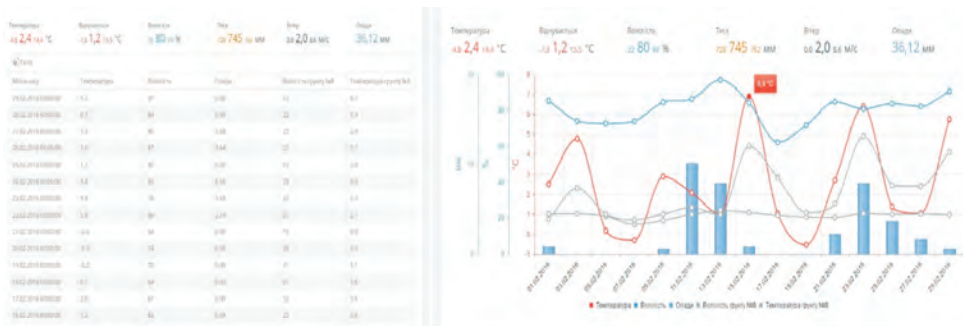
4. Для каждого  $\tau = \overline{1, \theta}$  на основе базового набора строят подмножества наиболее точных моделей на текущей участке ряда, то есть наборы по формуле (14).

4. Индексация временного ряда для идентификации сходств. За основу выбирается участок входного временного ряда размерности  $\mu$ , непосредственно предшествует точке, в которой выполняется прогноз. Индексация выполняется по методу ближайшего соседа. В качестве меры сходства выбирается одно из метрических расстояний (формулы (8) - (11)). На выходе получаем некий участок входного или другого временного ряда, которая подобна участку, предшествующего прогнозу.

5. Расчет прогноза с горизонтом  $\theta$  на основе комбинированной адаптивной модели селективного типа с учетом индексации по формуле (13) и комбинированной модели гибридного типа с индексацией по формуле (15). Параметр сглаживания выбирается экспериментальным путем. На выходе получаем прогнозный временной ряд уровня загрязнения воздуха  $R^*$ .

Результатом исследования является формализация комбинированных моделей селективного и гибридного типов с индексацией временного ряда для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в Smart System мониторинга окружающей среды. Выявлено, что в случае использования селективной модели прогнозирования с индексацией временного ряда, можно получить высокую эффективность прогнозирования по сравнению с моделями, которые включены в общий набор для значений  $\tau \geq 3$ . Использование же гибридной модели с индексацией позволяет получить высокую эффективность прогнозирования, как правило, при  $\tau < 3$ . Данные для проведения эксперимента были собраны аппаратно-программным комплексом по экологическому мониторингу, который включается в разработанную Smart System мониторинга состояния окружающей среды для г. Киева (Украина). На основе разработанных моделей были спрогнозированы временные ряды уровней различных загрязнителей (объем ретроспективных данных – до 1000 точек). Для общего набора моделей были включены модели Хольта, Хольта-Винтерса и изменяющиеся средние с различными периодами. В качестве меры близости для проведения процедуры индексации избрано расстояние Евклида. Например, для прогнозирования уровня загрязнения диоксином углерода в центральной части г. Киева было выявлено, что минимальная относительная погрешность среди всех моделей, функционирующих в системе, отвечает комбинированной гибридной модели с индексацией временных рядов и составляет около 1.2% минимальной погрешностью по селективной модели с индексацией, составляет около 2.4%.

Smart System мониторинга состояния окружающей среды позволяет следить за погодными условиями и микроклиматом на конкретном объекте. Например: в городе, а также в саду, теплице, ферме, поле круглый год в режиме реального времени из любой точки земного шара. Все это, безусловно, поможет нам контролировать состояние окружающей среды, прогнозировать уровень загрязнения углекислым газом и т. д. Результаты Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meeo) показаны на Рисунке 1.



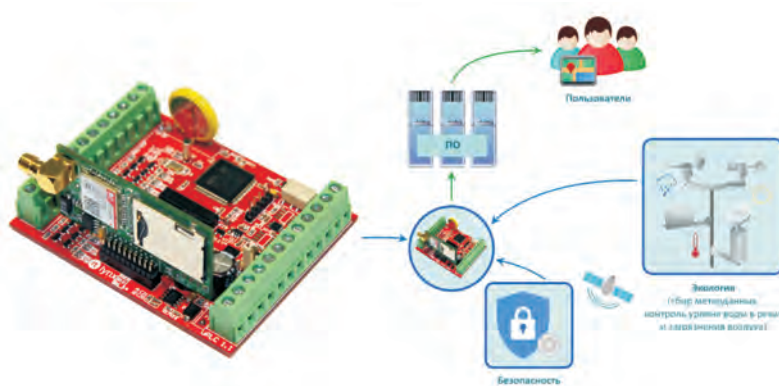
**Рисунок 1** – Результаты прогнозирования в Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meeo).

Был разработан уникальный программируемый логический контроллер (Рис.2), который использовался для получения отчетов о загрязнении воздуха и прогнозов.

Этот контроллер модульной архитектуры предназначен для решения задач телематики, контроля и управления:

- Управление электронным и электромеханическим оборудованием;
- Автоматизация и управление технологическими процессами;
- Сбор, обработка, хранение и передача данных.

Основной особенностью контроллера является возможность работы в разных режимах: автономном и с программной интеграцией высокого уровня для настройки, администрирования и управления контроллером. Конфигурация контроллера была разработана с использованием встроенного интерпретатора языка программирования Lua.



**Рисунок 2** – Универсальный программируемый логический контроллер.

При проведении экспериментов мы использовали модуль GSM для передачи результатов измерений на веб-сервер. Перед отправкой данные были сжаты. Вся обработка данных и прогноз загрязнения производились на сервере. Модульная структура UPLC позволяет использовать более энергоэффективные и дешевые решения на основе стандарта IEEE 802.15.4 с использованием протокола Zigbee [11, 12].

Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meteo), помимо прогнозирования загрязнения окружающей среды, может также выполнять ряд задач, например (Рис. 3).

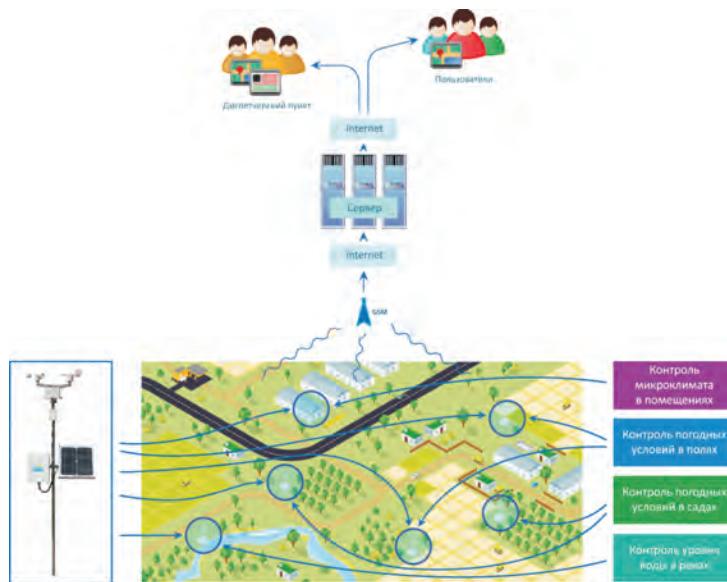


Рисунок 3 – Сфера деятельности Инспектор Метео.

Разработаны комбинированные модели селективного и гибридных типов с индексацией, которые могут быть использованы для прогнозирования уровня загрязнения воздуха, как составляющие Smart System мониторинга окружающей среды. Модели позволяют достичь высокой точности краткосрочного и среднесрочного прогнозирования по сравнению с моделями, которые включаются в базовый набор комбинированных моделей.

Разработанные модели прогнозирования временных рядов могут быть использованы не только для задачи прогнозирования уровня загрязнения воздуха. Эти модели также могут быть эффективно использованы и для задачи прогнозирования финансовых, технологических и других типов показателей, которые представляются временными рядами.

Статья написана в рамках исследований по государственному заказу на реализацию научной программы по бюджетной программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности за счет средств республиканского бюджета» по теме «Разработка интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем для городской инфраструктуры: транспорт, экология, энергетика и аналитика данных в концепте Smart City».



## ЛИТЕРАТУРА

1 Гарднер М., Дорлинг С. Р. “Нейросетевое моделирование и прогнозирование почасовых концентраций NOx и NO2 в городском воздухе Лондона” / *Атмосферная среда*. 1999. – V. 5(33) – с. 709-719.

2 Колемайнен М., Х. Мартикайнен Х., Руусканен Дж. “Нейронные сети и периодические компоненты, используемые в прогнозировании качества воздуха” / *Атмосферная среда*. 2001. – V. 5(35) – с. 815-825.

3 Чи-Ман Вонг, Ип Венг-Фай, Вонг Пак-Кин, Ян Цзин-И. “Краткосрочное прогнозирование загрязнения воздуха в Макао с использованием машин опорных векторов” / *Журнал науки и техники в области управления* 2012. 2012 – стр. 1-11.

4 Голдин Д. К., Канеллакис П. С. “О запросах подобия для данных временных рядов: спецификация и реализация ограничений” / 1995 1-я Международная конференция по принципам и практике программирования ограничений: Кассис, Франция. 1995 – стр. 137-153.

5 Фернандес-Родригес Ф., Сосвиля-Риверо С., Андрада-Феликс Дж. “Прогнозы ближайших соседей на валютных рынках” / *Фонд изучения экономики*, 2002. – № 5 – с. 1-36.

6 Перлин М. С. “Метод ближайшего соседа” / *Revista Eletrônica de Administração*. 2007. – V. 13 (2) – стр. 1-15.

7 Сингх С. “Моделирование моделей в прогнозировании временных рядов” / *Кибернетика и системы*. Международный журнал. 2000. – V. 31, – № 1. – с. 49-65.

8 Кучанский А., Белошицкий А. “Метод выборочного сопоставления шаблонов для прогнозирования временных рядов” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2015. – V. 6, – № 4(78) – стр. 13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2015.54812

9 Берзлев А. “Метод прогнозирования приращений временных рядов” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2013. – V. 2, – № 4(62) – с. 8-11.

10 Мулеса О., Гече Ф. “Разработка нечетких экспертных методов численной оценки объекта для задач прогнозирования” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2016. – V. 3, – № 4(81) – с. 37-43.

11 Чон Вон Квон, Парк Ен Ман, Сан Чжун Ку, Хиесик Ким. ” Проектирование системы мониторинга загрязнения воздуха с использованием сетей ZigBee для повсеместного города ” / *Международная конференция 2007 года по конвергентным информационным технологиям*. 2007. – с. 1024-1031.

12 Васим К. Устад, Мали А. С., Сухас С. Кибиле. “Беспроводная система мониторинга загрязнения воздуха на основе Zigbee с использованием недорогих и энергоэффективных датчиков” / *Международный журнал инженерных тенденций и технологий*. 2014. – V. 10, – № 4 – с. 456-460.

## REFERENCES

1 Gardner M., Dorling S.R. “Neural Network Modelling and Prediction of Hourly NOx and NO2 Concentrations in Urban Air in London” / *Atmospheric Environment*. 1999. – V. 5(33) – p.709-719.

2 Kolehmainen M., H. Martikainen H., Ruuskanen J. “Neural Networks and Periodic Components Used in Air Quality Forecasting” / *Atmospheric Environment*. 2001. – V. 5(35) – p.815-825.

3 Chi-Man Vong, Ip Weng-Fai, Wong Pak-Kin, Yang Jing-Yi. “Short-Term Prediction of Air Pollution in Macau Using Support Vector Machines” / *Journal of Control Science and Engineering* 2012. 2012 – p.1-11.

4 Goldin D.Q., Kanellakis P.C. “On Similarity Queries for Time-Series Data: Constraint Specification and Implementation” / 1995 1-st International Conference on the Principles and Practice of Constraint Programming: Cassis, France. 1995 – p.137-153.

5 Fernández-Rodríguez F., Sosvilla-Rivero S., Andrada-Félix J. “Nearest-neighbour predictions in foreign exchange markets” / *Fundacion de Estudios de Economia Aplicada*. 2002. – No. 5 – p. 1-36.

6 Perlin M.S. “Nearest neighbor method” / Revista Eletrônica de Administração. 2007. – V.13 (2) – p.1-15.

7 Singh S. “Pattern modeling in time-series forecasting” / Cybernetics and Systems. An International Journal. 2000. – V. 31, – No. 1 – p.49-65.

8 Kuchansky A., Biloshchytskyi A. “Selective pattern matching method for time-series forecasting” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. – V.6, – No. 4(78) – p.13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2015.54812

9 Berzlev A. “A method of increments sings forecasting of time series” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2013. – V. 2, – No. 4(62) – p. 8-11.

10 Mulesa O., Geche F. “Designing fuzzy expert methods of numeric evaluation of an object for the problems of forecasting” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. – V. 3, – No. 4(81) – p. 37-43.

11 Jong-Won Kwon, Yong-Man Park, Sang-Jun Koo, Hiesik Kim. “Design of air pollution monitoring wystem using ZigBee networks for ubiquitous-city” / 2007 International Conference on Convergence Information Technology. 2007. – p. 1024-1031.

12 Vasim K. Ustad, Mali A.S., Suhas S. Kibile. “Zigbee based wireless air pollution monitoring system using low cost and energy efficient sensors” / International Journal of Engineering Trends and Technology. 2014. – V. 10, – No. 4 – p. 456-460.

**А. А. БЕЛОЩИЦКИЙ<sup>1,2</sup>, А. Ю. КУЧАНСКИЙ<sup>2</sup>,  
Ю. В. АНДРАШКО<sup>3</sup>, Д. ЕДИЛХАН<sup>4</sup>, С. Н. ТОКСАНОВ<sup>4</sup>,  
А.Р. ФАЙЗУЛЛИН<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Astana IT University, Нұрсұлтан қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Киев қ., Украина

<sup>3</sup>Ужгород ұлттық университеті, Ужгород қ., Украина

<sup>4</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Өскемен қ., Қазақстан

<sup>5</sup>М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,  
Петропавл қ., Қазақстан

## **SMART SYSTEM-дегі АУА ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІНІҢ УАҚЫТТЫ СЕРИЯЛАРЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН СЕЛЕКТИВТІ ЖӘНЕ ГИБРИДТІК ТҮРЛЕРДІҢ МОДЕЛДЕРІ**

*SMART SYSTEM-де ауаның ластану деңгейін болжау үшін уақыттық серияларды индекстеуі бар селективті және гибриді типтердің аралас модельдері әзірленді. Бұл модельдерде индекстеу таңдалған метрлік арақашықтықтары бар жақын көрші әдісіне негізделген. Сипатталған модельдер осы біріктірілген модельдердің базалық жиынтығына кіретін модельдермен салыстырғанда қысқа және орта мерзімді болжаудың жоғары дәлдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Модельдер мен сәйкес әдістерді қоршаған ортаның жай-күйін бақылаудың ақылды жүйесін және жалпы экологиялық мониторингке арналған аппараттық-бағдарламалық кешендерді құру үшін қолдануға болады.*

**Түйін сөздер:** болжамды біріктірілген модельдер; ауаның ластануы; экологиялық мониторинг.

**A.A. BILOSHCHYTSKYI<sup>1,2</sup>, A.Y. KUCHANSKY<sup>2</sup>, Y. V. ANDRASHKO<sup>3</sup>,  
D.YEDILKHAN<sup>1</sup>, S. N. TOXANOV<sup>4</sup>, A. R. FAIZULLIN<sup>5</sup>**

*<sup>1</sup>Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

*<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

*<sup>3</sup>Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine*

*<sup>4</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

*<sup>5</sup>M.Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan*

## **MODELS OF SELECTIVE AND HYBRID TYPES FOR FORECASTING TIME SERIES OF AIR POLLUTION LEVEL IN SMART SYSTEM**

*Combined models of selective and hybrid types with time series indexing have been developed to predict the level of air pollution in the Smart System. Indexing in these models is based on the closest neighbour method with selected metric distances. The models described provide high short- and medium-term accuracy compared to the models included in the core set of these combined models. Models and corresponding methods can be used to build a Smart System for monitoring the state of the environment and hardware and software complexes for general environmental monitoring.*

**Keywords:** *combined forecasting models; air pollution; environmental monitoring.*