

УДК 614.8

*Р. Г. Мелещенко, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0001-5411-2030)
Національний університет громадянської захисти України, Харків, Україна*

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Разработан инженерно-технический метод предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера путем контроля состояний атмосферного воздуха, загрязненного выбросами вредных веществ от технических объектов. Новый научный результат состоит в использовании текущих рекуррентных диаграмм и соответствующей меры рекуррентности вектора состояний концентраций загрязнений атмосферы. Отличительной особенностью является использование нижней треугольной формы текущих рекуррентных диаграмм. Определение меры рекуррентности состояний осуществляется на основе усреднения текущей рекуррентной диаграммы в динамическом окне нарастающей ширины. При этом ширина окна возрастает в соответствии с интервалом времени измерений. Предложенный метод позволяет с помощью контроля атмосферных загрязнений оперативно выявлять не только явные, но и скрытые опасные ситуации на объектах, предупреждая появление возможных чрезвычайных ситуаций техногенного характера. На основе предложенной меры разработана параметрическая модель определения текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха. Входными данными модели являются результаты реальных измерений концентрации вредных веществ в атмосфере. Измерение концентрации вредных веществ в атмосфере производится на существующих стационарных или подвижных постах контроля. Новый научный результат состоит в использовании предложенной меры текущей рекуррентности состояний, которая выявляет во времени интервалы отсутствия рассеивания загрязнений и их накопления атмосферой. Разработан управляющий алгоритм нового инженерно-технического метода предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе предлагаемого контроля текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха. Данный управляющий алгоритм позволяет реализовать предлагаемый метод предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, как на территории объектов, так и прилегающих территориях. Описана процедура применения инженерно-технического метода предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе контроля текущей рекуррентности состояний атмосферных загрязнений, состоящая из семи последовательных связанных процедурных элементов.

Ключевые слова: инженерно-технический метод предупреждения чрезвычайных ситуаций, атмосферное загрязнение, рекуррентная диаграмма, мера рекуррентности, рекуррентность состояний

1. Введение

Государственная политика Украины в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера состоит в реализации комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на предупреждение и снижение последствий таких ЧС. Мировой опыт в области защиты населения и территорий от ЧС техногенного характера свидетельствует о том, что затраты на мероприятия по предотвращению ЧС оказываются значительно ниже затрат на восстановление наносимого ущерба. Предотвращение ЧС обычно реализуется заблаговременным проведением комплекса мероприятий (превентивных мер), направленных на уменьшение риска возникновения ЧС, сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде, а также возможных материальных потерь. Основным мероприятием по предотвращению ЧС техногенного характера является своевременное выявление возможных угроз с целью принятия необходимых оперативных управленческих решений. При этом интенсивное развитие техногенной сферы (объектов энергетики,

промышленности, транспорта и др.) неизбежно приводит к риску возникновения ЧС техногенного характера, в том числе отсроченного их действия. Понятие отсроченного действия ЧС связано с постоянным ростом количества вредных и опасных веществ, выбрасываемых в окружающую атмосферу объектами технической сферы. По данным многолетнего мирового мониторинга, количество выбрасываемых в атмосферу вредных химических соединений и веществ объектами технической сферы удваивается примерно каждые десять лет. В этой связи предотвращение ЧС техногенного характера и в том числе с отсроченным сроком их действия, связанных с выбросами вредных веществ в окружающую атмосферу, следует считать важным на современном этапе.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Известно, что большинство объектов технической сферы загрязняют множеством опасных веществ не только окружающую атмосферу, но и прилегающие территории. Систематические загрязнения обычно обуславливаются несовершенством используемого оборудования, технологических процессов и технической эксплуатации. Кроме этого причиной многих катастрофических загрязнений являются аварии на объектах. Наиболее опасными оказываются загрязнения атмосферы. Объясняется это тем, что атмосферные загрязнения не имеют территориальных границ и часто их можно отнести к классу возможных ЧС с отсроченным сроком проявления. Опасность такого класса ЧС состоит, прежде всего, в том, что систематические атмосферные загрязнения влияют на снижение уровня здоровья людей. Особенностью таких ЧС является то, что они проявляются не сразу, а спустя некоторое время, благодаря высоким потенциальным адаптационным возможностям человека. Поэтому для предупреждения ЧС техногенного характера важно обеспечивать своевременный и надежный контроль текущего уровня загрязнения атмосферы вредными веществами. Уровень загрязненности атмосферы зависит от многих факторов. Так, например, от текущего числа и концентрации выбрасываемых вредных веществ, состояния атмосферы, количества потенциальных источников загрязнений и других факторов. При этом ЧС техногенного характера число и концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, существенно возрастают. Так, например, наиболее распространенные газообразные загрязнения содержат десятки тысяч химических веществ, соединений и элементов, более двухсот из которых являются высокотоксичными и ядовитыми, которые могут приводить к немедленной смерти или тяжелым и опасным заболеваниям персонала и населения. Наибольшую опасность для человека и окружающей природной среды представляют загрязнения атмосферы такими веществами, как оксиды азота и углерода, альдегиды, формальдегиды, семейство полициклических углеводородов и другие ароматические соединения, относящиеся к отравляющим веществам [1].

Загрязнения атмосферы опасными выбросами при ЧС техногенного характера в силу объективной сложности процессов загрязнения не могут быть адекватно описаны и смоделированы на основе традиционных теоретических подходов. Однако, процессы атмосферных загрязнений можно изучать и моделировать на основе текущих измерений состояния атмосферы. При таком подходе загрязненная атмосфера рассматривается в виде некоторой сложной динамической системы. При этом полагается, что для такой системы характерна диссипативная структура и нелинейная динамика состояний с элементами процессов самоорганизации и хаоса.

Для таких систем традиционные методы, базирующиеся на линейности взаимодействия элементов, не применимы [2]. Однако для предотвращения ЧС, управления и недопущения опасных состояний загрязненной атмосферы первостепенное значение имеет информация о сложной динамике ее состояний [3]. Поэтому в последнее время методы нелинейной динамики сложных систем становятся активной областью исследований во многих дисциплинах [4]. Так, например, применяются методы корреляционной размерности, Ляпунова, энтропии и др. Однако указанные методы основываются на достаточно длинных реализациях наблюдений. Поэтому непосредственное применение данных методов в случае ограниченных по времени наблюдений, часто приводит к некорректным результатам [5].

Для предотвращения ЧС техногенного характера с помощью контроля загрязнений атмосферного воздуха целесообразно использовать нелинейные подходы, которые не зависят от вероятностных распределений наблюдаемых данных и применимы для коротких реализаций, а также в случае динамических выборок данных с учетом действия шумов, переходных процессов и различных артефактов. На сегодня лишь нелинейные методы оценивания рекуррентных состояний (РС) сложных динамических систем, соответствуют отмеченным выше требованиям [6].

РС сложных систем принято визуально отображать соответствующими рекуррентными диаграммами (RP) [7]. Методы RP позволяют визуализировать сложные траектории состояния динамических систем в соответствующем фазовом пространстве [5]. Это позволяет судить о характере протекающих в сложной динамической системе процессов с учетом шумов, дрейфа и рекуррентности (замираний) состояний, экстремальных событий, скрытой периодичности, цикличности и других факторов. При этом методы количественного анализа RP позволяют поставить в соответствие диаграмме некоторые численные меры, характеризующие плотности РС. Однако в связи с отсутствием до настоящего времени удовлетворительной теории численных мер рекуррентности и их применения для анализа РС, численные меры рекуррентности нуждаются в дополнительных исследованиях. В частности это касается разработки инженерно-технических методов предупреждения ЧС техногенного характера с помощью контроля загрязнения атмосферного воздуха [3].

В настоящее время известны приложения методов теории динамических систем к анализу различных типов геофизических систем [8, 9]. В частности, немало работ посвящено исследованию геофизических систем с позиции теории фрактальных множеств [10]. Важные понятия теории нелинейной динамики, такие как корреляционная размерность [11] или показатели Ляпунова [12], успешно используются при анализе топологической структуры фазового пространства и свойств различных типов динамических систем. Так, например, при анализе топологической структуры используются ее фрактальные свойства [13, 14], информационные меры [15] и другие типы мер. Особое внимание в последнее время уделяется изучению динамики сложных систем на основе различных мер РС [7]. Отмечается, что свойство РС является характерным для большинства реальных динамических систем и процессов любой природы.

Таким образом, на сегодняшний день методы RP являются наиболее конструктивными из известных нелинейных методов анализа динамики состояний систем и выявления особенностей динамики на основе реальных наблюдений [7]. В сочетании методов RP с методами количественного анализа РС возможно выявлять особенности динамики состояний сложных систем, которые не могут быть

выявлены на основе использования классических методов [16]. В этой связи опасные состояния в загрязненной атмосфере, как сложной динамической системе, могут быть выявлены на основе количественных мер РС. Однако известные меры РС остаются достаточно сложными и не в полной мере подходят для предупреждения ЧС техногенного характера. Объясняется это невозможностью использования методов РР и соответствующих мер РС в случае динамических наблюдений, когда данные поступают в реальном темпе измерений. Поэтому важной и нерешенной частью рассматриваемой проблемы является разработка инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе контроля текущей РС загрязненного выбросами вредных веществ атмосферного воздуха.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера путем контроля состояний атмосферного воздуха, загрязненного выбросами вредных веществ.

Для достижения цели работы были поставлены задачи:

- разработать модель определения текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха по измерениям концентрации вредных веществ в атмосфере;
- разработать управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха над прилегающими территориями;
- описать процедуру реализации инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха.

4. Разработка модели определения текущей рекуррентности состояний загрязненной атмосферы

При разработке модели определения текущей рекуррентности состояний загрязненной атмосферы по измерениям концентрации вредных веществ в воздухе учитывался ряд предположений:

1. Современные объекты технической сферы являются источниками загрязнения окружающей среды, в том числе и атмосферы. Поэтому состояние атмосферных загрязнений в принципе можно использовать в качестве одного из дистанционных признаков для предупреждения ЧС техногенного характера на объектах.

2. Загрязнение атмосферы может происходить над территорией объектов или прилегающими территориями. Атмосферные загрязнения являются наиболее опасными, поскольку не имеют государственных границ и могут распространяться на огромные расстояния. Для человека большую опасность представляют концентрации атмосферных загрязнений до высоты двух метров.

3. Атмосфера в ряде случаев способна рассеивать загрязнения и снижать их концентрации в воздухе. По этой причине в Украине разрешено на законодательном уровне осуществлять загрязнение атмосферы, но за это нужно платить. Установлены даже тарифы на загрязнение и штрафы за установленные нормы загрязнения.

4. Атмосфера не только рассеивает загрязнения, но и способна накапливать их, повышая концентрацию атмосферных загрязнений над определенными территориями свыше предельно допустимых концентраций (ПДК). Процесс рассеива-

ния и накопления загрязнений атмосферой является сложным и трудно управляемым с использованием традиционных технологий. Процессы накопления загрязнений связаны с наличием незначительных изменений состояний атмосферы (РС). При этом в [17] отмечается, что реальная динамика концентраций атмосферных загрязнений, обусловленная объектами техногенной сферы, не является случайной, а носит хаотический характер.

5. При контроле концентрации загрязнений атмосферы измерения обычно представляют соответствующий временной ряд, зависящий от пространственных координат размещения измерительного сенсора. Например, для измерения нескольких типов загрязнений может использоваться набор соответствующих сенсоров. В этом случае измерения будут представлять соответствующий пространственно-временной ряд.

В настоящее время измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере осуществляется практически во всех городах Украины. Основные измерения осуществляются на стационарных постах контроля с известными координатами расположения. Согласно нормативным требованиям контроль концентрации загрязняющих веществ в атмосфере допускается производить с использованием передвижных постов.

На стационарных постах контроля измерения осуществляется в дискретные моменты времени, регламентируемые нормативными документами. В общем случае результаты измерений для конкретного поста в произвольный дискретный момент времени i могут представляться в виде m -мерного вектора, составляющими которого являются результаты измерений текущих концентраций m загрязнителей атмосферы

$$\bar{z}_i = \bar{d}_i + \bar{\Delta}_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1, \quad (1)$$

где \bar{d}_i – вектор истинных, но не известных, текущих концентраций заданных загрязнителей атмосферы; $\bar{\Delta}_i$ – вектор неизвестных текущих возмущений; N_s – максимальное число измерений в течение заданного интервала контроля (длина реализации измеренных данных контроля).

При конечном значении N_s применение метода RP [7] позволяет отображать сложные траектории (1) в m -мерном фазовом пространстве на двумерную бинарную матрицу размером $N_s \times N_s$. При этом единичные элементы матрицы при некоторых дискретных моментах i и j будут отображать РС динамики измеряемой концентрации загрязнений. Координатные оси отображаемых RP будут определять дискретные значения моментов времени измерений. Следуя [16], RP можно представить соотношением вида:

$$R^{m, \varepsilon}_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|\bar{z}_i - \bar{z}_j\|), \quad \bar{z}_i \in \Omega^m, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_s, \quad (2)$$

где $\Theta(*)$ – функция Хевисайда; ε – заданный размер окрестности рекуррентности для состояния \bar{z}_i в момент времени i ; $\|\cdot\|$ – означает операцию определения нормы. Для предупреждения ЧС техногенного характера путем контроля атмосферных загрязнений требуется вместо (2) вычислять матрицу $R^{m, \varepsilon}_{i,j}$ на основе изме-

рений только в момент i и предшествующих этому моменту (т. е. в реальном темпе измерений). Это означает, что величина N_s в (2) не фиксируется, а принимает последовательно значения 1, 2, 3... и т.д. В этом случае матрица (2) примет треугольную форму и будет определяться матрицей:

$$RM^{m,\varepsilon}_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|\bar{z}_i - \bar{z}_j\|), \text{ при } \bar{z}_i \in \Omega^m, i \neq j, i \geq j, i, j = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Для оценки РС различных сложных динамических систем на основе (2) обычно применяются различные меры [7]. Однако известные меры обладают недостаточной оперативностью и оказываются недостаточно чувствительными к особенностям динамики состояний изучаемых систем, что ограничивает их применение для решения таких задач как предупреждение ЧС техногенного характера на основе контроля РС концентрации атмосферных загрязнений. Наиболее известной и распространенной на основе матрицы (2) является мера РС, определяемая величиной

$$R_0(\varepsilon) = \frac{1}{N_s^2} \sum_{i \neq j}^{N_s} R^{m,\varepsilon}_{i,j}. \quad (4)$$

Мера (4) характеризует среднее значение РС в RP (2), без учета линии идентичности $i=j$. Если величина $N_s \rightarrow \infty$, то мера (4) определяет вероятность РС для исследуемой динамической системы. Основным ограничением данной меры является то, что она определяет вероятность РС для всей выборки измерений длины N_s в целом. Это означает, что мера (4) не позволяет оценивать РС для текущего момента времени. В связи с этим ее невозможно использовать для временной локализации РС атмосферных загрязнений. Поэтому в работе [17] впервые предложено вместо (4) с учетом (3) использовать текущую меру РС, определяемую функционалом от величины ε и текущего момента времени i , следующего вида:

$$M_1(\varepsilon, i) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i RM^{m,\varepsilon}_{i,k}, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Мера (5) позволяет определять РС систем в произвольный момент времени i с учетом заданного размера ε окрестности рекуррентности для вектора состояний \bar{z}_i (1). Поэтому на основе меры (5) возможно контролировать в реальном времени динамику РС исследуемых динамических систем. Это означает, что мера (5) в отличие от известных мер позволяет отслеживать динамику РС во времени и по величине РС судить о состоянии загрязненной атмосферы как на территориях объектов, так и прилегающих территориях, для предупреждения возможных ЧС техногенного характера. При этом следует иметь в виду, что мера (5) при увеличении времени i измерений дает более точную оценку РС. Однако на начальном этапе измерений точность оценивания РС оказывается низкой в силу малого числа измерений. В общем случае мера (5) численно характеризует величину РС для текущего момента времени измерений. По величине РС возможно судить о ламинарных состояниях в исследуемых системах. Это означает, что в случае контроля загрязнения атмосферы как индикатора возможных ЧС техногенного характера

наличие ламинарных состояний будет свидетельствовать об отсутствии или незначительном рассеивании атмосферой характерных загрязнений. Выявляя такие состояния в динамике атмосферных загрязнений, можно предполагать об увеличении концентрации контролируемых загрязнений в атмосфере и предупреждать возникновение ЧС путем принятия адекватных управленческих решений, направленных на снижение текущего количества выбросов вредных веществ.

Таким образом, выражение для меры (5) может рассматриваться в качестве параметрической модели переработки входной информации, содержащейся в текущих измерениях (1) вектора концентраций вредных загрязнителей в воздушной среде, в выходную информацию о текущих значениях РС загрязненной атмосферы. При этом чувствительность модели определяется задаваемым порогом, определяющим область, в которой векторы состояний считаются рекуррентными, а также способом вычисления нормы в (2). Указанные параметры модели оказывают влияние на ее выход – значения РС. Полученная параметрическая модель положена в основу разработки управляющего алгоритма инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера путем вычисления текущей РС загрязненного атмосферного воздуха на территориях объектов или прилегающих территориях.

5. Разработка управляющего алгоритма инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера

В соответствии с рассмотренной параметрической моделью определения РС загрязнений атмосферы разработан управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на объектах и прилегающих территориях. Управляющий алгоритм состоит из семи последовательных блоков.

Первый блок включает инженерный анализ объектов технической сферы на заданной территории, которые являются потенциальными источниками возникновения ЧС техногенного характера.

Второй блок включает определение перечня опасных загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу заданными объектами технической сферы, которые являются индикаторами возникновения возможных ЧС техногенного характера.

Третий блок включает инженерно-техническое обоснование выбора измерительных сенсоров для атмосферных загрязнителей, определенных как опасных во втором блоке. При этом обосновываются средства и методики выполнения измерений. Анализируются точности выбираемых средств и методические погрешности измерений.

Четвертый блок включает технические измерения концентрации загрязняющих веществ в атмосфере в дискретные моменты времени (1). Затем по результатам измерений вычисляются текущие рекуррентные диаграммы (3).

Пятый блок состоит в инженерно-техническом использовании предложенной параметрической модели для определения РС загрязненной атмосферы в соответствии с мерой (5) по результатам вычисления текущих рекуррентных диаграмм (3), выполняемых в четвертом блоке. Блок включает также определение РС загрязненной атмосферы в реальном времени измерения концентрации загрязняющих веществ.

Шестой блок включает инженерно-техническое обоснование порога для выявления РС загрязненной атмосферы с требуемой достоверностью, а также уточнение ПДК для измеряемых загрязнений.

Седьмой блок предназначен для выявления моментов превышения измеренными концентрациями атмосферных загрязнений ПДК, а также соответствующими значениями РС выбранного порога. При этом выбором величины порога для выявления РС и взаимного сравнения результатов текущего выявления РС с текущими превышениями ПДК для атмосферных загрязнений, можно реализовывать различные уровни предупреждения ЧС с целью принятия соответствующих уровневых управленческих решений, направленных на снижение количества выбросов и недопущения возникновения ЧС.

6. Описание процедуры реализации инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера

Инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера с помощью контроля атмосферных загрязнений на территориях объектов и прилегающих территориях предназначен для выявления идентификаторов опасных ситуаций на основе систематического контроля текущей РС загрязненной атмосферы по результатам реальных измерений концентраций вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу объектами технической сферы при их функционировании.

Применение метода предусматривает выполнение следующих процедур:

- 1) обоснование и определение входных данных о техногенных объектах и опасных загрязнителях, выбрасываемых в атмосферу этими объектами;
- 2) инженерно-техническое обоснование измерительных сенсоров для атмосферных загрязнителей, средств и методики измерений;
- 3) техническое измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и вычисление текущих рекуррентных диаграмм;
- 4) инженерно-техническое использование предложенной параметрической модели для определения РС загрязненной атмосферы по текущим рекуррентным диаграммам, с учетом измерения концентрации загрязняющих веществ;
- 5) инженерно-техническое обоснование порога для выявления РС загрязненной атмосферы с требуемой достоверностью, а также уточнение ПДК для загрязнений;
- 6) выявление моментов превышения измеренными концентрациями атмосферных загрязнений ПДК, а также значениями РС выбранного порога с целью предупреждения возможных ЧС техногенного характера;
- 7) обоснование соответствующих управленческих решений, направленных на снижение количества вредных выбросов в атмосферу с целью предупреждения и недопущения возникновения ЧС техногенного характера.

Результаты экспериментальной проверки метода приведены в [17].

7. Обсуждение результатов разработки инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера

В ходе выполненного теоретического исследования разработана модель, позволяющая связать величину текущей рекуррентности состояний загрязненного атмосферного воздуха с реальными измерениями концентрации вредных веществ в атмосфере, представленных в виде вектора произвольного размера. Это означает, что модель является общей и оказывается справедливой для любого числа и типов загрязнителей. В соответствии с предложенной моделью определения РС загрязнений атмосферы разработан управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на объектах и прилегающих территориях. Управляющий алгоритм метода имеет иерархическую

блочную структуру, состоящую из семи элементов. Иерархия структуры определяется функциональной подчиненностью операций. Верхний уровень функциональности является инженерный анализ объектов технической сферы, размещенных на заданной территории, которые представляют собой потенциальные источники возникновения ЧС техногенного характера. Следующий функциональный уровень связан с определением перечня опасных загрязнителей атмосферы заданными объектами технической сферы, являющиеся потенциальными источниками возникновения возможных ЧС техногенного характера на данной территории. Затем осуществляется инженерно-техническое обоснование и выбор измерительных сенсоров атмосферных загрязнителей и методики выполнения измерений. На этом функциональном уровне производится анализ точности измерения выбираемыми сенсорами и методической погрешности измерений. Функциональный уровень следующего уровня предполагает выполнение технических измерений концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Обычно это осуществляется в дискретные моменты времени (1). Затем по результатам измерений вычисляются текущие рекуррентные диаграммы (3). На следующем функциональном уровне используется предложенная параметрическая модель с целью определения РС загрязненной атмосферы в соответствии с мерой (5) в реальном времени измерения концентрации загрязняющих веществ. Далее осуществляется инженерно-техническое обоснование порога для выявления РС загрязненной атмосферы, которые могут являться источниками возможных ЧС. Величина порога при этом должна гарантировать выявление РС с требуемой достоверностью. На этом функциональном уровне уточняются ПДК для выбранных измеряемых загрязнений. На следующем функциональном уровне выявляются моменты превышения РС выбранного порога и выявление превышения измеренными концентрациями атмосферных загрязнений их ПДК. При этом следует заметить, что выбором величины порога можно реализовывать не только заданную достоверность выявления РС, но и определять при этом различные уровни предупреждения о возможном возникновении ЧС с целью принятия соответствующих предупредительных управленческих решений, направленных на снижение количества выбросов или недопущения возникновения ЧС.

Предлагаемый инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера и описанные процедуры его реализации позволяют с помощью контроля атмосферных загрязнений на территориях объектов и прилегающих территориях выявлять различные уровни опасных ситуаций на объектах по результатам реальных измерений концентраций вредных веществ, выбрасываемых при функционировании объектов в атмосферу. При этом выявление различных уровней опасности выполняется дистанционно и основывается только на измерениях РС загрязнений атмосферного воздуха непосредственно в районе расположения объекта или на прилегающих территориях. Это означает, что нет необходимости в использовании специальной аппаратуры контроля загрязнений и атмосферных метеоданных. Экспериментальная проверка инженерно-технического метода в целом свидетельствует о его работоспособности [17].

8. Выводы

1. Разработан инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера путем контроля состояний атмосферного воздуха, загрязненного выбросами вредных веществ от технических объектов. Новый научный результат

состоит в использовании текущих рекуррентных диаграмм и соответствующей меры рекуррентности вектора состояний концентраций загрязнений атмосферы. Отличительной особенностью является использование нижней треугольной формы текущих рекуррентных диаграмм при определении меры рекуррентности состояний на основе усреднения текущей рекуррентности в динамическом окне, нарастающей ширины. При этом ширина окна увеличивается с интервалом времени измерений. Метод позволяет оперативно с помощью контроля атмосферных загрязнений выявлять не только явные, но и скрытые опасные ситуации на объектах, предупреждая появление ЧС техногенного характера.

2. Разработана параметрическая модель определения текущей РС загрязненного атмосферного воздуха в результате ЧС техногенного характера. Входными данными модели являются результаты реальных измерений концентрации вредных веществ в атмосфере, производимых на стационарных или подвижных постах контроля. Новый научный результат состоит в использовании меры текущей рекуррентности состояний, которая выявляет во времени интервалы практического отсутствия рассеивания загрязнений атмосферой.

3. Разработан управляющий алгоритм нового инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе контроля текущей РС загрязненного атмосферного воздуха. Данный управляющий алгоритм позволяет реализовать предлагаемый метод предупреждения ЧС техногенного характера, как на территории объектов, так и прилегающих территориях. Описана процедура реализации инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей РС загрязненного атмосферного воздуха, состоящая из семи основных последовательных процедурных элементов.

Литература

1. Первый независимый экологический портал: [Электронный ресурс]. К. 2009–2016. Режим доступа: <http://environments.land-ecology.com.ua/septik/1575-sostoyanie-atmosfery-ukraina-detalnyj-obzor.html>
2. Pascual M., Ellner S. P. Linking ecological patterns to environmental forcing via nonlinear time series models // *Ecology*. 2000. V. 81(10). P. 2767–2780.
3. Parrott L. Analysis of simulated long-term ecosystem dynamics using visual recurrence analysis // *Ecological Complexity*. 2004. V. 1(2). P. 111–125.
4. Proulx R. Ecological complexity for unifying ecological theory across scales: a field ecologist's perspective // *Ecological complexity*. 2007. V. 4. P. 85–92.
5. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear time series analysis // Cambridge University Press. 2003. 365 p.
6. Marwan N., Schinkel S., Kurths J., Recurrence Plots 25 Years Later – Gaining Confidence In Dynamical Transitions, *EPL* 101 (2013) 20007.
7. Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences. 2005. 26 p.
8. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Borodych P. Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 3 (93). №9. P. 34–40.
9. Poulsen A., Jomaas G. Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings // *Fire Technology*. 2012. №48. P. 419–439.
10. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S. Analysis of correlation dimensionality of the state of gaseous medium at the early ignition of

materials // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 5 (95). №9. P. 34–40.

11. Grassberger P., Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors // Physica. 1983. №9. P. 189–208.

12. Wolf A., Swift J. B., Swinney H. L., Vastano J. A. Determining Lyapunov exponents from a time series // Physica. 1985. №16. P. 285–317.

13. Marwan N., Kurths J., Saparin P. Generalised recurrence plot analysis for spatial data // Phys. Lett. 2007. №360. P. 545–551.

14. Dombrradi E., Timarr G., Bada G., Cloetingh S., Horvrath F. Fractal dimension estimations of drainage network in the Carpathian-Pannonian system // Global and Planetary Change. 2007. №58. P. 197–213.

15. Schirdewan A., Gapelyuk A., Fischer R., Koch L., SchEutt H., Zacharzowsky U., Dietz R., Thierfelder L., Wessel N. Cardiac magnetic field map topology quantified by Kullback-Leibler entropy identifies patients with hypertrophic cardiomyopathy // Chaos. 2007. V. 17. №1. P. 015118.

16. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody // Institut kompyuternyih isledovaniy. 2002. V. 656. P. 12.

17. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Borodych P., Gornostal S. Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures // Eastern-European Journal of Enterprise. 2019. V. 1/10 (97). P. 29–35.

Р. Г. Мелещенко, к.т.н., доц. каф.

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЮ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Розроблено інженерно-технічний метод запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру шляхом контролю станів атмосферного повітря, забрудненого викидами шкідливих речовин від технічних об'єктів. Новий науковий результат полягає в використанні поточних рекурентних діаграм і відповідних мір рекурентності вектора станів концентрацій забруднень атмосфери. Відмінною особливістю є використання нижньої трикутної форми поточних рекурентних діаграм. Визначення міри рекурентності станів здійснюється на основі усереднення поточної рекурентної діаграми в динамічному вікні наростаючою ширини. При цьому ширина вікна зростає відповідно до інтервалу часу вимірювань. Запропонований метод дозволяє за допомогою контролю атмосферних забруднень оперативно виявляти не тільки явні, але і приховані небезпечні ситуації на об'єктах, попереджаючи появу можливих надзвичайних ситуацій техногенного характеру. На основі запропонованої міри розроблена параметрична модель визначення поточної рекурентності станів забрудненого атмосферного повітря. Вхідними даними моделі є результати реальних вимірів концентрації шкідливих речовин в атмосфері. Вимірювання концентрації шкідливих речовин в атмосфері здійснюється на існуючих стаціонарних або рухомих постах контролю. Новий науковий результат полягає в використанні запропонованої міри поточної рекурентності станів, яка виявляє в часі інтервали відсутності розсіювання забруднень і їх накопичення атмосферою. Розроблено керуючий алгоритм нового інженерно-технічного методу запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на основі запропонованого контролю поточної рекурентності станів забрудненого атмосферного повітря. Даний керуючий алгоритм дозволяє реалізувати запропонований метод запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру, як на території об'єктів, так і прилеглих територіях. Описана процедура застосування інженерно-технічного методу запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на основі конт-

ролю поточної рекурентності станів атмосферних забруднень, яка складається з семи послідовних пов'язаних процедурних елементів.

Ключові слова: інженерно-технічний метод запобігання надзвичайним ситуаціям, атмосферне забруднення, рекурентна діаграма, міра рекурентності, рекурентність станів

*R. Meleschenko, PhD, Associate Professor of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

ENGINEERING AND TECHNICAL METHOD FOR PREVENTING EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC CHARACTER USING CONTROL OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION

An engineering method has been developed for the prevention of technological emergencies by monitoring the state of atmospheric air polluted by emissions of harmful substances from technical objects. A new scientific result is the use of current recurrence diagrams and the corresponding measure of recurrence of the state vector of atmospheric pollution concentrations. A distinctive feature is the use of the lower triangular shape of the current recurrence diagrams. The state recurrence measure is determined by averaging the current recurrence diagram in a dynamic window of increasing width. In this case, the window width increases in accordance with the measurement time interval. The proposed method allows using the control of atmospheric pollution to quickly identify not only obvious, but also hidden dangerous situations at objects, preventing the occurrence of possible emergencies of anthropogenic nature. Based on the proposed measure, a parametric model has been developed to determine the current recurrence of contaminated atmospheric air conditions. The model input data are the results of real measurements of the concentration of harmful substances in the atmosphere. The concentration of harmful substances in the atmosphere is measured at existing stationary or mobile control posts. A new scientific result consists in using the proposed measure of current recurrence of states, which reveals in time the intervals of the absence of pollution dispersion and their accumulation by the atmosphere. A control algorithm is developed for a new engineering method for the prevention of technological emergencies based on the proposed control of the current recurrence of contaminated atmospheric air conditions. This control algorithm allows you to implement the proposed method of preventing emergencies of a technogenic nature, both in the territory of facilities and in adjacent territories. The procedure of applying the engineering method for the prevention of technological emergencies based on monitoring the current recurrence of atmospheric pollution states is described, consisting of seven consecutive related procedural elements.

Keywords: engineering method of emergency prevention, atmospheric pollution, recurrence diagram, measure of recurrence, recurrence of states

References

1. Pervyy nezavisimyy ekologicheskiy portal: [Electronic resource]. K. 2009–2016. Access mode: <http://environments.land-ecology.com.ua/septik/1575-sostoyanie-atmosfery-ukraina-detalnyj-obzor.html>
2. Pascual, M., Ellner, S. P. (2000). Linking ecological patterns to environmental forcing via nonlinear time series models. *Ecology*, 81(10), 2767–2780.
3. Parrott, L. (2004). Analysis of simulated long-term ecosystem dynamics using visual recurrence analysis. *Ecological Complexity*, 1(2), 111–125.
4. Proulx, R. (2007). Ecological complexity for unifying ecological theory across scales: a field ecologist's perspective. *Ecological complexity*, 4, 85–92.
5. Kantz, H., Schreiber, T. (2003). *Nonlinear time series analysis*. Cambridge University Press, 365.
6. Marwan, N., Schinkel, S., Kurths, J., Recurrence Plots 25 Years Later – Gaining Confidence In Dynamical Transitions, *EPL* 101 (2013) 20007.
7. Webber, Jr. C. L., Zbilut, J. P. (2005). *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences*, 26.

8. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P. (2018). Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/9 (93), 34–40.
9. Poulsen, A., Jomaas, G. (2012). Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings. *Fire Technology*, 48, 419–439.
10. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of gaseous medium at the early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (95), 9, 34–40.
11. Grassberger, P., Procaccia, I. (1983). Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica*, 9, 189–208.
12. Wolf, A., Swift, J. B., Swinney, H. L., Vastano, J. A. (1985). Determining Lyapunov exponents from a time series. *Physica*, 16, 285–317.
13. Marwan, N., Kurths, J., Saperin, P. (2007). Generalised recurrence plot analysis for spatial data. *Phys. Lett.*, 360, 545–551.
14. Dombrradi, E., Timarr, G., Bada G., Cloetingh, S., Horvrath, F. (2007). Fractal dimension estimations of drainage network in the Carpathian-Pannonian system. *Global and Planetary Change*, 58, 197–213.
15. Schirdewan, A., Gapelyuk, A., Fischer, R., Koch, L., Schütt, H., Zacharzowsky, U., Dietz, R., Thierfelder, L., Wessel, N. (2007). Cardiac magnetic field map topology quantified by Kullback-Leibler entropy identifies patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Chaos*, 17 (1), 015118.
16. Mandelbrot, B. (2002). *Fraktalnaya geometriya prirody*. Institut kompyuternykh issledovaniy, 656, 12.
17. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/10 (97), 29–35.

Надійшла до редколегії: 27.09.2019

Прийнята до друку: 25.10.2019