

## УДК 621.03

*Б. Б. Поспелов, д.т.н., профессор, ведущий н.с. (ORCID 0000-0002-0957-3839)*

*Е. А. Рыбка, д.т.н., ст. исслед., зам. нач. центра – нач. отд. (ORCID 0000-0002-5396-5151)*

*Р. Г. Мелещенко, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0001-5411-2030)*

*М. А. Самойлов, адъюнкт адъюнктуры (ORCID 0000-0002-8924-7944)*

*К. М. Карпец, к.геогр.н., доцент, ведущий н.с. (ORCID 0000-0001-6388-7647)*

*Ю. С. Безуглая, к.т.н., преп. каф. (ORCID 0000-0003-4022-2807)*

*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина*

## ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ

Предложен инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера путем оперативного контроля состояний газовой среды в помещениях объектов технической сферы. Разработана параметрическая модель определения текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта на основе измерений основных опасных факторов. Показано, что предложенная модель текущей корреляционной размерности зависит от ширины скользящего окна усреднения и способа определения нормы. Новый научный результат состоит в теоретическом обосновании модели текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта, а также возможности использования ее в качестве оперативного и достоверного индикатора для предупреждения ЧС техногенного характера в различных производственных помещениях объектов технической сферы. Текущая корреляционная размерность для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта позволяет оперативно выявлять не только явные, но и скрытые опасные ситуации в различных помещениях объектов, предупреждая появление различных ЧС техногенного характера. Разработан управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе использования текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в производственных помещениях объектов технической сферы. Данный управляющий алгоритм позволяет реализовать предлагаемый метод предупреждения ЧС техногенного характера, как в помещениях объекта с различным технологическим оборудованием и агрегатами, так и в помещениях размещения обслуживающего персонала, дежурных смен и офисных работников. Описана процедура применения инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе использования текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в различных производственных помещениях объектов технической сферы, состоящая из семи базовых последовательных процедурных элементов.

**Ключевые слова:** инженерно-технический метод предупреждения чрезвычайных ситуаций, корреляционная размерность, газовая среда помещений, опасные факторы газовой среды

### 1. Введение

Сохраняющаяся тенденция ежегодного роста количества и масштабов последствий аварий и катастроф на объектах технической сферы свидетельствует о недостаточной эффективности существующих методов защиты от чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. В этой связи актуальными становятся методы предупреждения ЧС техногенного характера. Реализация указанных методов на объектах позволит максимально снизить риски возникновения ЧС техногенного характера, размеры материальных потерь и разрушения объектов, а также гибели обслуживающего персонала. Опыт мирового сообщества в области защиты от ЧС техногенного характера свидетельствует о том, что затраты на мероприятия по предупреждению ЧС оказываются значительно ниже затрат на восстановление наносимого ими ущерба. Основным мероприятием по предупреждению ЧС техногенного характера является своевременное выявление возможных угроз с целью принятия необходимых оперативных управленческих решений. Вместе с

тем имеющее место интенсивное развитие техногенной сферы (объектов энергетики, промышленности, транспорта и др.) неизбежно приводит к риску возникновения ЧС техногенного характера на объектах. В этой связи предупреждение ЧС техногенного характера на объектах технической сферы следует считать актуальным на современном этапе.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Государственная политика Украины в области защиты от ЧС техногенного характера состоит в реализации комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на предупреждение и снижение последствий таких ЧС. Для предупреждения ЧС техногенного характера на объектах важно обеспечивать своевременный и надежный контроль текущего состояния технологического оборудования и агрегатов. Известно, что большая часть опасных состояний оборудования и агрегатов является источником возгораний на объектах, которые могут вызывать пожары, взрывы, разрушения, поражение и гибель обслуживающего персонала. К негативным факторам пожара обычно относят образование токсичных продуктов горения, пламя, повышенную температуру, дым и снижение концентрации кислорода [1–3]. При пожарах отмечается высокое содержание в газовой среде объектов оксида углерода (СО). Опасность этого соединения объясняется тем, что при концентрации СО в помещении объекта на уровне 0,5 % – смертельно опасное отравление человека наступает уже через 20 минут, а при концентрации на уровне 1 % – через минуту. При этом эффективным способом снижения опасных факторов газовой среды на человека при пожарах является раннее выявление возгораний материалов. Это позволяет не допустить возникновения пожара в помещениях объекта, масштабные действия по его тушению [4–7], а также человеческие жертвы. Однако методы выявления ранних возгораний материалов в помещениях объекта в известной литературе не рассматриваются. Объясняется это, во-первых, отсутствием методов, способных выявлять незначительные изменения в газовой среде помещений при ранних возгораниях материалов. Во-вторых, недостаточной изученностью динамики опасных факторов газовой среды при ранних возгораниях. В-третьих, незначительными текущими изменениями параметров газовой среды при ранних возгораниях, которые маскируются различными флуктуациями.

В общем случае газовая среда при возникновении опасных состояний технологического оборудования и агрегатов в помещениях объекта может рассматриваться в качестве особой сложной динамической системы. В последнее время для анализа различных сложных систем широко используется теория динамических систем [8, 9]. В частности работа [9] посвящена применению методов теории динамических систем и фрактальных множеств в задачах геофизики.

Экспериментальному изучению процесса возникновения пожара в помещениях посвящена работа [10]. Изучение влияния теплового излучения на скорость процесса высвобождения тепла в различных материалах представлено в [11], а экспериментальное исследование режимов горения материалов под внешним тепловым воздействием, выполнено в [12]. Экспериментальному исследованию скорости тепловыделения при пожаре в помещениях посвящена работа [13]. Отмечается, что динамика опасных факторов состояния газовой среды в помещениях при возгораниях носит сложный и нестационарный характер. Повышению быстродействия методов выявления возгораний в помещениях посвящена работа [14].

При этом новые методы, способные выявлять изменения параметров состояния газовой среды при ранних возгораниях не рассматриваются, динамика указанных параметров не изучается.

Методы выявления изменений состояния газовой среды при возгораниях материалов с помощью адаптивных сенсоров рассматриваются в работах [15, 16]. Однако адаптация сенсоров осуществляется на основе усредненных параметров газовой среды. Свойства текущей динамики параметров газовой среды и ее особенности при этом не учитываются и не анализируются. Результаты, приведенные в [16], ограничиваются анализом только динамики адаптивного порога и вероятности выявления возгораний. Инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера на основе динамики состояний газовой среды в помещениях объекта при этом не рассматривается. Работа [17] посвящена экспериментальному исследованию временных автокорреляций и парных корреляций динамики основных параметров состояния газовой среды при возгораниях материалов в модельном помещении. В данной работе отмечается, что для выявления возгораний в помещениях объекта важными оказываются структурные особенности взаимодействия опасных параметров состояния газовой среды, а не их усредненные значения. Методы использования характеристик параметров, пригодных для выявления опасных состояний газовой среды при ранних возгораниях, рассматриваются в [18]. Однако данные методы базируются на стационарном подходе, позволяющем выявлять лишь усредненные значения параметров состояния газовой среды, и не позволяют учитывать особенности их частотно-временной структуры.

Обзор известных методов временного и частотного разрешения содержится в [19]. Отмечается, что проблема частотно-временной локализации остается до конца не решенной. Известные методы оказываются сложными в реализации и малоприменимыми для оперативного выявления загораний в помещениях объектов. Объясняется это тем, что динамика параметров состояния газовой среды при возгораниях является нестационарной. В [20] рассматривается метод анализа нестационарных процессов, основанный на использовании преобразования Фурье к отрезкам стационарности нестационарных процессов. При ранних возгораниях выделить отрезки стационарности в динамике опасных параметров газовой среды обычно не представляется возможным. При этом газовая среда как сложная динамическая система формирования опасных параметров при возгораниях не рассматривается и не анализируется. Инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера на основе анализа параметров газовой среды в помещениях объекта не рассматривается.

Результаты экспериментального исследования динамики скорости горения различных материалов в закрытых, а также вентилируемых помещениях приведены в [21]. Несмотря на оригинальность результатов, в данной работе отсутствуют сведения о структурных особенностях взаимодействия опасных параметров состояния газовой среды при возгораниях материалов в помещениях. Исследованию флуктуаций параметров состояния газовой среды в качестве признаков раннего выявления возгораний посвящена работа [22]. Однако приведенные в данной работе результаты ограничиваются анализом традиционных статистических характеристик флуктуаций. Исследование особенностей структуры динамики взаимодействия опасных параметров состояний газовой среды в фазовом пространстве не рассматривается. При этом, следуя [17–22], ранние возгорания являются основным источником нестационарного нарушения параметров исходного равно-

весного состояния газовой среды в помещении. Отмечается, что динамика параметров состояния газовой среды при ранних возгораниях в помещениях объектов характеризуется более сложными нелинейными процессами.

В работах [23] и [24] рассматриваются общие методы соответственно частотно-временного представления и идентификации нелинейных систем. Применение кратковременного преобразования Фурье для анализа нестационарных процессов рассматривается в работе [25]. При этом методы [23–25] оказываются достаточно сложными в реализации и не могут использоваться в качестве конструктивных для раннего выявления возгораний в помещениях и предупреждения ЧС техногенного характера на объектах. Методы анализа нелинейных динамических систем, основанных на подходах, отличных от Фурье, в работах [23–25] не рассматриваются. Хотя, для выявления ранних возгораний, необходимы методы нелинейной динамики опасных параметров состояний газовой среды в многомерном фазовом пространстве. Однако такие исследования в известной литературе отсутствуют даже для модельных экспериментов. При этом инженерно-технические методы предупреждения ЧС техногенного характера на основе контроля состояния газовой среды в помещениях объекта не рассматриваются. В работе [26] рассматривается частотно-временной метод и его применение к исследованию структуры динамики опасных параметров состояния газовой среды при возгораниях в помещениях. Отмечается, что данный метод обладает высокой сложностью и недостаточной оперативностью.

Таким образом, для предупреждения ЧС техногенного характера на объектах путем выявления ранних возгораний в помещениях на основе контроля динамики опасных параметров состояния газовой среды могут применяться различные известные методы. Однако известные методы характеризуются сложностью, ограниченными возможностями и недостаточной оперативностью для предупреждения ЧС техногенного характера. При этом более перспективными оказываются методы нелинейной динамики, использующие фрактальность параметров состояния газовой среды в помещениях. Методы фрактального анализа позволяют на качественно более высоком уровне конструктивно решать задачи не только анализа тонкой структуры динамики параметров состояния газовой среды, но и эффективного выявления ранних возгораний в помещениях [27]. Поэтому важной и нерешенной частью проблемы является разработка инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе фрактальности (корреляционной размерности) вектора состояний газовой среды при возгораниях материалов в технологических помещениях объекта.

### **3. Цель и задачи исследования**

Целью работы является разработка инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера путем контроля состояния газовой среды в помещениях объекта, в которых установлено технологическое оборудование и агрегаты, а также присутствует обслуживающий персонал.

Для достижения цели работы были поставлены задачи:

– разработать модель определения текущей корреляционной размерности (КР) состояний газовой среды в помещениях объекта на основе измерений опасных факторов;

– разработать управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей КР состояния газовой среды в помещениях объектов технической сферы;

– описать процедуру применения инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей КР состояния газовой среды в помещениях объектов.

#### 4. Разработка модели определения текущей КР состояний газовой среды по измерениям опасных факторов

В общем случае корреляционная (фрактальная) размерность широко используется для определения меры сложности процессов и является нижней оценкой размерности Хаусдорфа для странного аттрактора. Пусть состояние газовой среды в произвольном помещении объекта определяется некоторым вектором  $z(t)$  произвольного размера. Для определенности разработки модели будем полагать, что компоненты вектора состояния  $z(t)$  газовой среды в помещении определяется соответствующими опасными факторами: оптической плотностью дыма, температурой газовой среды и концентрацией угарного газа в текущий момент времени  $t$  [28]. Разработка модели КР состояний газовой среды включает несколько этапов.

На первом этапе непрерывная траектория состояния, определяемая вектором  $z(t)$  газовой среды, заменяется дискретной траекторией, состоящей из  $N$  точек  $\{z_i\}$ , измеряемых в дискретные моменты времени в общем случае в многомерном фазовом пространстве.

На втором этапе для каждой точки  $i$  траектории состояний газовой среды определяется величина разности  $x_i = z_i - z_{i+1}$  между текущим  $i$  и последующим  $i+1$  состояниями.

На третьем этапе по полученным значениям  $x_i$  вычисляется расстояние  $\|x_i - x_j\|$  между соответствующими парами точек дискретной траектории вектора состояний, используя евклидову, либо иную эквивалентную меру  $\|*\|$ .

На четвертом этапе определяется корреляционная функция  $C_3(r)$ , которая вычисляется для заданного конечного множества  $N$  точек дискретной траектории в соответствии с выражением

$$C_3(r) = N^{-2} [\text{число пар } (i, j), \text{ для которых расстояние } \|x_i - x_j\| < r], \quad (1)$$

где  $r$  – заданная величина допустимого расстояния между парой произвольных точек траектории. Значение корреляционной функции (1) зависит от величины  $r$ . Если при  $r \rightarrow 0$  корреляционная функция (1) определяется степенным законом, т. е.

$$C_3(r) = ar^{D_2}, \quad (2)$$

где  $a$  – константа, а  $D_2$  – КР, то полагают, что траектория приращений состояния  $x_i$  газовой среды обладает фрактальными свойствами.

Известно, что корреляционную функцию (1) можно вычислить более эффективно, описав в многомерном фазовом пространстве сферу радиуса  $r$  (или куб) вокруг каждой точки  $x_i$  и подсчитав число точек траектории в каждой сфере, т. е.

$$C_3(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, i \neq j}^N H(r - \|x_i - x_j\|). \quad (3)$$

В выражении (3) функция  $H(*)$  определяет индикаторную функцию Хевисайда

сайда, а в качестве меры  $\|x_i - x_j\|$  выбирается норма  $L_\infty$ . Данная норма обладает двумя важными для практики преимуществами. Эти преимущества состоят в независимости данной нормы от размера рассматриваемого фазового пространства, а также простоте ее вычисления.

Поскольку корреляционная функция (3) определяется всеми  $N$  точками  $\{x_i\}$  траектории приращений состояния, воспользоваться ею для анализа динамики КР не представляется возможным. Поэтому на пятом этапе с целью возможности оценки динамики текущей КР предлагается вычислять корреляционную функцию (3) в прямоугольном окне фиксированного размера  $N_w \ll N$ , которое перемещается по траектории дискретно во времени по мере поступления текущих данных в момент  $t$  (т. е. в реальном темпе дискретного измерения состояния газовой среды). Корреляционная функция в окне для произвольного дискретного момента  $t$  будет определяться выражением следующего вида:

$$\tilde{N}'_3(r, N_w, t) = \frac{1}{N_w^2} \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1, i \neq j}^{N_w} H(r - \|x_{i+t} - x_{j+t}\|). \quad (4)$$

При этом размер окна  $N_w$  в (4) выбирается априорно, исходя из заданных требований к качеству выявления ранних возгораний в помещениях объекта и уровня предупреждения ЧС техногенного характера. Однако следует учитывать, что большая ширина окна приводит к лучшему сглаживанию текущей оценки КР, но и большей ее начальной задержке. Малая ширина окна ухудшает сглаживание оценки КР, но имеет меньшую начальную ее задержку.

При этом с учетом (4) величина текущей фрактальной или КР будет определяться выражением следующего вида:

$$D_2(r, N_w, t) = \ln \tilde{N}'_3(r, N_w, t) / \ln r, \text{ при } r \rightarrow 0. \quad (5)$$

Таким образом, текущая КР (5), вычисляемая на основе (4) в окне размера  $N_w \ll N$ , которое дискретно перемещается во времени  $t$  вдоль траектории состояний газовой среды, может рассматриваться в качестве параметрической модели текущей КР состояний газовой среды в производственных помещениях различных объектов технической сферы. При этом чувствительность модели зависит от размера окна и способа вычисления нормы в (4). Данные параметры модели (5) будут оказывать влияние на текущую оценку КР вектора состояний газовой среды при возгораниях в помещениях объекта. Указанная параметрическая модель (5) положена в основу разработки управляющего алгоритма инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера путем контроля текущей КР состояния газовой среды в производственных помещениях объекта.

## **5. Разработка управляющего алгоритма инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей КР состояния газовой среды в помещениях объекта**

В соответствии с рассмотренной параметрической моделью определения текущей КР состояния газовой среды в помещениях объекта разработан управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на объектах. Управляющий алгоритм состоит из семи последовательных блоков.

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

Второй блок включает определение опасных факторов газовой среды помещений, которые являются индикаторами возникновения возможных ЧС техногенного характера объектов технической сферы.

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

Четвертый блок включает технические измерения состояний опасных факторов газовой среды в производственных помещениях в дискретные моменты времени. Затем по результатам текущих измерений вычисляются текущие значения корреляционной функции (4) в заданном окне.

Пятый блок состоит в инженерно-техническом использовании предложенной параметрической модели для определения текущей КР по результатам вычисления текущих значений корреляционной функции (4) в окне, выполняемых в четвертом блоке.

Шестой блок включает инженерно-техническое обоснование порога, необходимого для выявления по величине текущей КР ранних возгораний в производственных помещениях объекта с требуемым уровнем достоверности. При этом следует учитывать, что заданием величины порога можно управлять уровнем предупреждения ЧС техногенного характера на объектах.

Седьмой блок предназначен для выявления моментов превышения текущей КР заданного порогового значения. При этом следует учитывать, что для различных порогов могут реализовываться различные уровни предупреждения ЧС техногенного характера на объектах с целью принятия соответствующих управленческих решений.

## **6. Описание процедуры применения инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей КР состояния газовой среды в помещениях объекта.**

Инженерно-технический метод предупреждения ЧС техногенного характера на основе текущей КР состояния газовой среды в производственных помещениях объекта и сравнения ее с заданным порогом предусматривает выполнение следующих процедур:

- 1) обоснование и определение входных данных о техногенных объектах и опасных факторах газовой среды в производственных помещениях объектов;
- 2) инженерно-техническое обоснование измерительных сенсоров для опасных факторов газовой среды в помещениях, средств и методики их измерений;
- 3) техническое измерение опасных факторов газовой среды в помещениях объектов и вычисление текущих значений корреляционной функции в заданном движущемся окне;
- 4) инженерно-техническое использование предложенной параметрической модели для определения текущей КР измеряемых опасных факторов газовой среды в помещениях объектов по результатам вычислений корреляционной функции состояний в фазовом пространстве;

5) инженерно-техническое обоснование величины порога (или порогов) для текущей КР вектора состояний опасных факторов газовой среды в производственных помещениях объекта;

6) выявление моментов превышения текущей КР порогового значения или нескольких пороговых значений с целью различного уровня предупреждения ЧС техногенного характера в производственных помещениях объекта;

7) обоснование соответствующих управленческих решений, направленных на предупреждение и недопущение возникновения ЧС техногенного характера в производственных помещениях объектов.

Основные результаты верификации предлагаемого инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе использования текущей КР состояния газовой среды в помещениях приведены в [29].

## 7. Выводы

1. Разработана параметрическая модель определения текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта на основе измерений основных опасных факторов. Показано, что предложенная модель текущей корреляционной размерности зависит от ширины скользящего окна усреднения и способа определения нормы. Новый научный результат состоит в теоретическом обосновании модели текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта, а также возможности использования ее в качестве достоверного индикатора для предупреждения ЧС техногенного характера в различных производственных помещениях объектов технической сферы. Текущая корреляционная размерность для приращений состояний газовой среды в помещениях объекта позволяет оперативно выявлять не только явные, но и скрытые опасные ситуации в помещениях объектов, предупреждая появление различных ЧС техногенного характера.

2. Разработан управляющий алгоритм инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе использования текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в производственных помещениях объектов технической сферы. Данный управляющий алгоритм позволяет реализовать предлагаемый метод предупреждения ЧС техногенного характера, как в помещениях объекта с различным технологическим оборудованием и агрегатами, так и в помещениях размещения обслуживающего персонала, дежурных смен и офисных работников. Описана процедура применения предлагаемого инженерно-технического метода предупреждения ЧС техногенного характера на основе использования текущей корреляционной размерности для приращений состояний газовой среды в различных производственных помещениях объектов технической сферы, состоящая из семи базовых последовательных процедурных элементов.

## Литература

1. Vasiliev M. I., Movchan I. O., Koval O. M. Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2014. Issue 5. P. 106–113.

2. Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter / Kondratenko O. M., Vambol S. O., Stokov O. P., Avramenko A. M. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2015. Issue 6. P. 55–61.

3. Vasyukov A., Loboichenko V., Bushtec S. Identification of bottled natural waters by using direct conductometry Ecology // Environment and Conservation. 2016. V. 22. Issue 3. P. 1171–1176.
4. The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts / Semko A. N., Beskrovnaya M. V., Vinogradov S. A., Hritsina I. N., Yagudina N. I. // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. 2014. V. 52. Issue 3. P. 655–664.
5. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge / Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 10 (90). P. 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
6. The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out / Semko A., Rusanova O., Kazak O., Beskrovnaya M., Vinogradov S., Gricina I. // The International Journal of Multiphysics. 2015. V. 9. Issue 1. P. 9–20. doi: <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>
7. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations / Tiutiunyk V. V., Ivanets H. V., Tolkunov I. A., Stetsyuk E. I. // Scientific Bulletin of National Mining University. 2018. Issue 1. P. 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
8. Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Borodych P. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 3, Issue 9 (93). P. 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133127>
9. Turcotte D. L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge university press. 1997. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174695>
10. Poulsen A., Jomaas G. Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings // Fire Technology. 2011. V. 48. Issue 2. P. 419–439. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0230-0>
11. Zhang D., Xue W. Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch // Journal of West China Forestry Science. 2010. Issue 39. P. 148.
12. Ji J., Yang L., Fan W. Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation // JCST. 2003. Issue 9. P. 139.
13. Peng X., Liu S., Lu G. Experimental analysis on heat release rate of materials // Journal of Chongqing University. 2005. Issue 28. P. 122.
14. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 2. Issue 9 (86). P. 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
15. Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 4. Issue 9 (88). P. 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108448>
16. Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 5. Issue 9 (89). P. 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>
17. Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises / Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S., Shcherbak S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 6. Issue 10 (90). P. 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117789>

18. Bendat J. S., Piersol A. G. Random data: analysis and measurement procedures. 2th ed. John Wiley & Sons, 2010. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
19. Techniques to Obtain Good Resolution and Concentrated Time-Frequency Distributions: A Review / Shafi I., Ahmad J., Shah S. I., Kashif F. M. // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. 2009. V. 2009. Issue 1. doi: <https://doi.org/10.1155/2009/673539>
20. Singh P. Time-frequency analysis via the fourier representation // HAL. 2016. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330>
21. Pretrel H., Querre P., Forestier M. Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments // Fire Safety Science. 2005. V. 8. P. 1217–1228. doi: <https://doi.org/10.3801/iafss.fss.8-1217>
22. Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Romin A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 1. Issue 10 (91). P. 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122419>
23. Stankovic L., Dakovic M., Thayaparan T. Time-frequency signal analysis. Kindle edition, Amazon. 2014. 655 p.
24. Avargel Y., Cohen I. Modeling and Identification of Nonlinear Systems in the Short-Time Fourier Transform Domain // IEEE Transactions on Signal Processing. 2010. V. 58. Issue 1. P. 291–304. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2009.2028978>
25. Giv H. H. Directional short-time Fourier transform // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 2013. V. 399. Issue 1. P. 100–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2012.09.053>
26. Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Semkiv O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 2. Issue 10 (92). P. 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125926>
27. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований. 2002. 656 с.
28. Examining the learning fire detectors under real conditions of application / Andronov V., Pospelov B., Rybka E., Skliarov S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 3. Issue 9 (87). P. 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101985>
29. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5/10 (95). 25–30.

*Б. Б. Поспелов, д.т.н., професор, провідн н.с.*

*Є. О. Рыбка, д.т.н., ст. дослідник, заст. нач. центру – нач. відділу*

*Р. Г. Мелещенко, к.т.н., доц. каф.*

*М. О. Самойлов, ад'юнкт ад'юнктури*

*К. М. Карпець, к.геогр.н., доцент, провідн. н.с.*

*Ю. С. Безугла, к.т.н., викл. каф.*

*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## **ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ**

Запропоновано інженерно-технічний метод попередження НС техногенного характеру шляхом оперативного контролю станів газового середовища в приміщеннях об'єктів технічної сфери. Розроблено параметричну модель визначення поточної кореляційної розмірності для при-  
civil security. DOI: 10.5281/zenodo.3901988

ростів станів газового середовища в приміщеннях об'єкта на основі вимірів основних небезпечних факторів. Показано, що запропонована модель поточної кореляційної розмірності залежить від ширини ковзного вікна усереднення і способу визначення норми. Новий науковий результат полягає в теоретичному обґрунтуванні моделі поточної кореляційної розмірності для приростів станів газового середовища в приміщеннях об'єкта, а також можливості використання її в якості оперативного і достовірного індикатора для попередження НС техногенного характеру в різних виробничих приміщеннях об'єктів технічної сфери. Поточна кореляційна розмірність для приростів станів газового середовища в приміщеннях об'єкта дозволяє оперативно виявляти не тільки явні, але і приховані небезпечні ситуації в різних приміщеннях об'єктів, попереджаючи появу різних НС техногенного характеру. Розроблено керуючий алгоритм інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру на основі використання поточної кореляційної розмірності для приростів станів газового середовища в виробничих приміщеннях об'єктів технічної сфери. Даний керуючий алгоритм дозволяє реалізувати запропонований метод попередження НС техногенного характеру, як в приміщеннях об'єкта з різним технологічним обладнанням та агрегатами, так і в приміщеннях розміщення обслуговуючого персоналу, чергових змін і офісних працівників. Описана процедура застосування інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру на основі використання поточної кореляційної розмірності для приростів станів газового середовища в різних виробничих приміщеннях об'єктів технічної сфери, що складається з семи базових послідовних процедурних елементів.

**Ключові слова:** інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій, кореляційна розмірність, газове середовище приміщень, небезпечні фактори газового середовища

*B. Pospelov, DSc, Professor, Chief Researcher*

*E. Rybka, DSc, Senior Researcher, Deputy Head of the Center – Head of Department*

*R. Meleschenko, PhD, Associate Professor of the Department*

*M. Samoylov, Associate Adjunct*

*K. Karpets, PhD, Associate Professor, Leading Researcher*

*Y. Bezuhla, PhD, Lecturer of the Department*

*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

## ENGINEERING AND TECHNICAL METHOD FOR PREVENTING EMERGENCY SITUATIONS BY MONITORING THE GAS ROOM ENVIRONMENT

An engineering method is proposed for the prevention of anthropogenic emergencies through operational monitoring of the state of the gas environment in the premises of technical facilities. A parametric model is developed for determining the current correlation dimension for increments of the state of the gas medium in the premises of the facility based on measurements of the main hazardous factors. It is shown that the proposed model of the current correlation dimension depends on the width of the moving averaging window and the method for determining the norm. A new scientific result consists in the theoretical justification of the model of the current correlation dimension for increments of the state of the gas environment in the premises of the facility, as well as the possibility of using it as an operational and reliable indicator to prevent anthropogenic emergencies in various production facilities of technical facilities. The current correlation dimension for the increment of the state of the gas environment in the premises of the facility allows you to quickly identify not only obvious but also hidden dangerous situations in different rooms of the facilities, preventing the emergence of various emergency situations of anthropogenic nature. A control algorithm is developed for the engineering and technical method for preventing anthropogenic emergencies based on the use of the current correlation dimension for increments in the state of the gas environment in the production facilities of technical facilities. This control algorithm allows you to implement the proposed method for preventing anthropogenic emergencies, both in the premises of the facility with various technological equipment and units, as well as in the premises of staff, duty shifts and office workers. A procedure is described for applying the engineering method for the prevention of anthropogenic emergencies based on the use of the current correlation dimension for increments of the state of the gas environment in various production facilities of technical facilities, consisting of seven basic consecutive procedural elements.

**Keywords:** engineering and technical method for preventing emergencies, correlation dimension, gas environment of premises, hazardous factors of the gas environment

## References

1. Vasiliev, M. I., Movchan, I. O., Koval, O. M. (2014). Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 106–113.
2. Kondratenko, O. M., Vambol, S. O., Stokov, O. P., Avramenko, A. M. (2015). Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 55–61.
3. Vasyukov, A., Loboichenko, V., Bushtec, S. (2016). Identification of bottled natural waters by using direct conductometry Ecology. *Environment and Conservation*, 22 (3), 1171–1176.
4. Semko, A. N., Beskrovnaya, M. V., Vinogradov, S. A., Hritsina, I. N., Yagudina, N. I. (2014). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blow-outs. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 52 (3), 655–664.
5. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
6. Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9 (1), 9–20. doi: <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>
7. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133127>
9. Turcotte, D. L. (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge university press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174695>
10. Poulsen, A., Jomaas, G. (2011). Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings. *Fire Technology*, 48 (2), 419–439. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0230-0>
11. Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. *Journal of West China Forestry Science*, 39, 148.
12. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation. *JCST*, 9, 139.
13. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental analysis on heat release rate of materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.
14. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
15. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (88)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108448>

16. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (89)), 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>
17. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S., Shcherbak, S. (2017). Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117789>
18. Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2010). *Random data: analysis and measurement procedures*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
19. Shafi, I., Ahmad, J., Shah, S. I., Kashif, F. M. (2009). Techniques to Obtain Good Resolution and Concentrated Time-Frequency Distributions: A Review. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2009 (1). doi: <https://doi.org/10.1155/2009/673539>
20. Singh, P. (2016). Time-frequency analysis via the fourier representation. HAL. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330>
21. Pretrel, H., Querre, P., Forestier, M. (2005). Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments. *Fire Safety Science*, 8, 1217–1228. doi: <https://doi.org/10.3801/iafss.fss.8-1217>
22. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Romin, A. (2018). Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10(91)), 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122419>
23. Stankovic, L., Dakovic, M., Thayaparan, T. (2014). *Time-frequency signal analysis*. Kindle edition, Amazon, 655.
24. Avargel, Y., Cohen, I. (2010). Modeling and Identification of Nonlinear Systems in the Short-Time Fourier Transform Domain. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58 (1), 291–304. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2009.2028978>
25. Giv, H. H. (2013). Directional short-time Fourier transform. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 399 (1), 100–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2012.09.053>
26. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125926>
27. Mandel'brot, B. (2002). *Fraktal'naya geometriya prirody*. Moscow: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 656.
28. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Examining the learning fire detectors under real conditions of application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (87)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101985>
29. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/10 (95), 25–30.

Надійшла до редколегії: 11.02.2020

Прийнята до друку: 21.02.2020