

УДК 614.8

*Б. Б. Поспелов, д.т.н., профессор, ведущ. научн. сотр., НУГЗУ,
Е. А. Рыбка, д.т.н., старший исследователь, нач. отдела, НУГЗУ,
Р. Г. Мелещенко, к.т.н., доцент, доц. каф., НУГЗУ,
М. А. Самойлов, адъюнкт адъюнктуры, НУГЗУ,
Ю. С. Безуглая, к.т.н., преподаватель каф., НУГЗУ*

**МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ МЕР ТЕКУЩЕЙ РЕКУРРЕНТНОСТИ
ФЛУКТУАЦИЙ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАННЕГО
ВЫЯВЛЕНИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИЯХ**

(представлено д.т.н. Андроновым В. А.)

Разработаны методы вычисления мер текущей рекуррентности флуктуаций состояния газовой среды, позволяющие осуществлять раннее выявление пожара в помещениях.

Ключевые слова: раннее выявление пожара, мера рекуррентности, флуктуации состояния, газовая среда помещения.

Постановка проблемы. Пожары на объектах рассматриваются в качестве наиболее частых источников возникновения различных чрезвычайных ситуаций (ЧС). В особой степени это относится к пожарам в помещениях объектов, в которых обычно находится большая часть производственного оборудования, механизмов и обслуживающего персонала. Опасными факторами пожаров в помещениях обычно являются токсичные продукты горения, открытое пламя, повышенная температура, дым и снижение концентрации кислорода. Общая смертность на пожарах свидетельствует о том, что более 80% погибших приходится на пожары в помещениях. Эффективным направлением снижения смертности принято считать раннее выявление очага возгорания в помещениях. В этой связи актуальной проблемой является разработка методов выявления пожара в помещениях объектов на ранней стадии его развития.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что реальная газовая среда при возгорании материалов в помещении представляет собой сложную нелинейную систему, состояние которой описывается хаотической динамикой. Для анализа сложных динамических систем в последнее время активно применяются методы нелинейной динамики [1, 2]. Результаты экспериментального изучения процессов возникновения пожара в помещениях, представлены в работе [3]. Экспериментальному исследованию режимов горения различных материалов с учетом внешнего теплового воздействия, посвящена работа [4]. Исследование скорости тепловыделения для различных горючих материалов при пожаре в помещении выполнено в [5]. При этом в [3–5] отмечается, что процессы образования опасных факторов пожара и их влияние на начальном этапе возгорания на параметры газовой среды в помещениях

носят сложный характер. Повышению эффективности измерения температуры газовой среды в помещениях при ранних возгораниях материалов посвящены работы [6, 7]. В [6] рассматривается метод повышения точности измерения температуры, основанный на оптимизации параметров чувствительного элемента теплового пожарного извещателя. При этом метод оптимизации основывается на усредненных статистических характеристиках газовой среды. Метод описан в [7] базируется на увеличении быстродействия существующих тепловых пожарных извещателей максимального типа. Однако при этом не учитываются особенности реальной динамики температуры газовой среды при возгорании в помещениях. В работе [8] для раннего обнаружения возгораний в помещениях предлагается использовать сенсоры, самонастраивающиеся к возгораниям. Анализ динамики самонастройки порога и вероятности обнаружения возгораний в самонастраивающихся сенсорах рассматривается в работе [9]. Однако результаты, приведенные в [8, 9], ограничиваются рассмотрением усредненных характеристик газовой среды при возникновении пожара. При этом динамика состояния газовой среды в виде сложной системы образования и взаимодействия опасных параметров пожара для раннего выявления пожара не учитывается. В одной из первых работ [10], посвященных изучению особенностей реальной динамики состояния газовой среды на ранних этапах возникновения пожара, исследуются временные автокорреляции и парные корреляции для основных опасных параметров состояния газовой среды. При этом характеристики динамики состояний газовой среды, как сложной динамической системы, например, определяемые рекуррентными диаграммами (RP) состояний или мерами их рекуррентности состояний, применительно к этапу раннего возникновения пожара не изучаются. В [11] отмечается, что для раннего выявления пожара важной является текущая динамика газовой среды. В работе рассматриваются методы обработки текущих измерений параметров состояния, которые позволяют определять лишь средние распределения энергии опасных параметров по лагам и частотам. При этом оценка динамики состояний газовой среды и меры рекуррентности состояний (РС) не рассматриваются.

Обзор современных методов временного и частотного анализа содержится в работе [12]. В ней отмечается, что проблема частотно-временной локализации остается актуальной и до конца не решенной. Известные методы в большинстве случаев оказываются сложными и не пригодными для раннего выявления возгораний при пожаре. В [13] рассматриваются методы анализа нестационарных процессов во временной области. Однако процесс возгорания материалов при пожаре обычно характеризуется нестационарной динамикой опасных параметров газовой среды. При этом газовая среда при возгорании материалов как сложная динамическая система не рассматривается. Экспериментальное исследование динамики скорости горения материалов в закрытых и вентили-

руемых помещениях представлено в [14]. Однако в данной работе не исследуются особенности динамики состояния газовой среды при ранних возгораниях. Экспериментальному исследованию флуктуаций параметров газовой среды и их использованию в качестве признака раннего выявления возгораний посвящена работа [15]. При этом результаты преимущественно ограничиваются анализом статистики флуктуаций основных опасных параметров состояния газовой среды. Следуя [10–15], исследование динамики параметров состояния газовой среды для модельных возгораний свидетельствует о том, что источник возгорания в помещении нарушает исходное равновесное состояние газовой среды. В общем случае, такое нарушение проявляется в достаточно сложном нелинейном характере процессов. Общим методам анализа свойств нелинейных систем посвящены работы [16] и [17]. Метод кратковременного преобразования Фурье к анализу реальных систем рассматривается в [18]. Отмечается, что методы [16–18] оказываются достаточно сложными в реализации. Поэтому данные методы не могут рассматриваться в качестве конструктивных для раннего выявления возгораний при пожаре в помещениях. Однако, полезными для раннего выявления возгораний могут быть методы нелинейной динамики в виде RP и мер РС газовой среды, рассматриваемые в соответствующем фазовом пространстве. Результаты исследования особенностей динамики опасных параметров состояния газовой среды представлены в [19]. Несмотря на оперативность предлагаемого модифицированного метода, его реализация остается достаточно сложной, а эффективность зависит от выбираемых параметров. Кроме этого методы ограничиваются энергетическими представлениями опасных параметров состояния. Это ограничивает применение методов для выявления особенностей динамики опасных параметров состояния газовой среды при возникновении пожара.

К настоящему времени в области нелинейной динамики методы, основанные на корреляционной размерности [20] и показателе Ляпунова [21], успешно используются для количественного описания динамических особенностей состояния различных сложных систем. При этом для изучения топологических свойств динамики широко используются фрактальные свойства [22], информационные меры [23] и другие типы мер. При этом особое внимание отводится развитию методов RP и мер РС [24]. Объясняется это тем, что большинство реальных динамических систем естественного и искусственного происхождения обладают свойством РС. При этом методы RP и мер РС оказываются одними из конструктивных, которые позволяют отображать и выявлять особенности скрытой динамики реальных систем по измерениям их состояний или отдельных параметров состояния [24]. В основе методов RP и мер РС лежит предположение о фрактальности динамики состояний реальных систем [25]. Указанные методы позволяют на качественно более высоком уровне решать задачи анализа, классификации, распознавания, про-

гноза и выявления опасных состояний в различных реальных системах. Однако известные меры РС динамических систем остаются достаточно сложными для приложений, связанных с выявлением ранних возгораний материалов при возникновении пожара в помещениях. Поэтому требуется разработка текущих мер рекуррентности состояний газовой среды для раннего выявления пожара в помещениях.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является разработка текущих мер РС газовой среды для раннего выявления пожара в помещениях на основе отображения скрытой динамики рекуррентных состояний газовой среды в RP, а также проверка работоспособности предложенных мер на примере возгорания типового горючего материала в модельной камере.

В большинстве задач раннего выявления пожара в помещениях отсутствуют данные о возмущающих факторах газовой среды. Единственной исходной информацией для раннего выявления пожара являются состояния газовой среды, измеряемые соответствующими сенсорами в помещении обычно в дискретном времени. Эта измерительная информация позволяет отобразить скрытую динамику состояния газовой среды в виде рекуррентных состояний. В общем случае измерительная информация о состоянии газовой среды в дискретный момент времени i представляет собой m -мерный вектор, составляющими которого являются опасные параметры пожара

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

где \bar{d}_i – вектор текущих средних состояния газовой среды в помещении; $\bar{\Delta}_i$ – вектор текущих флуктуаций состояния, обусловленных различными неконтролируемыми возмущениями; N_s – максимальное число измеряемых данных о состоянии газовой среды в помещении.

Следуя [17], для раннего выявления пожара в помещениях наиболее чувствительными являются флуктуации приращений состояний $\bar{\Delta}_i$ в (1). Поэтому вычисление мер рекуррентности для раннего выявления пожара должно базироваться на динамике вектора текущих флуктуаций состояния газовой среды. С этой целью перейдем от (1) к вектору текущих приращений флуктуаций состояния

$$\bar{z}_i = \bar{x}_i - \bar{x}_{i-1} = \bar{\Delta}_i - \bar{\Delta}_{i-1}. \quad (2)$$

Вектор (2) означает, что за время между двумя последовательными дискретными измерениями средние состояния газовой среды практически не изменяются. В этом случае метод RP позволяет отображать траектории вектора (2) в m -мерном фазовом пространстве на двумерную двоичную матрицу размером $N_s \times N_s$. В данной матрице единичный эле-

мент соответствует РС флуктуаций для произвольных моментов времени i и j . Данную двоичную матрицу можно отобразить на плоскость. При этом координатные оси отображения будут определяться осями дискретного времени. Математически такое отображение для вектора (2), следуя [25], может быть определено в виде:

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

где $\Theta()$ – функция Хевисайда; ε – размер окрестности РС вектора \bar{z}_i в момент времени i , а $\|\cdot\|$ – знак определения нормы. RP (3) позволяет отображать скрытую динамику корреляций флуктуаций состояний (приращений состояний) газовой среды (2) при возгораниях в помещении с учетом различных неконтролируемых факторов на основе измерений (1). Однако известные меры РС, вычисляемые на основе RP, не позволяют использовать их непосредственно для раннего выявления пожара. Наиболее распространенная мера для представления (3) будет определяться величиной

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

Мера (4) показывает плотность РС флуктуаций для газовой среды, подсчитывая их без учета линии идентичности в (3). В пределе при $N_s \rightarrow \infty$ мера (4) будет определять оценку вероятности РС флуктуаций газовой среды в помещении. Основным ограничением меры (4) при раннем выявлении загораний является ее интегральный характер. Поэтому мера (4) слабо приспособлена к выявлению локальных во времени динамических особенностей флуктуаций состояния газовой среды при ранних возгораниях в помещениях. Модификацией меры (4) является представление ее в виде функционала, зависящего от ε и N_s , т.е. меры вида:

$$M_1(\varepsilon, N_s) = \frac{1}{N_s^2} \sum_{i \neq j}^{N_s} R^{m,\varepsilon}_{i,j}. \quad (5)$$

Мера (5), в отличие от (4), позволяет вычислять плотность РС флуктуаций с учетом динамики интервала измерения и размера ε окрестности рекуррентности состояний \bar{z}_i для текущего момента времени i . Ограничением меры (5) является снижение ее чувствительности к флуктуациям состояний по мере увеличения интервала измерения. Кроме этого мера (5) вычисляется с момента первого измерения и поэтому на начальном этапе имеет недостаточную точность. Для увеличения точности и достоверности временной локализации опасных флуктуаций состояния газовой среды предлагается вместо (5) использовать оконную

меру с квадратным окном размера $N \times N$, которое движется вдоль главной диагонали (3) для каждого N_s отсчета флуктуаций состояния

$$M_2(\varepsilon, N, N_s) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \neq j}^N R^{m, \varepsilon}_{i+N_s, j+N_s}. \quad (6)$$

Мера (6) позволяет вычислять текущую плотность РС флуктуаций и выявлять опасные флуктуации состояния газовой среды при возгорании в помещении. Данная мера зависит от параметров ε и N , которые должны выбираться из условия наилучшего раннего выявления опасных флуктуаций состояния. Достоинством меры (6) является то, что окно размером $N \times N$ движется вдоль главной диагонали и поэтому указанная мера определяется только для отсчетов $N_s \geq N$. Это означает, что мера (6) формируется с временной задержкой, равной N отсчетам состояния в окне. Для уменьшения временной задержки размер окна должен выбираться малым. Однако при малых размерах окна большее влияние на величину меры (6) будут оказывать различные дестабилизирующие факторы. Это необходимо учитывать для меры (6) при раннем выявлении опасных флуктуаций состояния газовой среды в случае возгораний в помещении. Еще один метод вычисления меры рекуррентности флуктуаций состояния газовой среды касается изменения направления движения окна. Например, предлагается использовать меру, аналогичную (6), но для которой окно перемещается горизонтально (или вертикально). В случае горизонтального перемещения окна предлагаемая мера РС флуктуаций будет определяться величиной

$$M_3(\varepsilon, N, N_s) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \neq j}^N R^{m, \varepsilon}_{i+N_s, j}. \quad (7)$$

Предлагаемая мера (7), в отличие от меры (6), позволяет обеспечивать требуемое сглаживание меры с одновременным увеличением ее чувствительности к опасным флуктуациям состояния (фазовым переходам) газовой среды при возгораниях в помещениях. Данное свойство меры (7) позволяет повысить достоверность и оперативность выявления опасных флуктуаций состояния газовой среды и использовать ее для раннего выявления пожара в помещениях.

Проверка работоспособности предложенных мер выполнялась на примере возгорания быстро воспламеняемого горючего материала в виде спирта в модельной камере [26]. В ходе эксперимента измерения состояний газовой среды производилась в дискретные моменты времени i с шагом $\Delta t = 0,1$ секунды. Моменты времени измерений нумеровались от 0 до N_s . Состояние газовой среды определялось вектором, компонентами которого являлись плотность дыма, температура и концентрация угарного газа (СО). Для измерения компонентов состояний использова-

лись штатные сенсоры, используемые в существующих пожарных извещателях. Измерительные сенсоры размещались в зоне конвективной струи над горючим материалом на высоте 0,8 м. Это означает, что в момент i регистрируемое состояние газовой среды определялось вектором \bar{x}_i в трехмерном фазовом пространстве ($m=3$). Поджог спирта в эксперименте производился в интервале от 200 до 230 отсчета относительно начала измерений. Для проверки предложенных мер РС флуктуаций газовой среды в камере, следуя (2), вектор измерений состояний \bar{x}_i преобразовывался в соответствующий вектор флуктуаций \bar{z}_i .

На рис. 1 представлено отображение RP (3), соответствующее вектору флуктуаций состояния (2) для $\varepsilon=0,01$ на интервале измерений, определяемом 180–240 отсчетами.

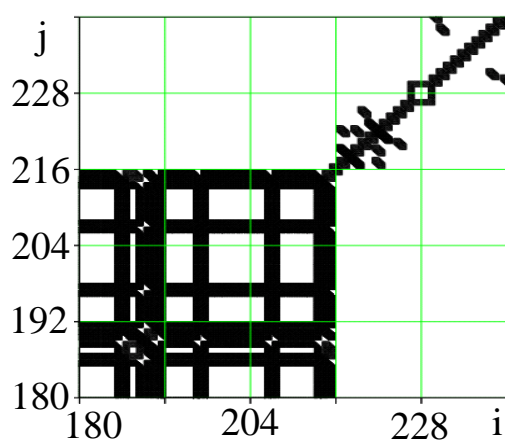


Рис. 1. Рекуррентные графики флуктуаций состояния газовой среды при возгорании спирта в модельной камере

Анализ RP для флуктуаций состояния (2) на рис. 1 свидетельствует о фрактальной структуре динамики флуктуаций состояния газовой среды при возгорании спирта в модельной камере. При этом RP представляют возможности только визуального выявления опасных флуктуаций состояния газовой среды при возгорании спирта в камере. Опасные флуктуации состояния определяются по наличию в RP областей с нулевой РС (области белого цвета). Области наличия РС флуктуаций отображаются на RP черным цветом. Из анализа рис. 1 следует, что до момента возгорания спирта (180–216 отсчет) области с нулевыми значениями РС располагаются внутри областей с РС. Это свидетельствует о том, что до возгорания спирта газовая среда в камере находилась в устойчивом неравновесном состоянии. При таком состоянии, следуя второму закону термодинамики для биологических систем, имеет место непрерывное чередование фаз потребления и выделения энергии. Это обуславливает непрерывное чередование состояний устойчивости и неустойчивости, которые проявляются в характере флуктуаций состояния газовой среды (чередование замкнутых черных и белых областей). Появление разомкнутых областей с нулевыми значениями рекуррентных состояний флуктуаций и областей рекуррентности характерно потере

устойчивости флуктуаций состояния, которое наблюдается при наличии возгорания материала в помещении.

Графики на рис. 2 иллюстрируют результаты проверки предложенных мер (5)–(7) РС флуктуаций газовой среды в модельной камере на примере раннего выявления загорания спирта при использовании квадратного окна размера 5×5 отсчетов для величины $\varepsilon=0,01$.

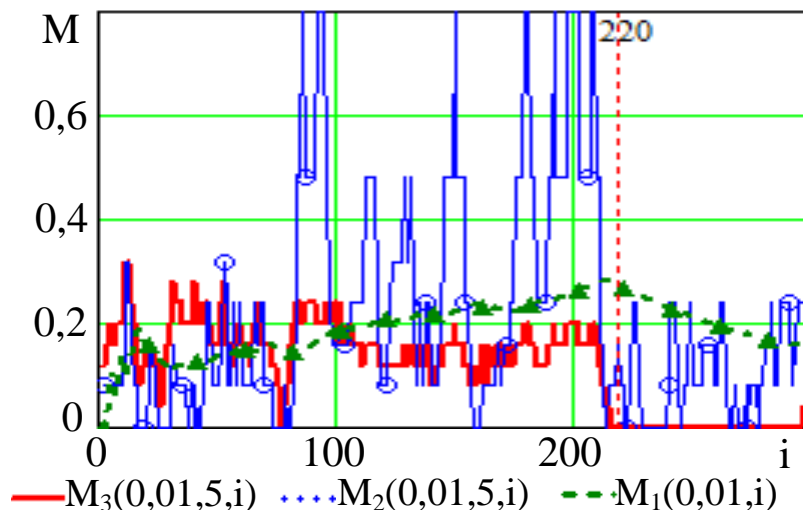


Рис. 2. Результаты проверки предложенных мер (5)–(7) при выявлении загорания спирта в случае использования движущегося окна размера 5×5 отсчетов при значении $\varepsilon=0,01$

Сравнительные результаты (рис. 2) проверки предложенных мер РС и возможности их использования для раннего выявления возгораний в помещениях на примере поджога спирта в камере свидетельствуют о том, что наиболее приспособленной оказывается мера (7). Объясняется это тем, что мера (7) использует окно, движущееся по горизонтали вдоль оси абсцисс RP. Это позволяет использовать окна малого размера для наилучшей временной локализации изменений в динамике флуктуаций состояния газовой среды. Результат проверки меры (7) при окне размера 5×5 на рис. 2 свидетельствует об ее эффективности выявлять момент поджога спирта в камере по нулевым значениям РС флуктуаций газовой среды в модельной камере.

На рис. 3. приведены зависимости предложенных мер (5)–(7) от величины ε для фиксированного момента 220 отсчета, соответствующего моменту поджога спирта в камере, в случае использования движущегося окна размером 5×5 отсчетов для мер (6) и (7). Для сравнения на рис. 3 приведена также зависимость предложенной меры (5) от величины ε для фиксированного момента 220 отсчета, которая не использует окно, применяемое в мерах (6) и (7).

Исследование предложенных мер (5)–(7) от величины ε в фиксированный момент поджога спирта в камере (рис. 3) свидетельствует об их различной чувствительности к величине ε . Например, меры (5) и (6) оказываются более чувствительными к величине ε . Кроме этого данные меры характеризуются ненулевыми значениями в момент поджога спирта. В

отличие от этого, мера (7) оказывается менее чувствительной к величине ε и имеет нулевое значение в момент поджога.

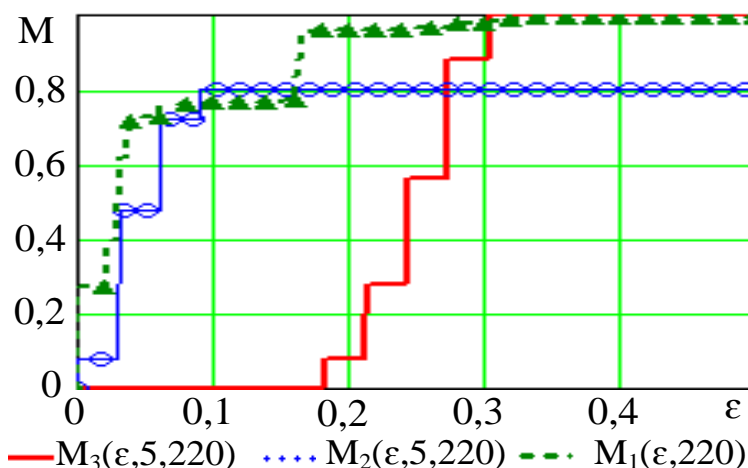


Рис. 3. Зависимости предложенных мер (5)-(7) от величины ε для фиксированного момента 220 отсчета, соответствующего моменту поджога спирта в камере, в случае движущегося окна размером 5×5 отсчетов

По этой причине мера (7) обладает более широкими возможностями выявления моментов возгорания в помещениях. В связи с этим мера (7) может рассматриваться в качестве конструктивного способа раннего выявления пожара в помещениях.

Выводы. Таким образом, предложены методы вычисления мер текущей РС флуктуаций газовой среды для раннего выявления пожара в помещениях. Предложенные меры базируются на модификации известной меры глобальной рекуррентности состояний сложных динамических систем на случай вычисления мер текущей рекуррентности флуктуаций состояния газовой среды в движущихся квадратных окнах вдоль главной диагонали и горизонтальной оси RP. Выполнена проверка работоспособности предложенных мер на примере возгорания спирта в модельной камере. Установлено, что наиболее конструктивной оказывается оконная мера рекуррентности при горизонтальном движущемся окне малого размера от 5×5 до 15×15 отсчетов для значений ε в интервале от 0,01 до 0,15. Данная мера может использоваться раннего выявления пожара в помещении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3/9 (93). P. 34–40.
2. Turcotte D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
3. 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.

4. Ji J., Yang L., Fan W. Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation // *JCST*. 2003. №9. P. 139.
5. Peng X., Liu S., Lu G. Experimental analysis on heat release rate of materials // *Journal of Chongqing University*. 2005. №28. P. 122.
6. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Increase of accuracy of definition of temperature by sensors of fire alarms in real conditions of fire on objects // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. V. 4 (82). №5. P. 38–44.
7. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detector // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 2 (86). №9. P. 32–37.
8. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 4 (88). №9. P. 53–59.
9. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 5 (89). №9. P. 43–48.
10. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S., Shcherbak S. Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 6 (90). №10. P. 50–56.
11. Bendat J. S., Piersol A. G. Random data: analysis and measurement procedures, fourth edition // John Wiley & Sons. 2010. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781118032428>
12. Shafi I., Ahmad J., Shah S. I., Kashif F. M. Techniques to obtain good resolution and concentrated time-frequency distributions: a review // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2009. 43 p.
13. Singh P. Time-frequency analysis via the fourier representation // *HAL*. 2016. P. 1–7. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330>
14. Pretrel H., Querre P., Forestier M. Experimental study of burning rate behaviour in confined and ventilated fire compartments // *Fire safety science proceedings of the eighth international symposium*. 2005. P. 1217–1228.
15. Andronov V., Pospelov B., Rybka E., Popov V., Romin A. Experimental investigation of fluctuations of gas environment parameters as early fire signs // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V.1 (91). №10. P. 50–55.
16. Stankovic L., Dakovic M., Thayaparan T. Time-frequency signal analysis // Kindle edition, Amazon. 2014. 655 p.
17. 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. №1. P. 291–304.
18. Giv H. Directional short-time Fourier transform // *Journal of Ma-*

thematical Analysis and Applications. 2013. V. 399. №1. P. 100–107.

19. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Semkiv O. Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 2 (92). №10. P. 44–49.

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

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

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

23. Schirdewan A., Gapelyuk A., Fischer R., Koch L., Schütt 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.

24. Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences. 2005. 26 p.

25. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody // Institut kompyuternyih issledovaniy. 2002. V. 656. P. 12.

26. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detector // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 2 (86). №9. P. 32–37.

Б. Б. Поспелов, Є. О. Рибка, Р. Г. Мелещенко, М. О. Самойлов, Ю. С. Безугла
Методи обчислення мір поточної рекурентності флуктуацій стану газового середовища для раннього виявлення пожежі в приміщеннях

Розроблено методи обчислення мір поточної рекурентності флуктуацій стану газового середовища, які дозволяють здійснювати раннє виявлення пожежі в приміщеннях.

Ключові слова: раннє виявлення пожежі, міра рекурентності, флуктуації стану, газове середовище приміщення.

B. Pospelov, E. Rybka, R. Meleschenko, M. Samoilov, Yu. Bezuglaya
Methods for calculating measures of the current recurrence of fluctuations in the state of the gas environment for early detection of a fire in premises

Methods have been developed for calculating measures of the current recurrence of fluctuations in the state of the gas environment, which allow early detection of a fire in premises.

Keywords: early detection of fire, measure of recurrence, fluctuations of state, gas environment of the room.