



“Fövqəladə hallarda təhlükəsizlik problemləri”

professor-müəllim heyətinin IV beynəlxalq elmi-texniki konfransı

MƏRUZƏ MATERIALLARI

IV international scientific-technical conference of professor-teacher staff

BAKI - 2018

MÜNDƏRİCAT

HƏYAT FƏALİYYƏTİNİN TƏHLÜKƏSİZLİYİ PROBLEMLƏRİ.....7

<i>Гасанов Д.Г.</i> Актуальные вопросы эффективности материально-технического обеспечения мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.....7	7
<i>Rzayev A.H.</i> Litosfer plitələrinin tektonik hərəkətləri proseslərinin identifikasiyası.....13	13
<i>Axundov İ.Ə.</i> Atmosferi çirkləndirən maddələrin əsas xarakteristikaları və onlara qarşı təhlükəsizlik tədbirləri17	17
<i>Гасанов Х.Ш.</i> Особенности определения места пожара в здании при использовании тепловизоров.....23	23
<i>Qurbanova M.Ə., Hacızadə F.M., Лобойченко В.М</i> Sənaye komplekslərində yanğın riskinin azaldılmasında istifadə olunan yanğınsöndürmə vasitələrinin ekoloji təhlil30	30
<i>Məmmədov A.M., Mustafayev İ.İ., Gözəlov S.S.</i> Təbii fəlakətlər və texnogen qəzalar zamanı yaranan psixi pozuntular.....33	33
<i>Дадашов И.Ф. Куреев А.А., Сенчихин Ю.Н., Сулейманова-Рахманлы А.Н.</i> Решение проблем эффективного тушения резервуаров с горючими жидкостями с использованием твердых пористых материалов.....39	39
<i>Orucov Ə.A.</i> Azərbaycan Respublikasının milli təhlükəsizliyinin ideoloji əsasları: sosial-siyasi təhlil.....45	45
<i>Məmmədli R.Ş.</i> Sənaye şəhərlərinin atmosferinin çirklənməsində avtomobil nəqliyyatının rolu.....52	52
<i>İsmayılov N.E.</i> Qəza-xilasetmə avadanlıqlarının yüksək dəqiqliyə malik detallarının etibarlı istismar müddətinin artırılmasında texnoloji üsulların tətbiqi.....56	56
<i>Hacımətov Q.N., Danyalov Ş.D., Babayev L.M.</i> Qəza-xilasetmə avadanlıqlarının işlərinin mexanikləşdirilməsi vasitələrinin təhlili və tətbiqi yolları.....61	61
<i>Quliyeva A.A., Hüseynov A.R.</i> Fövqəladə hallarda emosional və psixoloji gərginliyin sosial-psixoloji təhlili.....63	63
<i>Abdiyeva-Aliyeva G.A.</i> Prognostication of shock wave influence during nuclear blast.....67	67
<i>Abbasov R.M</i> Azərbaycanın qərb bölgəsinin meşə sahələrində torpaq sürüşmələri və onların qarşısının alınması yolları.....70	70
<i>Поспелов Б.Б., Андронов В.А., Рыбка Е.А.</i> Метод выявления начальной стадии чрезвычайной ситуации на основе рекуррентных мер состояния процессов и объектов.....76	76
<i>Кусаинов А.Б.</i> Гармонизация нормативно-правовых актов государств центральной азии в области защиты от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны (защиты)86	86
<i>Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б.</i> Прогноз чрезвычайных ситуаций Статистический метод исследования.....95	95

YANĞIN TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN PROBLEMLƏRİ.....104

<i>Нәтəтов Ə.S.</i> Beynəlxalq dərəcəli idmançıların hazırlanmasında Karate idman növünün üslubları və onun səciyyəvi xüsusiyyətləri 104	104
<i>Давыдик М.А., Тризно Д.Г.</i> Проблемы пожарной безопасности высотных зданий с фасадным остеклением.....110	110
<i>Старовойтов П.А., Копытков В.В.</i> Оперативная огнезащита как способ предотвращения.....113	113
<i>Бородич П.Ю., Пономаренко Р.В.</i> Имитационное моделирование спасения пострадавшего с третьего этажа, используя наклонную переправу с помощью НСО.....115	115
<i>Левтеров А.А.</i> Акустический метод обнаружения очага пожара.....118	118

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ МЕР СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ**Б. Б. Поспелов, В.А. Андронов, Е.А. Рыбка**

*Национальный университет гражданской защиты Украины, ул., Чернышевская, 94, г.
Харьков, Украина, 61023.,
E-mail: наука@nuczu.edu.ua*

Описывается метод выявления начальной стадии чрезвычайной ситуации на основе вычисления рекуррентных мер состояния опасных процессов и объектов. При этом одна из мер основывается на реализации движущегося квадратного окна вдоль главной диагонали рекуррентной диаграммы состояний, а другая – на применении движущегося окна вдоль горизонтальной (вертикальной) оси рекуррентных диаграмм. Последнее позволило получить конструктивную текущую меру рекуррентности для выявления начальной стадии чрезвычайной ситуации на основе временной локализации нулевой рекуррентности состояний при минимальных размерах движущегося окна. Проанализированы возможности использования мер для раннего выявления опасных состояний газовой среды при возгорании горючего материала в виде спирта. Показано, что наиболее приспособленной из рассмотренных мер оказывается оконная мера при горизонтальном движущемся окне малого размера. Теоретически и экспериментально определено, что мера рекуррентности состояний с горизонтально движущимся окном может рассматриваться в качестве конструктивной меры рекуррентности для надежного выявления начальной стадии чрезвычайных ситуаций различного характера.

Ключевые слова: начальная стадия, чрезвычайная ситуация, опасное состояние процесса (объекта), рекуррентная диаграмма, мера рекуррентности, текущая рекуррентность.

A method is described for identifying the initial stage of an emergency based on the calculation of recurrent measures of the state of hazardous processes and objects. In this case, one of the measures is based on the implementation of a moving square window along the main diagonal of the recurrent state diagram, and the other on the application of a moving window along the horizontal (vertical) axis of the recurrent diagram. The latter allowed us to obtain a constructive current measure of recurrence for identifying the initial stage of an emergency situation based on the temporary localization of zero recurrence of states with the minimum size of a moving window. Analyzed the possibility of using measures for the early detection of dangerous states of the gaseous medium in the event of ignition of combustible material in the form of alcohol. It is shown that the window measure with the horizontal moving window of small size turns out to be the most adapted of the measures considered. It is theoretically and experimentally determined that the measure of recurrence of states with a horizontally moving window can be considered as a constructive measure of recurrence for reliable detection of the initial stage of emergency situations of various nature.

Keywords: initial stage, emergency, dangerous state of the process (object), recurrent diagram, measure of recurrence, current recurrence.

Məqalədə təhlükəli proseslərin və obyektlərin vəziyyətinin təkraredici tədbirlərinin hesablanmasına əsasən fəvqəladə vəziyyətin başlanğıc mərhələsini müəyyənləşdirmək üçün üsul təsvir edilmişdir. Bu halda ölçülərdən biri vəziyyətlərin cari diaqramının əsas diaqonalının uzununa hərəkət edən kvadrat pəncərənin reallaşdırmasına, digəri isə cari diaqramların oxunun üfüqi uzununa hərəkət edən pəncərənin tətbiqinə əsaslanır. Sonuncu, hərəkətli bir pəncərənin minimum ölçüsü olan sıfır təkrarlanmasının müvəqqəti lokalizasiyasına əsaslanaraq fəvqəladə vəziyyətin başlanğıc mərhələsinin müəyyənləşdirilməsi üçün konstruktiv bir təkrarlanma meyarını əldə etməyə

imkan verdi. Göstərilmişdir ki, baxılmış tədbirlərdən ən uyğunlaşdırılmış kiçik ölçünün üfüqi hərəkət edən pəncərə vaxtı məlum olur. Nəzəri və eksperimental təcrübələrlə müəyyən edilmiş ki, üfüqi hərəkət edən pəncərəylə vəziyyətlərin rekurrent ölçüsü, müxtəlif xarakterli fəvqəladə vəziyyətlərin ilk mərhələsinin üzə çıxardılması üçün rekurrent konstruktiv ölçü kimi baxıla bilər.

Açar sözlər: başlanğıc mərhələ, fəvqəladə hallar, təhlükəli proseslərin vəziyyəti, təkrarlanan diaqram, təkrarlanma metodu, cari rekürrens.

1. Введение

Всякой чрезвычайной ситуации (ЧС) предшествуют те или иные отклонения от нормального состояния какого-либо процесса или объекта. Обычно характер развития ЧС и ее последствия определяются дестабилизирующими факторами различного происхождения. Это могут быть природные, антропогенные, социальные или иные факторы, нарушающие функционирование системы и состояние объектов. Указанные факторы могут воздействовать как отдельно, так и кумулятивно. Для обеспечения безопасности, в частности на производстве, во многих странах разрабатываются специальные законодательные акты, директивы, стандарты, регламентирующие правила и мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций на объектах. Известно, что основной причиной большинства технологических катастроф является человеческий фактор. К сожалению, количество аварий во всех сферах производственной деятельности неуклонно растет. Это происходит в связи с широким использованием новых технологий и материалов, нетрадиционных источников энергии, массовым применением опасных веществ в промышленности и сельском хозяйстве. Современные сложные производства и объекты проектируются с высокой степенью надежности. Однако, чем больше производственных объектов, тем больше вероятность ежегодной аварии на одном из них. Абсолютной безаварийности не существует. Все чаще аварии принимают катастрофический характер с уничтожением объектов и тяжелыми экологическими последствиями (например – Чернобыль). Анализ таких ситуаций свидетельствует о том, что независимо от производства (процесса) и объекта, в подавляющем большинстве случаев ЧС присущи общие стадии развития. Наиболее важной из них является начальная стадия, поскольку на ней еще возможно предотвратить появление ЧС. Эта стадия ЧС обычно связана с возникновением или накоплением дефектов в оборудовании, или отклонений от нормального состояния процессов и объектов, которые сами по себе не представляют угрозы, но создают предпосылки для возникновения ЧС. С целью прогнозирования возникновения ЧС проводится мониторинг состояния потенциально опасных процессов и объектов технической и природной сферы. При этом особо важным является выявление начальной стадии ЧС. Однако на современном этапе выявление начальной стадии ЧС ограничивается рядом факторов. Во-первых, отсутствием конструктивных методов, способных выявлять незначительные изменения в состояниях процессов и объектов. Во-вторых, недостаточной изученностью динамики состояний опасных процессов и объектов в начальной стадии ЧС. В-третьих, маскированием изменений состояний различными возмущениями. В этой связи разработка конструктивных методов выявления начальной стадии ЧС является особо актуальной для любой страны мира.

2. Постановка задачи

Современные опасные процессы и объекты демонстрируют диссипативность структуры, нелинейную динамику состояний и элементы самоорганизации. Рекуррентное поведение состояний опасных процессов и объектов можно отображать в виде рекуррентных диаграмм (RP) [1]. При этом до настоящего времени не создано удовлетворительной теории применения RP и количественных мер рекуррентности. Поэтому в последнее время активно развиваются приложения методов теории динамических систем к анализу различных классов систем [2, 3]. В частности, в геофизике посвящено немало работ анализу временных рядов с позиции теории динамических систем и фрактальных множеств [3].

Экспериментальному исследованию автокорреляций и парных корреляций во временной области для опасных состояний газовой среды при ранних возгораниях посвящена работа [4]. Отмечается, что важными для раннего выявления опасных состояний оказываются меры сложности структур взаимодействия опасных состояний. Следуя [4–8], исследование опасных состояний локальных систем при модельных возгораниях свидетельствуют о том, что раннее возгорание является источником нарушения исходного равновесного состояния газовой среды, которое в общем случае носит сложный нелинейный характер. При этом для раннего выявления возгораний требуются дополнительные исследования в области мер рекуррентности состояний (РС) в многомерном фазовом пространстве. Понимание принципов и механизмов динамики состояний опасных процессов и объектов тесно связано с прогрессом в анализе сложных систем. Понятия, возникшие в области нелинейной динамики, такие как корреляционная размерность или показатели Ляпунова, успешно используются для количественного описания топологии фазового пространства и динамических свойств различных систем. При изучении топологии используются фрактальные свойства [9, 10], информационные меры [11] и другие типы мер. Сегодня особое внимание уделяется динамическим характеристикам на основе мер РС [1]. Отмечается, что для большинства реальных динамических процессов и объектов проявляется свойство РС.

Таким образом, RP являются одним из конструктивных методов изучения динамики временных рядов реальных наблюдений состояния сложных процессов и объектов [1]. В сочетании с мерами рекуррентности RP позволяют определять методы выявления структурных особенностей динамики состояний процессов и объектов, которые не могут быть выявлены с использованием традиционных методов. Однако методы, базирующиеся на RP и известных мерах РС, остаются достаточно сложными в реализации и не в полной мере позволяют локализовать выявление начальной стадии ЧС. Поэтому важной и нерешенной задачей является разработка методов выявления начальной стадии ЧС, базирующихся на RP и модификации известных мер РС опасных процессов и объектов, способных локализовать начальную стадию ЧС.

Под состояниями процессов и объектов в фазовом пространстве будем понимать либо наблюдаемые системные переменные, либо ненаблюдаемые, но восстановленные по одному наблюдаемому параметру. Обычно при мониторинге состояния опасных процессов и объектов отсутствуют данные о возмущающих факторах. Единственная исходная информация заключена в измеренных состояниях, регистрируемых обычно в дискретные моменты времени. Данная информация позволяет анализировать динамику состояния без привязки к внутренней структуре процессов или объектов мониторинга. В общем случае информация о состоянии опасных процессов и объектов в дискретный момент времени i может быть представлена m -мерным вектором данных

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

где \bar{d}_i – вектор текущих средних состояний; $\bar{\Delta}_i$ – вектор текущих приращений состояний, обусловленных опасными состояниями и возмущениями; N_s – максимальное число регистрируемых дискретных данных. Следуя работам [6, 7, 12], для раннего выявления опасных состояний важное значение имеют свойства составляющих $\bar{\Delta}_i$ в (1). Поэтому методы выявления начальной стадии ЧС должны базироваться на мерах рекуррентности для текущих приращений состояния. С этой целью перейдем к новому вектору данных, определяемому разностью соответствующих векторов состояний (1) (вектору текущих приращений состояния)

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

С учетом этого RP будет отображать траектории (2) в m -мерном фазовом пространстве на двумерную двоичную матрицу размером $N_s \times N_s$. При этом единичный элемент этой матрицы будет соответствовать РС в моменты времени i и j , а координатные оси будут соответствовать осями дискретного времени наблюдения. Математически RP определяется, следуя [13], соотношением:

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

где $\Theta(*)$ – функция Хевисайда; ε – размер окрестности состояния \bar{z}_i в момент времени i , а обозначение $\|\cdot\|$ определяет соответствующую норму. Анализ динамики состояний на основе (3) стал популярным, благодаря появлению мер рекуррентности [1]. Меры РС основываются на измерении сложности RP, отображающих особые состояния динамических систем. Однако известные меры РС не позволяют их использовать в методах выявления начальной стадии ЧС поскольку обладают ограниченными возможностями по локализации рекуррентности опасных состояний. В ряде случаев известные меры требуют дополнительного времени для их вычисления, что снижает оперативность выявления опасных состояний на начальной стадии ЧС. Кроме этого, некоторые из известных мер оказываются также недостаточно чувствительными к приращениям опасных состояний процессов и объектов, что ограничивает их применение в методах выявления начальной стадии ЧС.

Так например, наиболее распространенной из известных мер является мера РС, определяемая на основе (3), величиной

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

Мера (4) определяет плотность РС, подсчитывая их без учета линии идентичности в (3). В пределе при $N_s \rightarrow \infty$ мера (4) определяет вероятность РС для исследуемого опасного процесса или объекта и не позволяет ее использовать в методах выявления начальной стадии ЧС. Объясняется это интегральным характером меры, исключающим возможность выявления локальных во времени динамических особенностей РС. Модификацией меры (4) является мера, определяемая в виде функционала

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

зависящего от параметров ε и N_s . Мера (5), в отличие от (4), позволяет вычислять плотность РС с учетом динамики интервала наблюдения и размера ε окрестности состояния \bar{z}_i для текущего момента времени i . Ограничением использования меры (5) в методах выявления начальной стадии ЧС является снижение чувствительности к приращениям опасных состояний по мере увеличения интервала наблюдения. Кроме этого мера (5) вычисляется с момента первого наблюдения и поэтому на начальном этапе обладает недостаточной точностью для выявления начальной стадии ЧС. Для увеличения точности и достоверности временной локализации приращений опасных состояний процессов и объектов с целью выявления начальной стадии ЧС предлагается модификация (5) в виде оконной меры. Используется квадратное окно размером $N \times N$, движущееся вдоль главной диагонали RP (3) для каждого N_s отсчета состояния

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

Мера (6) позволяет вычислять текущую плотность РС в окне и на ее основе выявлять локальные опасные приращения состояний процессов и объектов. Данная мера зависит от двух параметров ε и N , которые должны выбираться из условия наилучшего выявления опасных приращений состояний. В случае меры (6) окно размером $N \times N$ движется вдоль главной диагонали и поэтому РС определяется только для отсчетов $N_s \geq N$. Это означает, что мера (6) формируется с некоторой временной задержкой, равной N отсчетам в окне. Поэтому для уменьшения времени задержки размеры окна должны выбираться минимальными. Однако при малых размерах окна большее влияние на величину меры будут оказывать различные дестабилизирующие факторы. Это необходимо учитывать при использовании меры (6) в методах выявления начальной стадии ЧС. Еще одна модификация меры РС, которая может быть использована в методах выявления начальной стадии ЧС, касается изменения направления движения окна. Предлагается использовать меру, аналогичную (6), но в которой окно перемещается горизонтально (или вертикально). Для горизонтального перемещения окна модифицированная мера РС будет определяться

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

Мера (7), в отличие от (6), позволяет обеспечивать требуемое сглаживание текущих РС с одновременным увеличением чувствительности к опасным фазовым переходам в приращениях состояний. Данное свойство меры позволяет в целом повысить достоверность и оперативность выявления опасных приращений состояний в процессах и объектах и рекомендовать ее в качестве конструктивной меры в методах выявления начальной стадии ЧС.

Проверка рассмотренных методов выявления начальной стадии ЧС на основе использования RP и предложенных мер РС осуществлялась на основе экспериментальных данных для начальной стадии ЧС, моделируемой в негерметичной камере [14], в которой

производился поджог быстро воспламеняемого материала в виде спирта, возмущающего исходные приращения состояний газовой среды. В ходе эксперимента производилась регистрация состояний газовой среды в дискретные моменты времени i с шагом $\Delta t=0,1$ секунды. Дискретные моменты времени нумеровались от 0 до N_S . Состояние газовой среды в камере определялось плотностью дыма, температурой и концентрацией угарного газа. Измерительные сенсоры размещались в зоне конвективной струи над очагом горения на высоте 0,8 м. В произвольный момент i регистрируемое состояние газовой среды в камере определялось вектором \bar{x}_i в трехмерном фазовом пространстве ($m=3$). Поджог спирта производился в интервале от 200 до 230 отсчета относительно начала регистрации. С целью проверки рассмотренных методов выявления начальной стадии ЧС на основе предложенных мер РС, следуя (2), вектор состояний \bar{x}_i газовой среды в камере преобразовывался в соответствующий вектор приращений состояний \bar{z}_i . Результаты исследования методов выявления начальной стадии ЧС (состояния газовой среды при загорании спирта) на основе меры (5) иллюстрируются на рис. 1 для различных значений ϵ и дискретных отсчетов.

Аналогичные результаты для меры (6) при квадратном окне размером 50×50 отсчетов, представлены на рис. 2.

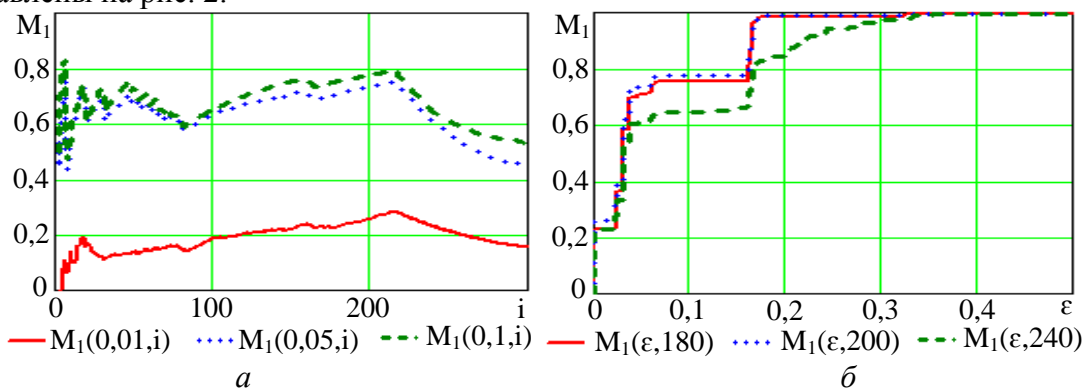


Рис. 1. Динамика меры (5) для метода выявления ЧС (загорание спирта в камере): а – в функции отсчетов для фиксированных $\epsilon = 0,01; 0,05$ и $0,1$; б – в функции ϵ для фиксированных отсчетов 180; 200 и 240

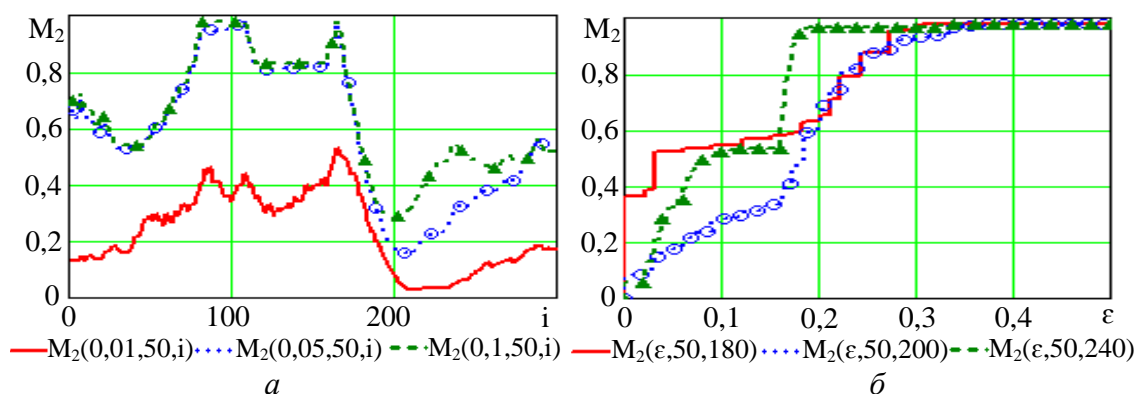


Рис. 2. Динамика меры (6) для метода выявления ЧС (загорание спирта в камере): а – в функции отсчетов для фиксированных $\epsilon=0,01; 0,05$ и $0,1$; б – в функции ϵ для фиксированных отсчетов 180; 200 и 240

На рис. 3 приведены аналогичные результаты для метода выявления начальной стадии ЧС на основе меры (7) при квадратном окне размером 50×50 отсчетов, движущемся

горизонтально вдоль оси отсчетов. Результаты влияния на выявление начальной стадии ЧС (загорание спирта) уменьшения размера окна в мере (7) представлены на рис. 4. Графики на рис. 5 иллюстрируют результаты сравнительных возможностей методов выявления начальной стадии ЧС (при загорании спирта в камере) на основе предложенных мер и использовании окна размером 5×5 отсчетов.

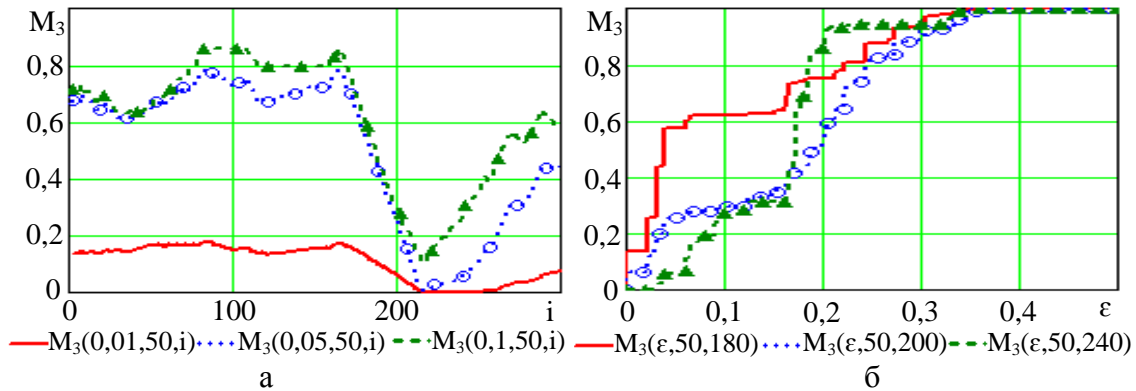


Рис. 3. Динамика меры (7) для метода выявления ЧС (загорание спирта в камере): а – в функции отсчетов для фиксированных $\epsilon=0,01$; $0,05$ и $0,1$; б – в функции ϵ для фиксированных отсчетов 180; 200 и 240

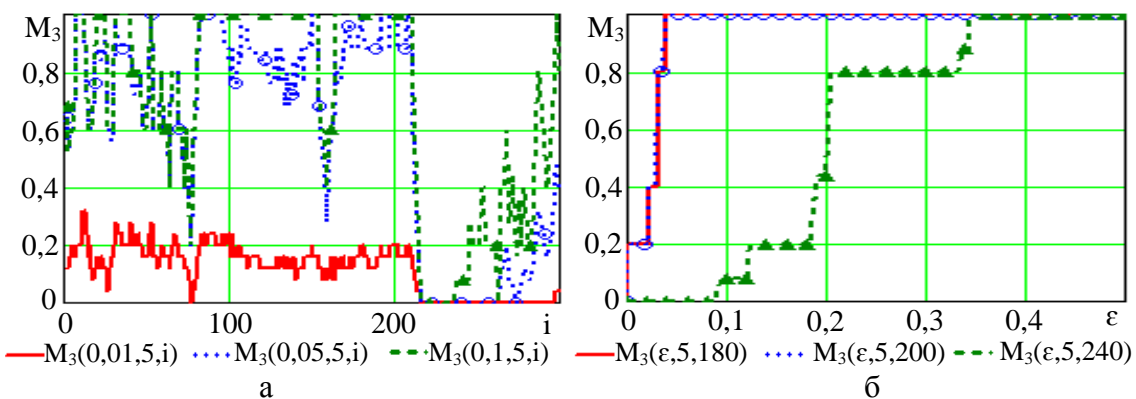


Рис. 4. Динамика меры (7) для метода выявления ЧС (загорание спирта в камере) в случае использования движущегося горизонтального окна размером 5×5 отсчетов: а – в функции отсчетов для фиксированных $\epsilon = 0,01$; $0,05$ и $0,1$; б – в функции ϵ для фиксированных отсчетов 180; 200 и 240

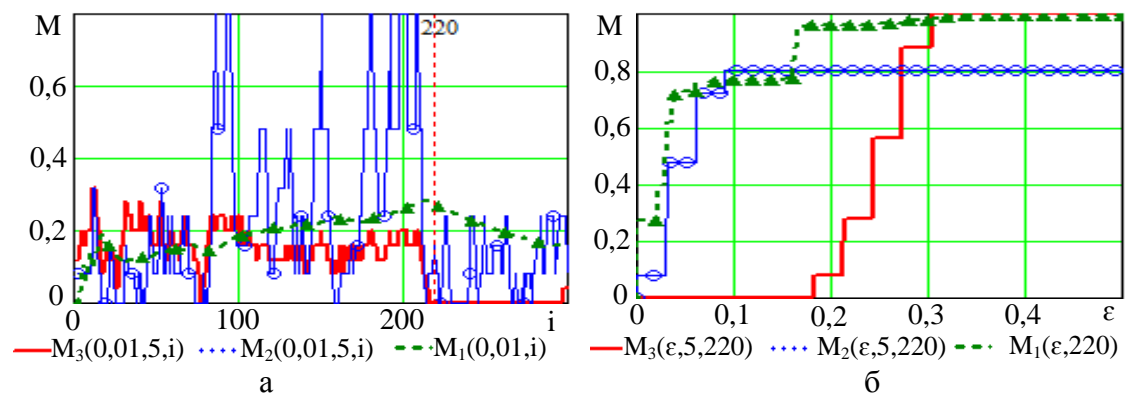


Рис. 5. Сравнительные возможности методов выявления начальной стадии ЧС (при загорании спирта в камере) на основе предложенных мер: а – в функции отсчетов для фиксированного значения $\epsilon=0,01$; б – в функции ϵ для фиксированного момента (220 отсчет –

поджога спирта).

Представленные на рис. 1–5 результаты получены с учетом реальных ошибок, включающих ошибки регистрации данных соответствующими сенсорами и ошибки преобразования данных в цифровую форму для обработки в компьютере. Учитывая, что используемые сенсоры применяются в существующих пожарных извещателях, можно утверждать, что представленные результаты исследования мер рекуррентности в целом соответствуют реальным условиям.

3. Анализ полученных результатов

Результаты исследования методов выявления начальной стадии ЧС на основе меры (5) (рис. 1) свидетельствуют в целом о работоспособности метода. Однако метод на основе меры (5) обладает ограничением, связанным со сглаживающими свойствами данной меры по отношению к мелким масштабным изменениям приращений состояний. По мере увеличения интервала анализа указанные ограничения проявляются в большей степени. Для малых интервалов анализа метод на основе меры (5) обладает значительной погрешностью. Экспериментально установлено, что метод выявления начальной стадии ЧС на основе меры (5) в целом может использоваться, но для интервалов анализа, не превышающих 300 отсчетов. При этом с увеличением интервала анализа из-за проявления сглаживающих свойств данной меры метод обладает недостаточной чувствительностью и мало эффективен для выявления начальной стадии ЧС.

Результаты исследования методов выявления начальной стадии ЧС на основе оконных мер РС (6) и (7), представленные на рис. 2 и рис. 3, показывают, что указанные методы в большей степени приспособлены для выявления начальной стадии ЧС. Это объясняется локальностью сглаживающих свойств в окнах. Однако указанным методам присущи ограничения, связанные с используемыми мерами и характеризующие задержкой результата на число отсчетов, равное размеру окна. При этом большие размеры окна плохо локализируют нарушения опасных состояний, а малые – оказываются слишком чувствительными к неоднородностям RP. Мера (6) использует движущееся окно вдоль главной диагонали RP. В этом случае для выявления областей с нулевой РС необходимо использовать окна большого размера, которые будут снижать оперативность методов выявления начальной стадии ЧС. Кроме этого движение окна вдоль главной диагонали не обеспечивает нулевую РС в случае ее реального наличия. При этом чувствительность методов на основе данной меры к нарушениям состояний повышается с увеличением размера окрестности ε . В случае ЧС с возгоранием спирта в камере величина ε может составлять от 0,05 до 0,1, но при этом локализация нарушений состояния выявляется несколько раньше. Это объясняется некоторым искажением RP при увеличении окрестности ε . Например, для спирта данные на рис. 2 б свидетельствуют о наличии переходного хаоса в состояниях газовой среды после момента поджога. Аналогичные результаты для метода на основе меры (7), представленные на рис. 3, свидетельствуют о больших возможностях метода выявления начальной стадии ЧС, по сравнению с аналогичным методом на основе меры (6), за счет применения окна, движущего по горизонтали вдоль оси RP. Движение по горизонтали позволяет использовать окна малого размера для наилучшей локализации во времени нарушений состояния опасных процессов и объектов. Из анализа результатов на рис. 4 следует, что метод на основе меры (7) при окне размером 5×5 позволяет достаточно точно выявить опасное нарушение состояния, связанное с поджогом спирта, по нулевой РС газовой среды. При этом общая чувствительность меры (7) к нарушениям слабо зависит от размера окрестности ε и остается способной четко выявлять моменты появления опасных состояний процессов и объектов (рис. 4, а, б).

Результаты исследования сравнительных возможностей методов выявления начальной стадии ЧС на основе предложенных мер свидетельствуют об эффективности метода на основе оконной меры при горизонтальном движущемся окне малого размера (в случае фиксированного значения $\varepsilon = 0,01$). Сравнительная характеристика методов для

различных мер в функции ε для фиксированного момента, соответствующего 220 отсчету (моменту поджога спирта), иллюстрируется данными на рис. 5 б. Представленные данные свидетельствуют о преимуществах метода выявления начальной стадии ЧС на основе меры (7). Следовательно, данная мера РС с горизонтально движущимся окном может рассматриваться в качестве конструктивной для метода надежного выявления начальной стадии ЧС.

4. Выводы

1. Разработаны новые методы выявления начальной стадии ЧС, основанные на мерах РС, отличающиеся от известных вычислением рекуррентности в квадратных окнах движущихся вдоль главной диагонали и горизонтальной (вертикальной) оси RP. Это позволило впервые предложить эффективный метод выявления начальной стадии ЧС на основе временной локализации нулевой РС опасных процессов и объектов при минимальных размерах окон.

2. На модельном примере начальной стадии ЧС в виде состояния газовой среды в камере при возгорании в ней спирта, экспериментально подтверждена работоспособность предложенных методов выявления начальной стадии ЧС. Сравнительный анализ рассмотренных методов показал, что наиболее эффективным с точки зрения выявления начальной стадии ЧС оказывается метод, основанный на оконной мере рекуррентности при горизонтальном движущемся окне. Установлено, что для данного метода в модельном примере размеры окна должны составлять от 5×5 до 15×15 отсчетов, а величина окрестности ε лежать в пределах от 0,01 до 0,15.

Литература

1. Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences. 2005. 26 p.
2. 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.
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. 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.
5. Bendat J. S., Piersol A. G. Random data: analysis and measurement procedures, fourth edition // John Wiley & Sons. 2010.
6. 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.
7. Singh P. Time-frequency analysis via the fourier representation // HAL. 2016. P. 1–7. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330>
8. 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.
9. Marwan N., Kurths J., Saperin P. Generalised recurrence plot analysis for spatial data // Phys. Lett. 2007. №360. P. 545–551.
10. 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.
11. 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