

УДК 004.94

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ МНОГОУРОВНЕВОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

© 2012

**С.В. Голуб** доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Интеллектуальных систем принятия решений»,  
*Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого, Черкассы (Украина)*

**В.Н. Рудницкий** доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Системного программирования»,  
*Черкасский государственный технологический университет, Черкассы (Украина)*

**В.Ю. Дендаренко** доцент кафедры «Специальной и физической подготовки»,  
*Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, Черкассы (Украина)*

**С.В. Пивнева** доцент кафедры «Высшая математика и математическое моделирование»,  
*Тольяттинский государственный университет (Россия)*

**Ключевые слова:** преобразование информации; иерархические системы; информационная технология; массив входных данных; многоуровневый мониторинг.

**Аннотация:** Рассмотрен процесс адаптации методологии создания автоматизированных систем мониторинга с многоуровневым преобразованием информации к условиям мониторинга пожарной безопасности. Описаны основные этапы формирования структуры глобальной функции многоуровневого преобразования информации и ее реализации в агрегативном виде. Приведен пример использования информационной системы, содержащей глобальную функцию с агрегативной структурой, с целью повышения эффективности деятельности подразделений МЧС на отдельной административной территории. По результатам внедрения доказано повышение эффективности функционирования территориальных подразделений МЧС и Государственной инспекции техногенной безопасности за счет учета изменения влияния факторов, полученных по результатам использования новой информационной системы.

### ВСТУПЛЕНИЕ

Рост потерь на пожарах за последние 10 лет свидетельствует о существовании системных проблем в организации государственного надзора в сфере пожарной и техногенной безопасности в Украине.

Одной из них является существование противоречия между необходимостью интегрального планирования деятельности подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) и Государственную инспекцию техногенной безопасности по административной территории в целом и дифференциальным характером информации о состоянии отдельных объектов, на основе которой происходит это планирование. Природа возникновения чрезвычайных ситуаций на этих объектах, разная. Поэтому планирование происходит без учета реального влияния факторов, вызывающих чрезвычайные ситуации.

С целью устранения данного противоречия необходимо решить несколько научно-прикладных задач. Одной из таких задач является создание новой или применения уже существующей информационной технологии, что обеспечит получение интегральных оценок состояния пожарной безопасности на административной территории в целом по дифференциальными оценкам объектов разного назначения пожарного надзора, которые находятся на этой территории.

Эту задачу можно решить путем применения информационной технологии мониторинга с многоуровневым преобразованием информации (ИТММПИ) [1]. Модели отдельных объектов, расположенных на данной административной территории, иерархически объединяются в единую систему преобразования информации. Таким образом, при оценке влияния факторов на состояние пожарной безопасности административной территории учитываются разнотипные механизмы формирования чрезвычайных ситуаций на каждом из объектов.

Предыдущие исследования показали, что данная технология не может быть применена с целью МПБ (МПБ) без ее адаптации. Информативность массивов входных данных, многократно формируются мониторинговой информационной системой (МИС) в процессе восходящего синтеза моделей для обработки результатов многоуровневого МПБ недостаточна для синтеза этих моделей необходимого качества.

### ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ

Поэтому, целью данной работы является решение научной задачи повышения информативности массивов входных данных информационной системы многоуровневого МПБ, как составляющей решения проблемы обеспечения достоверной информацией процесса принятия решений в планировании деятельности

подразделений МЧС и Государственной инспекции техногенной безопасности.

#### АКТУАЛЬНОСТЬ

Эти исследования являются актуальными, поскольку связаны с сохранением жизни и здоровья населения, а также значительных материальных ресурсов путем повышения эффективности функционирования системы государственного надзора в сфере пожарной и техногенной безопасности, за счет усовершенствования технологии ее мониторинга.

#### ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ

Широкого внедрения ИИС, которые связывают в единую структуру все этапы обеспечения информацией процесса принятия решений при планировании действий подразделений МЧС, в настоящее время не происходит. Причиной этому является значительная зашумленность массива входных данных и ограниченные возможности научно-методического аппарата – методов и средств многопараметрической обработки результатов государственного надзора в сфере пожарной безопасности и методов построения информационных систем с развитой иерархической структурой, которые автоматизируют этот процесс и обеспечивают системный эффект.

Планирование действий подразделений МЧС основывается на использовании методов моделирования. В [2], описывается процесс моделирования распределения ресурсов при тушении пожара.

Объектами моделирования в основном остаются функционирование отдельных пожарных подразделений [3] и противопожарной службы в целом [4]. Для их моделирования чаще всего применяются системы массового обслуживания и другие имитационные методы.

Описано использование систем искусственного интеллекта на этапе расследования причин пожаров [5], на этапе первичной обработки данных [6], на этапе профилактики пожаров [7] при строительстве сооружений [8], на этапе тушения пожара [9].

Отдельные методы обработки и преобразования информации объединяются в системы поддержки принятия решений (СППР) [10]. СППР разрабатываются для руководителей подразделениями пожарной охраны при тушении пожаров [11].

Поскольку исследуемая система является сложной, мощности отдельных методов синтеза моделей часто недостаточно для адекватного отражения свойств объектов. Поэтому применяется сочетание процедур нескольких методов обработки информации в рамках одного алгоритма [6]. Полученные алгоритмы называются гибридными и широко применяются в системах обработки информации.

Методология создания автоматизированных систем мониторинга с многоуровневым преобразованием информации предусматривает иерархическое сочетание многопараметрических моделей объектов мониторинга соответствующего с периодическим калиброванием этих моделей с помощью внешних данных [1]. Основным отличием этой методологии от уже существующих является формирование структуры системы восходящим синтезом моделей индуктивными методами. Иерархия уровней преобразования информации организовывается в виде стратифицированной структуры. Каждая страта формируется путем объединения моделей объектов мониторинга соответствующего уровня. Выходные сигналы моделей предыдущих уровней иерархии объединяются в модели высших уровней иерархии по алгоритмам эвристической самоорганизации на основе которых основываются индуктивные методы синтеза моделей,

в частности метод группового учета аргументов (МГУА) [12]. Таким образом, за счет использования особенностей алгоритмов МГУА обеспечивается автоматизация процесса формирования связей между элементами структуры системы – индуктивными моделями, и формирование перечня переменных, определяющих структуру самих моделей.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной задачей, которую необходимо решать в процессе использования любой технологии многоуровневого преобразования информации с целью мониторинга состояния пожарной безопасности является обеспечение информативности массива входных данных (МВД), который будет достаточным для синтеза качественных моделей. Согласно ИТММПИ модель может быть использована в качестве элемента структуры системы при условии, что ее показатели качества являются не хуже заранее заданных. Контролируется точность моделей погрешностью моделирования, их адекватность по критерию регулярности [12] и устойчивость за способностью модели сохранять характеристики точности и адекватности на массивах данных, которые не использовались в процессе ее создания.

Ставится задача адаптации ИТММПИ для ее использования как элемента действующей технологии государственного пожарного надзора в соответствии [13]. Для реализации ИТММПИ в виде информационной системы многоуровневого МПБ необходимо решить задачу обеспечения достаточной информативности МВД, который формируется для синтеза моделей объектов мониторинга каждой из страт этой системы. В связи с этим возникает необходимость в дополнительных исследованиях, направленных на совершенствование существующего метода координации элементов структуры подсистемы преобразования информации.

#### Модель типичного агрегата.

Дополнительные показатели МВД предложено получать за счет формирования горизонтальных связей между моделями внутри каждой из страт [14]. Это привело к необходимости изменения конструкции типичного агрегата-преобразователя системы.

Его модель описывается выражением:

$$\Sigma = \{ Z, m^z, m^y g; H, y, y' \}, \quad (1)$$

где  $Z$  – множество состояний;

$m^z$  – алгоритм преобразования информации, отражающей горизонтальные связи элементов;

$m^y$  – алгоритм преобразования информации, который формирует горизонтальную связь;

$g$  – множество управляющих сигналов;

$H$  – множество переходов;

$y$  – выходной сигнал, подаваемый на вход высшей страты;

$y'$  – выходной сигнал, подаваемый на вход соседним агрегатам одной страты.

Модель типичного агрегата-преобразователя представлена на рис. 1 [15].

Множество состояний агрегата  $Z$  определяется множеством моделей объектов мониторинга данной страты  $M$ , которые используются как АПИ.

Результатом работы агрегата есть превращенная информация на его выходе  $Y = \{y^z, y'\}$  в виде сигналов двух типов:  $y^z$  – которая подается на вход соседних агрегатов данной страты, и  $y'$  – которая подается на вход высшей страты оператором выходов  $G$  в случае, когда на управляющий вход не подается сигнал  $g$ :

$$G = \begin{cases} y^z, g = 0 \\ y', g = 0 \\ 0, g = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Агрегат переходит в особое состояние в случае, когда сигнал  $g$  подается на управляющий вход. Это происходит при условии, когда характеристики качества выходных сигналов  $S_y^y$  и  $S_y^{y'}$  становятся хуже допустимых  $S_y^{y_{доп}}$   $S_y^{y'_{доп}}$ :

$$g = \begin{cases} 0, S_{y^y} < S_{y^y_{доп}} \\ 0, S_{y^{y'}} < S_{y^{y'}_{доп}} \\ 1, S_{y^y} \geq S_{y^y_{доп}} \\ 1, S_{y^{y'}} \geq S_{y^{y'}_{доп}} \end{cases} \quad (3)$$

При значении сигнала  $g = 1$  при помощи оператора переходов  $H$  происходит смена состояния агрегата путем использования новых моделей  $m_{y^{(i+1)}}^y$  и  $m_{y^{(i+1)}}^{y'}$ ,

$$H = \begin{cases} m_{y^i}^y, g = 0, 1 \leq i < \infty \\ m_{y^{i+1}}^y, g = 1, 1 \leq i < \infty \\ m_{y^i}^{y'}, g = 0, 1 \leq i < \infty \\ m_{y^{i+1}}^{y'}, g = 1, 1 \leq i < \infty \end{cases} \quad (4)$$

Такими образом агрегат может находиться в двух состояниях:

Состояние 1 – рабочий. Характеристики качества синтезированных моделей объектов мониторинга не хуже заданных. На управляющем входе отсутствует сигнал  $g$ . Модели используются в качестве алгоритмов преобразования информации данным агрегатом. Результаты преобразования информации (сигналы) с обоих выходов данного агрегата подаются на вход соседних агрегатов и агрегатов высшей страты соответственно.

Состояние 2 – особенный. Характеристики моделей хуже заранее заданных. На управляющий вход подается сигнал  $g$ . Преобразование информации останавливается. Сигналы с выходов данного агрегата подаются на вход других агрегатов. Запускается процесс синтеза новых моделей. Агрегат ожидает замены алгоритмов преобразования информации.

В отличие от существующего, агрегат-преобразователь ИСМПБ, реализующий процесс формирования горизонтальных связей между агрегатами страты, имеет структуру, представленную на рис. 1.

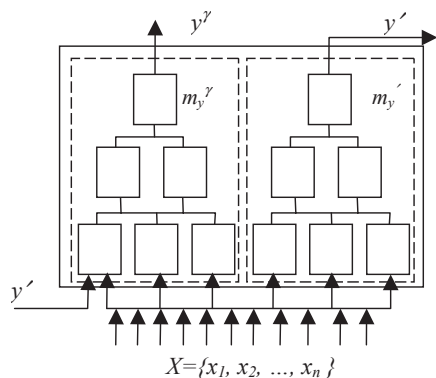


Рис. 1. Структура агрегата-преобразователя ИСМПБ:

$X$  – массив сигналов с выхода предыдущей страты;  
 $m_y^y$  – АПИ, формирующий выходной сигнал (горизонтальная связь),  $m_y^y'$  – АПИ с горизонтальными связями;  $y^y$  – выходной сигнал, подаваемый в ПО соседних агрегатов;  $y^y'$  – выходной сигнал, который подается в высшую страту.

Его структура включает две модели —  $m_y^y$  и  $m_y^y'$  используемые в качестве алгоритма преобразования информации. выходной сигнал  $y^y$  является результатом преобразования информации по модели  $m_y^y$ , которая предназначена для формирования горизонтальных

связей внутри страты и синтезируется как функциональная зависимость (5) или (6) в соответствии со стратой.

$$y_i^y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

$$z_i^y = f(y_1, y_2, \dots, y_m). \quad (6)$$

Для ее синтеза используются выходные сигналы агрегатов предыдущей казни. Выходные сигналы алгоритмов преобразования информации  $y_i^y$  подаются на вход соседним агрегатам внутри одной страты в соответствии со схемой, представленной на рис. 2, и реализуют горизонтальные связи в структуре системы.

Модели  $m^y$  синтезируются на основе первичного описания, содержащий исходные сигналы предыдущих страт  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  и выходные сигналы соседних агрегатов данной страты  $y'$ . Они синтезируются в виде функциональных зависимостей (7) и (8).

$$y_i^y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1', y_2', \dots, y_m') = 0, \quad (7)$$

$$z_i^y = f(y_1, y_2, \dots, y_m, z_1', z_2', \dots, z_k') = 0. \quad (8)$$

Применение информационной технологии многоуровневого мониторинга пожарной безопасности.

Была выведена гипотеза [16] про то, что эффективная реализация территориальными подразделениями МЧС мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, в частности пожаров, на протяжении последнего периода времени изменяет влияние факторов на уровень пожарной безопасности. Например, меры по профилактике неосторожного обращения с открытым огнем снижают влияние этого фактора на количество потерь от пожаров на территории деятельности данного подразделения.

С целью повышения эффективности распределения ресурсов при планировании деятельности подразделений МЧС Черкасской области (Украина) было с помощью ИСММПБ спрогнозировано влияние факторов на следующий год.

Таблица содержит перечень показателей состояния пожарной безопасности, используемые в структуре первичного описания.

Таблица 1. Характеристики входного массива данных объектов пожарного надзора.

Характеристика	Переменная
1. Время, год	$x_1$
2. Место	$x_2$
3. Подпалы, случаев	$x_3$
4. Неисправность производственного оборудования, случаев	$x_4$
5. Нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок, случаев	$x_5$
6. Нарушения правил устройства и эксплуатации печей, случаев	$x_6$
7. Неаккуратное обращение с огнем, случаев	$x_7$
8. Шалости детей с огнем, случаев	$x_8$
9. Убытки прямые 01 (тис. грн.)	$y_1$
10. Убытки побочные (тис. грн.)	$y_2$
11. Травмировано, человек	$y_3$
12. Повреждено зданий, едениц	$y_4$

На вход каждого уровня подаются характеристики входного массива данных, описывающих причины возникновения пожаров: их 8  $X = \{x_1 - x_8\}$ . На выходе получают модели, отражающие результаты структурно-функциональной идентификации зависимости:

$$y_i = f(X), i = 1,4 \quad (9)$$

Таблицу ПО формируют в формате Excel с последующей загрузкой ее в информационную систему. В зависимости от количества показателей, которые необходимо получить на выходе страты, определяется количество агрегатов, содержащих по две модели – одна для формирования горизонтальных связей, вторая для формирования сигналов, подаваемых на вход высшей страты.

Результаты МПБ получаемые в виде численных значений моделируемых показателей и характеристик влияния факторов.

Влиятельность факторов на административной территории рассчитывается с учетом особенности возникновения чрезвычайных ситуаций на каждом из разнотипных объектов пожарной охраны, которые размещаются на этой территории. Благодаря иерархическому сочетанию моделей отдельных объектов в структуре глобальной функции ее исследования на чувствительность позволяет выявить перечень факторов, влияющих на каждую из характеристик последствий пожаров. Если фактор влияет на изменение моделируемого показателя  $y_i$ , то его характеристика входит в структуру глобальной функции. Численные характеристики влияния рассчитывались по выражению [17]:

$$W_i = \frac{F_i'}{\sum_{i=1}^n F_i'} \cdot 100\% \quad (10)$$

где  $W_i$  – весовой коэффициент i-го фактора;

$F_i'$  – частная производная глобальной функции за i-м параметром;

$n$  – количество характеристик факторов, вошедших в структуры глобальной функции.

На рис. 2 представлены результаты исследований влияния факторов входного массива данных, которые вызвали пожары на территории Черкасской области в течение 2001–2009 годов. Названия факторов приведены соответственно таблице.



**Рис. 2.** Влиятельность факторов при исследовании количества поврежденных пожарами зданий.

Влиятельность каждого фактора со временем изменяется. Изменение соотношения влияния факторов происходит случайно, то есть этот процесс неуправляем. Поскольку динамика влияния факторов зависит от эффективности профилактических мероприятий, то это означает, что целесообразно планировать деятельность подразделений МЧС и Государственной инспекции пожарной и техногенной безопасности на данной административной территории в зависимости от результатов мониторинга влияния факторов прошлого года.

По результатам внедрения новой информационной технологии в практику деятельности подразделений МЧС и Государственной инспекции пожарной и техногенной безопасности было установлено, что материальные потери из причин чрезвычайных ситуаций на территории области снижаются в течение года от 6 до 9%.

## ВЫВОДЫ

Адаптация методологии создания автоматизированных систем мониторинга с многоуровневым преобразованием информации к условиям МПБ обеспечивается путем повышения информативности массивов входных данных, многократно формирующихся в процессе восходящего синтеза агрегатов структуры глобальных функций этих систем. Информативность массивов входных данных повышается путем увеличения количества информативных показателей в массивах входных данных. Количество информативных показателей увеличивается за счет отражения горизонтальных связей между моделями внутри отдельной страты.

Новые методы а также модели и средства, разработанные на их основе, объединены в единую информационную систему, являются составляющими технологии МПБ с многоуровневым преобразованием информации и позволяют оперативно получать интегральные оценки состояния пожарной безопасности и за счет этого повысить эффективность пожарного надзора на отдельной административной территории в виде снижения потерь ресурсов по причинам возникновения чрезвычайных ситуаций.

Теоретические результаты, полученные в ходе исследования, были экспериментально подтверждены при разработке информационной технологии многоуровневого мониторинга с адаптивным формированием МВД и их внедрении в виде автоматизированных систем МПБ регионального уровня.

*Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.1934.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіїх моніторингу навколишнього середовища: монографія / С.В. Голуб. – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2007. – 220 с.
2. Громовенко О.Л. Модель распределения сил и средств для выполнения боевых действий по ликвидации горения на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 4. – С. 42–46
3. Матюшин А.В., Порошин А.А., Матюшин Ю.А. Отечественный опыт расчетного обоснования ресурсов оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах // Пожарная безопасность. – 2005. – № 3. – С. 61–74
4. Имитационная модель функционирования пожарной охраны / Э.Г. Сон, Е.П. Васильев, В.Н. Копченков, А.Г. Вилитенко. // Проблемы безопасности объектов народного хозяйства административно-территориальных единиц: Сб. научн. тр. – М.: ВНИИПО, 1988. – С. 66–84;
5. Огурцов С.Ю., Олефир В.А. О применении интеллектуальных систем при расследовании пожаров // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2004. – № 2(10). – С. 130–133
6. Джулай О.М. Збільшення ентропії екзогенних факторів – необхідна умова ефективної ідентифікації цільової функції // Вісник ЧДТУ. – 2004. – № 4. – С. 176–179
7. Тимченко А.А., Джулай А.Н. Модель самоорганизации нейронной сети на примере задачи оценки уровня пожарной безопасности объекта // Сборник докладов Межд. научн. конф. “Нейросетевые технологии и их применение”: Краматорск. – 2003. – С. 237–246

8. Джулай О.М. Системний аналіз рівня пожежної безпеки об'єктів житлового сектору // Вісник ЧДТУ. – 2003. – № 3. – С. 123–130
9. Джулай О.М. Структурний аналіз інформаційної технології автома-тизованої підтримки прийняття рішень при пожежогаєсінні // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 392–398
10. Тетерин И.М., Климовцов В.М., Прус Ю.В. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями / Научный интернет портал «Технологии и системы безопасности» // Интернет-журнал: Технологии техносферной безопасности – 2008. – № 5. [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>
11. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах [Электронный ресурс] / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности – 2008. – № 4.: Режим доступа к журн.: <http://ipb.mos.ru/ttb>
12. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – К. : Наук. думка, 1981. – 296 с.
13. Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків чорнобильської катастрофи № 59 від 06.02.2006 «Про затвердження Інструкції з організації роботи органів державного пожежного нагляду»
14. Дендаренко В.Ю. Формування горизонтальних зв'язків в структурі інформаційної системи багаторівневого МПБ / В.Ю. Дендаренко // Системи обробки інформації. – 2010. – вип. 9(90). – С. 231–234
15. Голуб С.В. Застосування агрегатного підходу для моделювання структури інформаційних технологій соціоекологічного моніторингу / С.В. Голуб // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 4. – С. 56–62
16. Дендаренко В.Ю. Оцінка впливовості причин виникнення пожеж за результатами досліджень індуктивних моделей / В.Ю. Дендаренко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – вип. 4 (16). – С. 243–245.
17. Голуб С.В. Принцип проектування багаторівневих технологій інформаційного моделювання // Вісник інженерної академії України – 2007. – № 1. – С. 28–34

## FORMATION OF THE STRUCTURE OF THE GLOBAL INFORMATION SYSTEMS IN MULTILEVEL MONITORING FIRE SAFETY

© 2012

**S.V. Golub**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the “Intellectual systems of decision-making”

*Cherkassy National University named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine, Cherkassy*

**V.N. Rudnicki**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of “System Programming”  
*Cherkassy State Technological University, Ukraine, Cherkassy*

**V.Yu. Dendarenko**, Associate Professor of “Special and physical fitness”  
*Academy of Fire Safety Heroes Chernobyl name, 18034, Ukraine, Cherkassy*

**S.V. Pivneva**, candidate of pedagogical sciences, associated professor  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

**Keywords:** convert information; hierarchical systems; information technology; an array of input data; multilevel monitoring.

**Annotation:** The process of adaptation methodology for automated monitoring systems with multi-level transformation of information to monitor the conditions of fire safety. Describes the main stages of the multi-level structure of the global function of information transfer and its implementation in the form of aggregate. An example of using an information system that contains a global function of aggregate structure, in order to increase the effectiveness of MOE units on separate administrative territory. According to the results of the implementation proved more efficient functioning of the territorial divisions of MES and the State Inspectorate of technological security by taking into account changes in the influence of factors on the results obtained using the new information system.