

УДК 004.89

И.В. Шостак, В.О. Давиденко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

*В статье описываются чрезвычайные ситуации (ЧС) как особый тип объектов принятия решений. Проведен критический анализ существующих информационно-аналитических систем (ИАС) по ЧС техногенного характера. Сформулирована и разбита на следующие подзадачи задача организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС: подзадача прогнозирования распределения концентраций опасных химических веществ (ОХВ) и подзадача формирования решений рекомендательного характера по организации мероприятий по эвакуации населения. Проведен анализ существующих моделей распространения ОХВ и выбрана оптимальная. Проведен анализ знаниеориентированных технологий для решения задачи формирования решений-рекомендаций по организации мероприятий и выбрана оптимальная. Предложена процедура взаимодействия двух подзадач. Разработан метод, решающий описанную выше задачу.*

**Ключевые слова:** *двухэтапная обработка информации, чрезвычайная ситуация, информационно-аналитическая система, информационная технология, динамические экспертные системы, самоорганизующиеся карты Кохонена.*

### Введение

В последнее время, как во всем мире, так и на территории Украины учащаются катастрофы, приводящих к чрезвычайным ситуациям техногенного характера. Одним из видов наиболее критичных по своим последствиям ЧС являются такие, которые возникли на химически опасных объектах в результате аварийных выбросов в атмосферу ОХВ. Наибольшей опасности в таких ситуациях подвергается население, попавшее в зону ЧС, что выдвигает на передний план задачу организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС. Вместе с тем, следующие особенности ЧС делают указанную выше задачу тяжело выполнимой [1]:

– уникальность каждого случая возникновения ЧС: неповторимые комбинации метеорологических параметров окружающей среды; в случае катастрофы при транспортировке ОХВ – случайное расположение эпицентра развития ЧС и т.д.;

– огромное количество информации, которую необходимо обработать за ограниченное время для принятия максимально эффективных решений (метеоданные и распределение поля концентраций в различные моменты времени, и т.п.);

– высокая динамика развития событий в зоне ЧС;

– неопределенность, нечеткость и неполнота информации о текущем состоянии объекта принятия решений в условиях ЧС.

Современные зарубежные информационно-аналитические системы (шведская ИАС PRIO[4], ИАС в составе американской системы EPA [5] и т.д.) нацелены в основном на моделирование рас-

пространения ОХВ в атмосфере, в то время как организация эвакуационных мероприятий остаются за кадром. Отечественные же системы [2] ориентированы на расчет зоны поражения ОХВ по стандартным методикам [3], что дает лишь приближенную картину распределения концентраций ОХВ.

Таким образом, актуальной является разработка специализированной информационной технологии и на ее основе – создание ИАС поддержки принятия решений в ЧС техногенного характера. Данная ИАС способна с одной стороны прогнозировать распространение ОХВ, а с другой – формировать решения по организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС.

Таким образом, целью статьи является описание методов создания и функционирования системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

### Основной материал

**1. Задача прогнозирования распространения ОХВ.** Задача прогнозирования распространения ОХВ в атмосфере является одной из ключевых для дальнейшего принятия решений по эвакуации населения из зоны ЧС. Постановка задачи на содержательном уровне имеет следующий вид:

*Исходные данные:*

– информация о параметрах окружающей среды (скорость и направление ветра, влажность, температура, давление и т.д.);

– векторная 3-D карта местности, в которой отражены рельеф и застройка.

*В результате решения необходимо получить:*

Идентификационную и прогнозную обобщен-

ную інформацію о состоянии окружающей среды в зоне техногенной ЧС.

В то же время, решение данной задачи далеко не тривиально: система дифференциальных и интегральных уравнений, описывающих физику процесса распространения, учитывающих хотя бы несколько параметров окружающей среды (напр., скорость ветра, температуру, давление и влажность на одной высоте) уже являются неразрешимой, не говоря уже о необходимости представления рельефа, трехмерных зависимостей, 3-D карты городской застройки.

На сегодняшний день в мире существует множество моделей, описывающих распространение ОХВ в атмосфере, среди которых есть и те, что признаны на государственном уровне как стандартные модели, которые входят в состав ИАС по ЧС, и на основании которых производится прогноз распределения концентраций ОХВ в зоне ЧС (напр., модели AERMOD, CALPUFF [5, 7]).

Все эти модели можно разделить на 6 групп [6]:

1) струйные модели – модели, в основе которых лежит предположение, что все параметры окружающей среды распределены однородно в горизонтальном направлении. Данные модели могут применяться для приближенного прогнозирования распространения ОХВ на расстояние, близкие к источнику выброса;

2) модели с сегментированными струями – модели, описывающие выбросы ОХВ в качестве набора элементарных объемов, внутри которых параметры окружающей среды однородны. Данные модели учитывают рельеф местности и обычно используются для прогнозирования на мезоуровне (10 - 100 км);

3) модель частиц Лагранжа (напр., CALPUFF [7]) – модель разбиения облака выбросов ОХВ на большое количество мелких частиц, которые движутся независимо друг от друга, но в то же время их движение зависит от трех факторов: направление основного ветра, случайные флуктуации в турбулентном потоке и диффузия. Данная модель может быть применена для прогнозирования распространения ОХВ среди городской застройки;

4) модель ящика (box-model) описывает моделируемую область в виде однородного ящика. Данная модель обычно применяется для решения фотохимических задач;

5) модель сетки Эйлера (напр., ММО [8]) – модель, в которой рассматриваемая окружающая среда представляется в виде трехмерной сетки, в каждой ячейке которой параметры окружающей среды распределены равномерно. Как и модель Лагранжа учитывает рельеф и сложные преграды, и также может быть применена для моделирования распространения ОХВ в условиях городской застройки;

6) модели вычислительной гидродинамики, в

которых используются законы сохранения массы, энергии, импульса, а также законы турбулентного потока (в основном, Навье-Стокса) в различных модификациях. Применение данных моделей позволяет получить очень точные данные (широко применяются для моделирования воздушных потоков возле крыла самолета, различных деталей турбин), однако для моделирования требуется много времени и точная информация о параметрах окружающей среды в различных участках исследуемой области.

Каждый тип модели имеет свои достоинства и недостатки, но как показала практика, наиболее эффективными для условий городской застройки могут быть модели Лагранжа, Эйлера и вычислительной гидродинамики. Модели частиц Лагранжа чаще, по сравнению с моделями Эйлера, и с большим успехом пользуются из-за своей наглядности и более упрощенному представлению. Модели же вычислительной гидродинамики требуют точные данные, а также их вычисления занимают много времени, что недопустимо в случаях необходимости оперативного реагирования на ЧС.

Перечисленные выше модели способны обеспечить лишь приближенную картину распределения концентраций ОХВ из-за упрощения, введения дополнительных ограничений в аналитику моделей ввиду отсутствия возможности учета большого количества параметров окружающей среды, а также недостаточной эффективностью современных вычислительных средств производить оперативные точные расчеты, учитывающие постоянно изменяющиеся условия окружающей среды. Также перечисленные модели положены в основу специализированных ИТ формирования решений в условиях ЧС в части обработки данных. Другие этапы данных ИТ, и прежде всего этап сбора данных, реализуется на основе мониторинга текущего состояния окружающей среды.

Непрерывным атрибутом существующих ИАС ЧС является блок мониторинга, предоставляющего данные о состоянии окружающей среды. Данный блок представляет собой сеть газоанализаторов (стационарного и переносного типа) с набором датчиков, производящих замеры уровней концентраций ОХВ и передачу значений в цифровом виде в центры первичной обработки информации (ЦПОИ). В ЦПОИ происходит обработка данных, полученных с системы мониторинга, и последующее уточнение общей картины распределения уровней концентраций ОХВ в зоне ЧС.

В [9] описан метод коррекции значений концентраций, спрогнозированных аналитической моделью, на основании данных мониторинга путем применения регрессионного анализа.

Применение вышеописанного метода позволяет получить уточненные данные о текущей и прогно-

зируемой картине распределения концентраций в трехмерной зоне ЧС.

**2. Задача формирования решений по организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС.** Задача формирования решений описывается на содержательном уровне следующим образом:

*Исходные данные:*

- векторная 3-D карта местности, в которой отражены рельеф и застройка;
- идентификационная и прогнозная обобщенная информация о состоянии окружающей среды в зоне техногенной ЧС;
- информация о доступных ресурсах для эвакуации населения из зоны техногенной ЧС.

*В результате решения необходимо получить:*

- рекомендательные решения по эвакуации населения из зоны техногенной ЧС.

Представленные выше аналитические модели имеют предел своей функциональности – они могут лишь получить показания концентраций ОХВ в различных точках трехмерного пространства в зоне ЧС. Однако в виду нескольких причин (неформализованные, слабоструктурированные знания для формирования решений по эвакуации населения и т.п.) для организации мероприятий по эвакуации населения из зон ЧС необходима система со знаниеориентированным (с применением средств искусственно-го интеллекта) подходом к решению задач.

Среди множества средств искусственного интеллекта можно выделить основные [10, 11]:

1) искусственные нейронные сети (ИНС). ИНС согласно [12] – это распределенный параллельный процессор, состоящий из элементарных единиц обработки информации, накапливающих экспериментальные знания и предоставляющих их для последующей обработки. ИНС применяются для решения следующих задач [10-12]: распознавание и классификация образов, обработка сигналов, управление, прогнозирование, поиск скрытых зависимостей, сжатие данных, кластеризация и т.д.;

2) генетические алгоритмы (ГА) – это подход к обучению на основе параллелизма, общего взаимодействия и битового представления [10, 11]. Основные задачи, решаемые ГА: оптимизация и аппроксимация функций, решение задач на графах, настройка весов ИНС;

3) мультиагентная система (МАС) – вычислительная программа, блоки решения задач которой расположены в некоторой среде, и каждый из них способен к гибким, автономным действиям, направленным на определенные цели [10]. Существует множество областей, где целесообразно использовать МАС: производство, автоматическое управление, телекоммуникации, транспортные системы, электронная коммерция и т.п.;

4) экспертные системы (ЭС) – такие средства искусственного интеллекта, которые используя знания экспертов в определенной области, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертам [13]. ЭС являются надежным средством решения следующих задач в различных направлениях (медицина, математика, химия, машиностроение, вычислительная техника и т.д.) [10]: интерпретация, прогнозирование, диагностика, проектирование, планирование, управление, инструктирование и т.п.

Среди вышеперечисленных средств для решения задачи организации мероприятий можно в теоретическом плане применять ИНС, агентов и ЭС. При выборе средств следует учитывать следующие характерные особенности поставленной задачи:

- риск принятия неверного решения требует наличия и влияния опыта человека-эксперта в данной области;
- обширная классификация ситуаций;
- размерность задачи чрезвычайно велика;
- нужно формировать цепочку объяснений.

Не все из вышеперечисленных особенностей могут учесть ИНС, т.к. они лишены подсистемы объяснений, а также большая размерность задачи повлечет за собой огромные временные затраты, несовместимые с необходимыми минимальными затратами временных ресурсов.

Экспертные системы же по своей природе отслеживают свои рассуждения и выводят промежуточные решения, а также рассуждая эвристически, получают полезные решения из несовершенных знаний. Среди всех ЭС стоит выделить именно динамические ЭС (ДЭС) – ЭС, имеющие в своем составе подсистему, сопряженную с внешним миром, и позволяющую учитывать динамически изменяющиеся параметры [13]. В условиях техногенной ЧС именно ДЭС и подходят для формирования решений-рекомендаций по организации эвакуации населения из зоны ЧС, т.к. необходимо постоянно учитывать такие параметры, как постоянно изменяющуюся карту распределения концентраций ОХВ, распределение спасательных сил и т.д.

Таким образом, для решения задачи формирования решений-рекомендаций по организации эвакуационных мероприятий целесообразно использовать такое средство ИИ, как динамическая экспертная система.

**3. Взаимосвязь задачи прогнозирования распространения ОХВ и задачи формирования решений по организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС.** Имея две задачи: прогнозирования распространения ОХВ и формирования решений по организации эвакуации, необходимо организовать продуктивный переход из одной задачи в другую. Под продуктивным переходом

подразумевается точная передача данных из первой задачи во вторую в формате, допустимом и максимально информативном для дальнейших принятий решений. Идентификационная и прогнозная информация об окружающей среде зоны техногенной ЧС (классификация зон с повышенным уровнем ПДК) должна быть структурирована и обобщена для дальнейшего использования в ДЭС.

Одним из наиболее подходящих инструментов обобщения информации и классификации образов является ИНС. Среди существующих ИНС наиболее целесообразно использовать карты Кохонена для кластеризации зоны ЧС на области с различным уровнем опасности. Процесс кластеризации происходит на основании данных об уровне концентрации

ОХВ в данной локалии, и информации о заселенности в ней. В итоге строится самоорганизующаяся карта Кохонена, определяющая кластеры-зоны с различной степенью опасности для находящегося в них населения.

Таким образом, на вход ДЭС поступает уже обобщенная и структурированная информация о степени опасности в различных участках зоны ЧС.

**4. Информационная технология поддержки принятия решений по организации эвакуационных мероприятий.** Реализация сформулированных в предыдущих двух рубриках задач может быть осуществлена в рамках ИТ, которая схематически представлена на рис. 1.

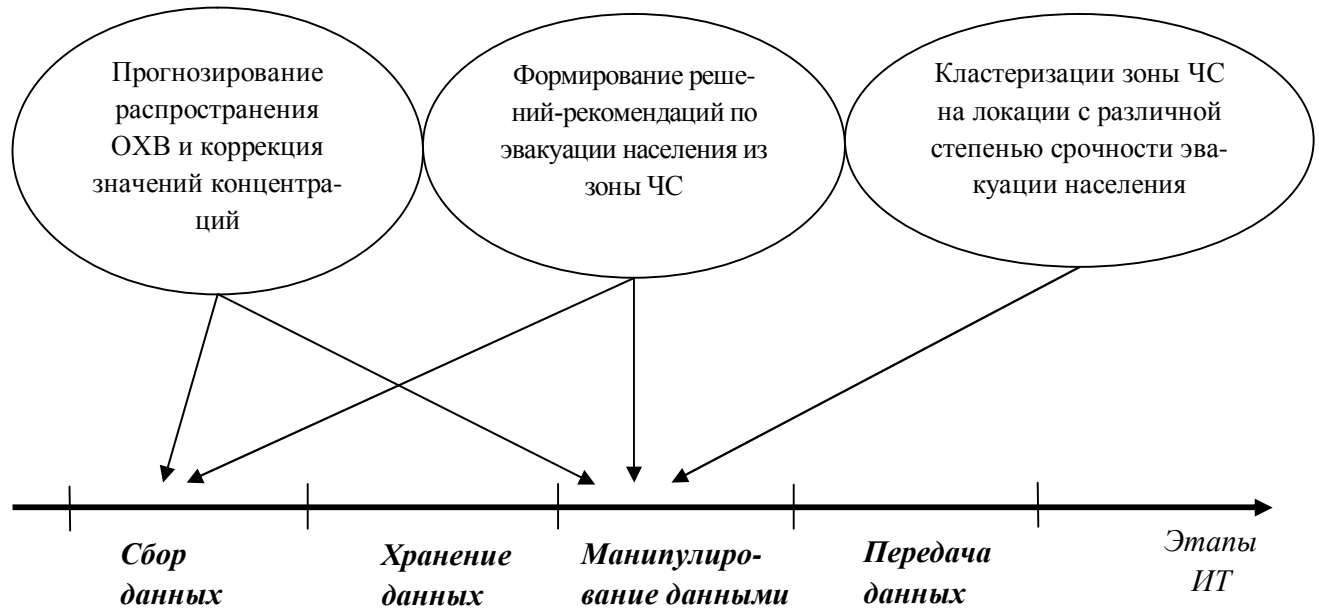


Рис. 1. Схематическое представление информационной технологии поддержки принятия решений по эвакуации населения из зоны ЧС

Из рис. 1 видно, что ключевыми этапами ИТ являются этапы прогнозирования распределения концентраций ОХВ в зоне ЧС и формирование решений по организации эвакуации населения из зоны ЧС. Эти этапы должны осуществляться последовательно так, что результаты одного этапа являются входными данными для второго этапа. В то же время для реализации первого этапа целесообразно использовать аналитические модели, а для второго — знаниеориентированные. Таким образом, в рамках создания ИАС по ЧС техногенного характера должен быть разработан особый метод, способный решить поставленные задачи в целом.

**5. Этапы создания ИАС по ЧС.** Процесс создания ИАС по ЧС техногенного характера целесообразно представить в виде набора этапов:

1. Получение идентификационной и прогнозной информации о распределении концентраций ОХВ в зоне ЧС путем применения аналитических

моделей прогнозирования состояния окружающей среды, а также регрессионного анализа для уточнения картины распределений концентраций ОХВ.

2. Получение обобщенной и структурированной информации о степени опасности в различных участках зоны ЧС путем кластеризации зоны ЧС по уровням опасности.

3. Формирование решений-рекомендаций по эвакуации населения из зоны ЧС, используя динамические экспертные системы.

## Выводы

1. Показано, что ЧС является особым типом объекта принятия решений.

2. Исходя из особенностей ЧС техногенного характера как объекта принятия решений, важнейшей задачей определено формирование решений по организации комплекса мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС.

3. Показано, что задача организации мероприятий по эвакуации по своей структуре двуединна, поскольку состоит из двух подзадач: прогнозирования распределения концентраций ОХВ в зоне ЧС и формирования решений-рекомендаций по эвакуации населения из зоны ЧС.

4. Первая из упомянутых подзадач наиболее эффективно решается аналитическими методами, а вторая – знаниеориентированными.

5. Предложена специальная вычислительная процедура комплекса решения задач по эвакуации населения из зоны ЧС техногенного характера, основанная на последовательном использовании аналитических и знаниеориентированных методов.

6. Описана специализированная ИТ формирования решений по эвакуации населения из зоны ЧС техногенного характера.

### Список литературы

1. Дзюндзюк Б.В. Катастрофы и чрезвычайные ситуации / Б.В. Дзюндзюк, А.И. Хянькяйнен, В.Б. Швед. – Х.: Форт, 1998. – 120 с.
2. Про Програму створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій на 1995 рік: постановлення кабінета Міністрів України от 7 апреля 1995 г. № 250.
3. Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті: приказ Кабінета Міністрів України от 10 апреля 2001 г. №N 326/5517.
4. PRIO (replaces Swedish Chemicals Agency's Observation) – шведское программное обеспечение, разработанное для превентивного уменьшения рисков поражения населения вредными веществами [Электронный

ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://www.kemi.se/templates/PRIOEngframes\\_4144.aspx](http://www.kemi.se/templates/PRIOEngframes_4144.aspx).

5. U.S. Environmental Protection Agency – агентство федерального правительства США, отвечающее за защиту здоровья человека и окружающей среды [электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.epa.gov/>

6. Borysiewicz M.J. Atmospheric dispersion modeling for emergency management / M.J. Borysiewicz, M.A. Borysiewicz. – Institute of Atomic Energy, 2006. – 88p.

7. Scire J. A user's guide for the CALPUFF dispersion model / J. Scire, D. Strimaitis, R. Yamartino. – Concord: Earth Tech, 2000. – 521 p.

8. The microscale model MIMO: development and assessment / J. Ehrhard, I. Khatib, C. Winkler, R. Kunz // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2000. – V. 85. – P. 163-176.

9. Шостак И.В. Метод определения масштабов распространения опасных химических веществ в атмосфере на основе регрессионного анализа / И.В. Шостак, В.О. Давиденко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 8 (89). – С. 179-181.

10. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: пер. с англ. / Дж. Люгер. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.

11. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.

12. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

13. Статические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель, М.Д. Шапот. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 320 с.

Поступила в редколлегию 4.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.М. Левыкин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

І.В. Шостак, В.О. Давиденко

У статті описано надзвичайні ситуації (НС) у якості особливого типу об'єкту прийняття рішень. Проведено критичний аналіз існуючих інформаційно-аналітичних систем з НС техногенного характеру. Сформульовано та розбито на наступні підзадачі задача організації заходів з евакуації населення з зони НС: підзадача прогнозування розподілення концентрацій небезпечних хімічних речовин (НХР) та підзадача формування рішень рекомендаційного характеру з організації заходів з евакуації населення. Проведено аналіз існуючих моделей розповсюдження НХР та обрана оптимальна. Проведено аналіз знання орієнтованих технологій для вирішення задачі формування рішень-рекомендацій з організації заходів та обрана оптимальна. Запропоновано процедуру взаємодії двох підзадач. Розроблено метод, який вирішує в цілому задачу, що зазначена вище.

**Ключові слова:** двоетапна обробка інформації, надзвичайна ситуація, інформаційно-аналітична система, інформаційна технологія, динамічні експертні системи, самоорганізаційна карта Кохонена.

### METHODS FOR THE ESTABLISHMENT AND OPERATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN TECHNOGENIC EMERGENCIES

I.V. Shostak, V.O. Davidenko

The emergency situations (ES) as a special type of decision object are described in this article. Critical analysis of existing information-analytical systems (IAS) of man-made disaster is performed. The task of organizing activities for evacuation from disaster areas is formulated and divided into following sub-tasks: sub-task of forecasting the distribution of concentrations of hazardous chemicals (HC) and sub-task of forming an advisory nature of solutions to organize events for the evacuation of the population. The analysis of existing HC distribution models is performed and the best model is chosen. The analysis of knowledge-oriented technologies to solve the problem of forming decisions, recommendations on the organization of events was performed and the best technology is chosen. The procedure of interaction of two subtasks is proposed. A method that solves the above problem on the whole is developed.

**Keywords:** two-stage processing of information, emergency, information and analysis system, information technology, dynamic expert systems, self-organizing maps of Kohonen.