

УДК 004.89

И.В. ШОСТАК, В.О. ДАВИДЕНКО*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В статье описываются чрезвычайные ситуации (ЧС) как особый тип объектов принятия решений. Проведен критический анализ существующих информационно-аналитических систем (ИАС) по ЧС техногенного характера. Поставлена задача поддержки принятия решений по организации эвакуационных мероприятий. Предложена ситуационная модель описания динамики распространения ЧС, продвижения спасательных подразделений и изменения в заселенности зоны поражения, на основе событийно-темпоральной логики.

Ключевые слова: *ситуационное моделирование, чрезвычайная ситуация, информационно-аналитическая система, динамические экспертные системы, псевдофизические логики, темпорально-событийная логика, язык ситуационного управления.*

Введение

В последнее время в Украине, как и в других странах мира, все чаще возникают катастрофы техногенного характера, приводящие к чрезвычайным ситуациям (ЧС). Одни из наиболее критичных по своим последствиям ЧС – это те ЧС, которые являются следствиями аварийных выбросов в атмосферу опасных химических веществ (ОХВ). В условиях таких ЧС должен быть реализован комплекс мероприятий, и прежде всего эвакуация населения из зоны поражения ОХВ. Формирование и принятие решений по эвакуации населения в условиях ЧС, связанных с выбросом ОХВ в атмосферу, связано с рядом проблем, непосредственно вытекающих из природы данной ЧС, как нетрадиционного объекта принятия решений (ОПР). К особенностям ОПР такого типа относятся [1]:

- уникальность каждого случая возникновения ЧС: неповторимые комбинации метеорологических параметров окружающей среды;

- огромное количество информации, которую необходимо обработать за ограниченное время для принятия максимально эффективных решений;

- высокая динамика развития событий в зоне ЧС;

- нечеткость и неполнота информации о текущем состоянии объекта принятия решений в условиях ЧС.

Вышеперечисленные особенности обуславливают гораздо более высокий уровень неопределенности, чем при управлении традиционными объектами, и как следствие – сложность процедуры формирования и принятия решений в условиях ЧС, свя-

занных с распространением ОХВ.

Современные зарубежные информационно-аналитические системы (шведская ИАС PRIO [4], ИАС в составе американской системы EPA [5] и т.д.) нацелены в основном на моделирование распространения 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 ИАС поддержки принятия решений в ЧС техногенного характера, в основе которой лежит модель особого типа, в которой применяется событийно-темпоральная логика для описания динамики распространения ЧС, продвижения спасательных подразделений и изменения в заселенности зоны поражения. Данная ИАС способна с одной стороны прогнозировать распространение ОХВ, а с другой – формировать решения по организации мероприятий по эвакуации населения из зоны ЧС.

Целью данной статьи является описание процессов развития ЧС, а также эвакуации населения из зоны ЧС в рамках понятий ситуационного моделирования на языке ситуационного управления.

1. Постановка задачи

Прежде чем переходить к постановке задачи, следует детально описать элементы предметной области и связи между ними. На рис. 1 представлена схема предметной области.

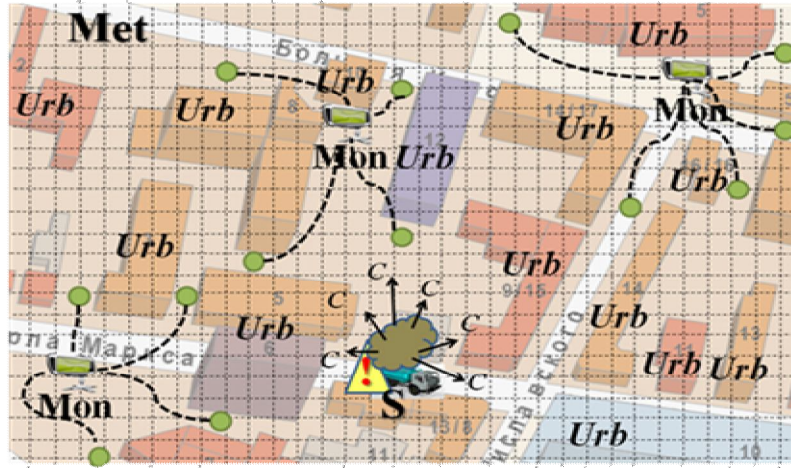


Рис.1. Схема предметной области

Источник выброса

$$S_{\tau} = \{CP, vol_all, (x_0, y_0, z_0), vol_ex_{\tau}, press_{0\tau}, temp_{0\tau}\}, \quad (1)$$

где CP - свойства и параметры ОХВ, vol_all - полный объем ОХВ, (x_0, y_0, z_0) - координаты источника в момент выброса, vol_ex $_{\tau}$ - объем ОХВ, вышедший в атмосферу в момент времени τ , press $_{0\tau}$ - давление в источнике ОХВ в момент времени τ , temp $_{0\tau}$ - температура в источнике ОХВ в момент времени τ .

Метеорологические условия

$$Met_{\tau,n} = \{temp_{\tau,n}, humid_{\tau,n}, press_{\tau,n}, stab_{\tau,n}, WD_{\tau,n}, WS_{\tau,n}\}, \quad (2)$$

где temp $_{\tau,n}$ - температура воздуха в сегменте n в момент времени τ , humid $_{\tau,n}$ - влажность воздуха в сегменте n в момент времени τ , press $_{\tau,n}$ - давление воздуха в сегменте n в момент времени τ , stab $_{\tau,n}$ - параметр стабильности атмосферы в сегменте n в момент времени τ , WD $_{\tau,n}$ - направление ветра в сегменте n в момент времени τ , WS $_{\tau,n}$ - скорость ветра в сегменте n в момент времени τ .

Система мониторинга

$$\begin{aligned} Mon_{\tau} &= \{mon_{l\tau}\}; \quad mon_{\tau,l} = \{Data_{\tau,l}\}; \\ Data_{\tau,l} &= \{data_{\tau,li}\}; \\ data_{\tau,li} &= \{(x_{li}, y_{li}, z_{li}), c_{\tau,li}\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где mon - газоанализаторы системы мониторинга, data $_{\tau,li}$ - параметры и показания i-го датчика l-го газоанализатора, (x_{li}, y_{li}, z_{li}) - координаты i-го датчика l-го газоанализатора, c $_{\tau,li}$ - показания концентрации ОХВ i-го датчика l-го газоанализатора в момент времени τ .

Стационарные силы и средства для эвакуации населения

$$FD = \{fd_i\} \quad fd_i = \{(x_{fd}, y_{fd}, z_{fd})_i, R_{fd_i, \tau}\}, \quad (4)$$

$$R_{fd_i} = \{r_{fd,i}\}, \quad i = \overline{1, n_{res}},$$

где FD - функциональные подразделения, (x_{fd}, y_{fd}, z_{fd}) - координаты функционального подразделения, R $_{fd, \tau}$ - ресурсы, находящиеся в заданном функциональном подразделении в момент времени τ , r $_{fd}$ - определенный тип ресурсов, необходимых для эвакуации населения (человеческие, материальные, технические и т.д.).

$$EP_{\tau} = \{ep_{i\tau}\} \quad ep_{i\tau} = \{(x_{ep}, y_{ep}, z_{ep})_i, v_{\tau}\}, \quad (5)$$

где EP - эвакуационные помещения, (x_{ep}, y_{ep}, z_{ep}) - координаты эвакуационных помещений, v $_{\tau}$ - количество свободных мест.

Действующие силы и средства для эвакуации населения

$$AD_{\tau} = \{ad_{i\tau}\},$$

$$ad_{i\tau} = \{(x_{ad_i}, y_{ad_i}, z_{ad_i})_{\tau}, v_{ad_i}, R_{ad_i, \tau}\}, \quad (6)$$

где AD - множество подразделений, действующих в момент времени τ , $(x_{ad_i}, y_{ad_i}, z_{ad_i})_{\tau}$ - координаты действующего подразделения в момент времени τ , v $_{ad_i}$ - средняя скорость перемещения подразделения, R $_{ad_i, \tau}$ - ресурсы действующего подразделения в момент времени τ .

Карта застройки

$$Urb_{\tau,k} = \{(x_k, y_k, z_k), c_{\tau,k}, \rho_{\tau,k}, MK_{\tau,k}\}, \quad (7)$$

где (x_k, y_k, z_k) - координаты участка Urb, c $_{\tau,k}$ - концентрация ОХВ в сегменте k в момент времени τ , $\rho_{\tau,k}$ - средняя плотность населения в сегменте k в момент времени τ , MK $_{\tau,k}$ - средний коэффициент значимости (уязвимости, первостепенности эва-

куации) в сегменте k в момент времени τ . Коэффициент $MK_{\tau,k}$ представляет собой числовую характеристику приоритета срочности эвакуации определенной группы населения и определяется экспертами, при этом, чем выше приоритет, тем выше значение коэффициента.

Население в зоне ЧС

$$Urb_{risk,\tau} = \{urb_{riski\tau}\}, \quad (8)$$

$$urb_{riski\tau} = \{urb_{i\tau}, R_{urb\tau}, t_b, t_e\}, \forall urb_{i\tau} : \rho_{\tau} > \varepsilon,$$

где $Urb_{risk,\tau}$ - множество элементов застройки, попадающих в зону поражения ОХВ в текущий или прогнозируемый период на момент времени τ , $R_{urb\tau}$ - минимальные ресурсы, необходимые для эвакуации населения, t_b - время начала попадания в зону поражения, t_e - время естественного окончания периода попадания в зону поражения, ε - пороговое значение минимальной плотности населения. Времена t_b , t_e считаются с момента аварийного выброса ОХВ.

Процесс эвакуации

$$Evac_{\tau} = \{evac_{i\tau}\}, \quad (9)$$

$$evac_{i\tau} = \{ad_{j\tau}, urb_{res_k\tau}, t_{evac}^b, t_{evac}^e\},$$

где $Evac_{\tau}$ - эвакуационные мероприятия на момент времени τ , t_{evac}^b , t_{evac}^e - время начала и окончания эвакуации из элемента застройки $urb_{res_k\tau}$ действующим подразделением $ad_{j\tau}$. При этом принимается, что $t_{evac}^e \leq t_{urb_{res}e}$ и возможны следующие варианты:

$t_{urb_{res}b} < t_{evac}^b < t_{evac}^e \leq t_{urb_{res}e}$ - эвакуация происходит в период поражения ОХВ участка застройки;

$t_{evac}^b < t_{evac}^e < t_{urb_{res}b} < t_{urb_{res}e}$ - эвакуация происходит заблаговременно до начала поражения;

$t_{evac}^b < t_{urb_{res}b} < t_{evac}^e < t_{urb_{res}e}$ - эвакуация происходит частично заблаговременно до начала поражения и частично после.

Задача планирования организации эвакуационных мероприятий

Дано:

- параметры источника аварии (1);
- информация о параметрах окружающей среды (2);
- векторная карта местности (3-D карта) (7);
- данные системы мониторинга (3);
- информация о доступных ресурсах для эвакуации населения из зоны техногенной ЧС (4-5).

Необходимо сформировать решения рекомендательного характера по эвакуации населения из зоны техногенной ЧС, вызванной аварийным выбросом ОХВ в атмосферу.

Поставленная задача является многокритериальной и классические оптимизационные методы ее решения являются неэффективными в условиях нехватки времени и наличия рисков. Мощным инструментом для решения подобных задач являются средства искусственного интеллекта (ИИ). В [6] проведен обзор и исследован вопрос применимости основных существующих средств ИИ для решения задач организации эвакуационных мероприятий. В условиях техногенной ЧС именно динамические экспертные системы (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. Однако предметная область должна быть представлена адекватной моделью, применяемой в ДЭС. Таким переходом может служить ситуационное моделирование и представление событийно-темпоральных логик на особом языке ситуационного моделирования.

2. Ситуационная модель процесса принятия решений по эвакуации населения из зоны поражения ОХВ

В [1] Д.А. Поспелов вводит понятия текущей и полной ситуации: текущая ситуация – совокупность сведений о структуре объекта и его функционировании в данный момент времени; а полная ситуация – текущая ситуация, знания о состоянии системы управления в данный момент и знания о технологии управления.

Согласно [1] формальная постановка задачи управления сложным объектом имеет вид:

$$S_i; Q_j \xrightarrow{U_k} Q_t, \quad (12)$$

где S_i - полная ситуация, Q_j и Q_t - текущие ситуации, U_k - управляющие воздействия. А смысл (12) заключается в том, что, если на объекте сложилась текущая ситуация Q_j , при этом S_i допускает использование управляющего воздействия U_k , то оно применяется, и вследствие этого применения Q_j переходит в новую текущую ситуацию Q_t .

Рассматриваемая проблемная область является динамической: в каждый момент времени происходит изменение метеорологической обстановки, что влечет за собой изменение зоны поражения ОХВ, а это, в свою очередь, приводит к изменениям в

управлении спасательными подразделениями. Поэтому целесообразным является поэтапное рассмотрение развивающейся и постоянно меняющейся ситуации, т.е. рассмотрение ситуаций с определенным периодом. Таким образом, текущей ситуацией назовем ситуацию, сложившуюся на объекте, в определенный момент времени. При этом примем за начало временного отсчета – момент возникновения аварийного выброса ОХВ.

Текущая ситуация, возникшая в момент времени τ , описывается теоретико-множественным способом следующим образом:

$$\text{Sit}_\tau = \{\text{Met}_\tau, \text{Mon}_\tau, \text{Urb}_\tau, \text{S}_\tau, \text{FD}_\tau, \text{EP}, \text{AD}_\tau, \text{Urb}_{\text{risk}\tau}, \text{Evac}_\tau\}. \quad (13)$$

Однако описание (13) является только базовым, а для описания взаимодействий объектов и субъектов предметной области применяются псевдофизические логики (ПФЛ), описываемые при помощи языка ситуационного управления. ПФЛ – это логика, отражающая восприятие субъектом или искусственной системой закономерностей внешней физической среды. Примерами ПФЛ являются временные логики, пространственные логики, логики действий и т.п. [3]. ПФЛ обладают большими преимуществами в случае использования их в системах представления знаний, а также при планировании целесообразного поведения.

Суть ПФЛ составляет работа с событиями.[4]. Событие – фиксированный факт, связанный с деятельностью субъекта или действиями, совершенными в силу объективных законов. [5] События бывают точечные и интервальные. Наибольший прикладной интерес представляют интервальные события. Данные события проецируются на временную шкалу в виде временных отрезков, начало и окончание которых называются маркерами.

Пусть

$$P = \{p_1, \dots, p_n, \mu_b(p_1), \mu_e(p_1), \dots, \mu_b(p_n), \mu_e(p_n)\}, \quad (14)$$

где P - множество событий, p_i - собственно событие, $\mu_b(p_i)$, $\mu_e(p_i)$ - маркеры начала и окончания события p_i ;

$$R = \{r_{11}, r_{12}, \dots, r_{kp}\}, \quad (15)$$

где R - множество отношений между событиями;

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m, \dots\}, t_1 < t_2 < \dots < t_i < t_{i+1} < \dots < t_m < \dots, \quad (16)$$

где T - множество моментов времени на относительной временной шкале.

Основной единицей ЯСУ является простая ядерная конструкция – тройка вида [7]:

$$(x\gamma y), \quad (17)$$

где x и y - понятия, γ - отношение или действие.

В формуле (17) вместо x или y можно подставлять

другие ядерные конструкции вида (17), и этот процесс можно продолжать рекурсивно.

Основные неметрические отношения интервальных событий в форме $(x\gamma y)$ [9]: r_1 - событие x строго предшествует событию y ; r_2 - событие x строго следует за событием y ; r_3 - событие x пересекается с y ; r_4 - событие x совпадает с y ; r_5 - событие x лежит внутри y ; r_6 - событие x лежит внутри y так, что их начала совпадают; r_7 - событие x непосредственно предшествует y ; $r = \pi$ - событие y обусловлено событием x .

3. Пример описания ситуации на ЯСУ для действий оперативных подразделений по эвакуации населения из зоны поражения ОХВ

Процесс организации мероприятий представлен на рис. 2. Условные обозначения:

p_1^{AD} – доставка сил и средств в определенную зону ЧС; p_2^{AD} – эвакуация населения; p_3^{AD} – сбор сил и средств; p_4^{AD} – доставка эвакуируемого населения в эвакуационные помещения; p_5^{AD} – прием эвакуационного населения в пункты эвакуации;

$\pi_{\tau_1}^{AD_1}$ - условие: есть ли свободные ресурсы для эвакуации в оперативном подразделении AD_1 ; $\pi_{\tau_2}^{AD_1}$ - сводное условие: (есть ли свободные ресурсы для эвакуации в оперативном подразделении AD_1) и (есть ли в эвакуационных пунктах свободные места); $\pi_{\tau_3}^{AD_1}$ - условие: есть ли еще население в зоне риска поражения; $\pi_{\tau_1}^{AD_2}$ - сводное условие: (есть ли свободные ресурсы для эвакуации в оперативном подразделении AD_2) и (есть ли в эвакуационных пунктах свободные места).

Данный процесс в терминах ЯСУ записывается так:

$$\begin{aligned} & (p_1^{AD_1} r_7 p_2^{AD_1}) \cup (p_2^{AD_1} r_7 p_3^{AD_1}) \cup \\ & \cup (p_3^{AD_1} (\pi_{\tau_1}^{AD_1} \& \pi_{\tau_2}^{AD_1}) p_1^{AD_1}) \cup \\ & \cup (p_3^{AD_1} r_7 p_4^{AD_1}) \cup (p_4^{AD_1} r_7 p_5^{AD_1}) \cup (p_5^{AD_1} \pi_2 p_1^{AD_1}); \\ & (p_1^{AD_2} r_7 p_2^{AD_2}) \cup (p_2^{AD_2} r_7 p_3^{AD_2}) \cup \\ & \cup (p_3^{AD_2} (\bar{\pi}_1^{AD_2}) p_4^{AD_2}) \cup \\ & \cup (p_4^{AD_3} r_7 p_5^{AD_3}) \cup (p_5^{AD_2} \pi_2 p_1^{AD_2}). \end{aligned}$$

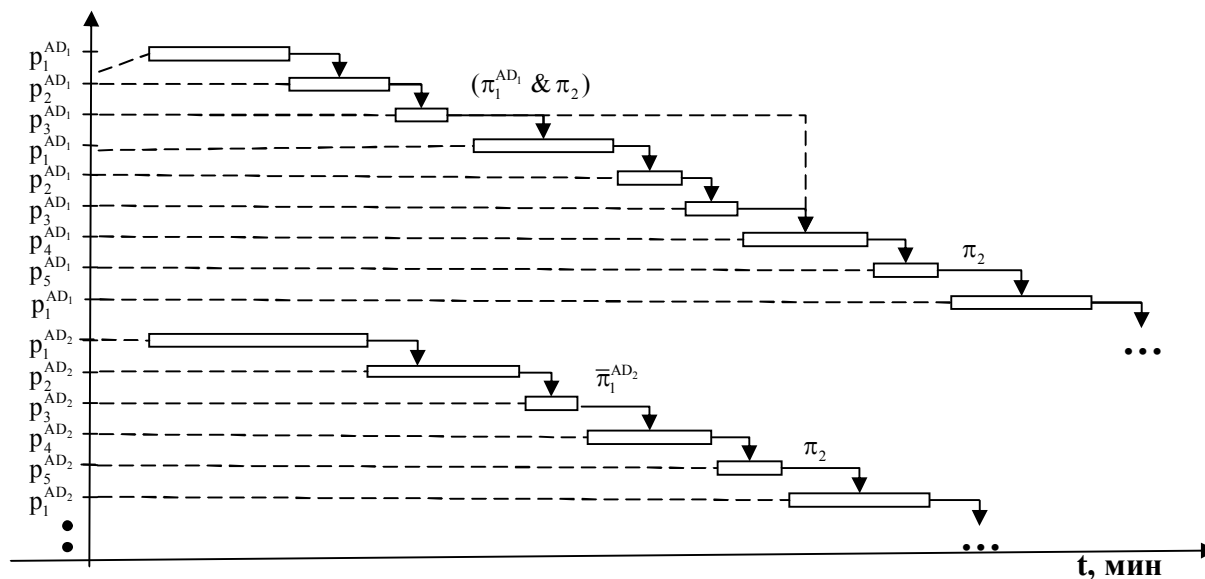


Рис. 2. Диаграмма Ганта действий оперативных подразделений по эвакуации населения из зоны ЧС

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. Поставлена задача поддержки принятия решений по организации эвакуационных мероприятий.
4. Предложена ситуационная модель описания динамики распространения ЧС, продвижения спасательных подразделений и изменения в заселенности зоны поражения, на основе событийно-темпоральной логики.

Литература

1. Дзюндзюк, Б.В. Катастрофы и чрезвычайные ситуации [Текст] / Б.В. Дзюндзюк, А.И. Хяньникяйнен, В.Б. Швед. – Х.: Форт, 1998. – 120 с.
2. Про Програму створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій на 1995 рік: постановлення Кабінету Міністрів України от 7 апреля 1995г. № 250. – 1995.
3. Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті: приказ Кабінету Міністрів України от 10 апреля 2001 г. №N 326/5517. – 2001.

4. PRIO (replaces Swedish Chemicals Agency's Observation) [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.kemi.se/templates/PRIOEngframes_4144.aspx. – 12.01.2012 г.

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>. – 12.01.2012 г.

6. Шостак, И.В. Методы создания и функционирования системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного характера [Текст] / И.В. Шостак, В.О. Давиденко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – №2(6). – С. 168 – 172.

7. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика [Текст] / Д.А. Поспелов. – М.: Наука. – 1986. – 288с.

8. Толковый словарь по искусственному интеллекту [Текст] / Авторы-составители А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь. – 1992. – 256 с.

9. Тарасов, В.Б. Псевдофизические логики в искусственном интеллекте / В.Б. Тарасов // Поспеловские чтения: Искусственный интеллект – проблемы и перспективы: доклад. конф. 16-17 дек. 2009г. – М., 2009 – 56 с.

10. Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах [Текст] / Е.Ю. Кандрашина, Л.В. Литвинцева, Д.А. Поспелов. – М.: Наука. – 1989. – 328 с.

Поступила в редакцию 7.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. ПО ЭВМ С.Ю. Шабанов-Кушнаренок, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

**КОМП'ЮТЕРНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ СИТУАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ
В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ***I.V. Shostak, B.O. Davidenko*

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. Поставлено задачу підтримки прийняття рішень з організації евакуаційних заходів. Запропоновано ситуаційну модель, яка описує динаміку розповсюдження НС, просування рятувальних підрозділів та зміну у заселеності зони ураження, на базі подієво-темпоральній логіки.

Ключові слова: ситуаційне моделювання, надзвичайна ситуація, інформаційно-аналітична система, динамічні експертні системи, псевдофізичні логіки, подієво-темпоральна логіка, мова ситуаційного керування.

**COMPUTER DECISION MAKING SUPPORT ON THE BASIS OF SITUATIONAL MODELS
IN THE TECHNOGENIC EMERGENCIES***I.V. Shostak, B.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 decision-making supporting of the evacuation organization is formulated. The model that describes the dynamics of situational distribution of emergency, pro-motion rescue units and changes in the population of the affected area, based on the event-based temporal logic is proposed.

Keywords: situational modeling, emergency, information-analytical system, dynamic expert systems, pseudo-physical logic, temporal event-logic, situational control language.

Шостак Игорь Владимирович – д-р техн. наук, проф. каф. інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт», Харків, Україна.

Давиденко Валентина Олеговна – аспірантка каф. інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт», Харків, Україна, e-mail: Valyuxa@ukr.net.