

## **Частина II. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

УДК 681.3:0048:622.867

*В.В. Слесарев, д-р техн. наук, А. Н. Коваленко, канд. техн. наук,  
А.М. Алексеев, В.В. Яворская*

*(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")*

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ**

**Введение.** При ликвидации аварий на шахтах большое значение уделяется точности и оперативности принятых решений по управлению технологическими системами шахт, особенно вентиляционными системами, так как опасность таких аварий в закрытом пространстве с наличием взрывоопасных газов требует применения особых режимов проветривания. Реализация этих режимов в экстремальных условиях зачастую при отсутствии информации затруднительна, поэтому необходимо применять специально разработанные базы данных и знаний для их использования при информационной поддержке принятия решений в случаях ликвидации аварий на шахтах.

Таким образом, руководителю аварийных работ должен быть доступен максимум информации об объекте управления и возможностях по регулированию различных параметров в экстремальных ситуациях. В данном случае, с одной стороны, усложняются вопросы информационного обеспечения для должностных лиц органов управления процессами ликвидации аварий, а с другой – существенно повышается значение и ценность своевременной и достоверной информации о шахте в аварийной обстановке, которую с полным основанием можно рассматривать как один из видов ресурсов, обеспечивающих эффективность ликвидации аварий. Кроме того, одним из важнейших этапов ликвидации любой шахтной аварии является составление и реализация оперативных планов. Оперативные планы должны составляться на основании достоверной, как можно более полной информации об объекте управления.

**Цель исследования** – разработка алгоритма поиска эффективных решений для управления организационными и технологическими системами при ликвидации аварий на шахте. Для этого предлагается использовать информацию, содержащуюся в предварительно сформированных планах ликвидации аварий (ПЛА). При этом позиции ПЛА предлагается считать «возможными прецедентами». При решении подобных проблемных ситуаций в плохо формализуемых предметных областях актуальным является подход, основанный на повторном использовании знаний об аналогичных случаях (CBR- Case-Based Reasoning).

CBR – системы обеспечивают информационную поддержку лицам, принимающим решения (ЛПР) через поиск аналогичных ситуаций в своей базе знаний и имевших место в прошлом. Они повторно предлагают уже использовавшееся решение либо адаптируют их для решения текущей проблемы [1,2]. Алгоритм функционирования CBR-системы в общем случае можно представить следующим образом.

Поиск подобных проблемных ситуаций ведется по значениям атрибутов, служащих параметрами функции схожести. Решение, соответствующее ситуации, идентифицированной по максимальному значению функции схожести, может быть адаптировано к текущей ситуации либо оставлено неизменным, как подходящее для решения возникшей проблемы. Некоторые системы не имеют модуля адаптации вследствие сложности определения соответствующих правил. Поэтому в данной работе адаптируем уже ранее известные методы поиска сходства прецедентов [3,4].

Предметная область в предлагаемой модели подвергается таксономической декомпозиции на множество представляемых фреймами концептов при помощи отношения наследования. Эта декомпозиция предметной области может быть отнесена к статическим знаниям и в зависимости от сложности вводимой семантики может меняться либо оставаться постоянной в процессе вывода проектов решений.

База знаний разрабатываемой системы структурно представляет собой множество экземпляров классов, обеспечивающих основную функциональность подсистемы. База знаний состоит из следующих составных частей:

Библиотека «возможных прецедентов» – ПЛА – обеспечивает поддержку процесса управления его позициями – добавление, удаление, индексация, поиск релевантных позиций. База данных создана в формате баз данных на платформе MySQL. Источником информации в данном случае на каждой шахте является ПЛА.

Структура текстовой информации для плана ликвидации аварий на угольных шахтах и её классификация (пример реализации из ПЛА шахты «Западно-Донбасская») следующая.

**Угрожаемые зоны** – «главный «И» вспомогательный стволы, загазованность малая, температура невысокая) «И» (надшахтное здание, загазованность малая, температура невысокая) «И» (выработки западного крыла шахты горизонта 480 м, загазованность средняя, температура средняя) «И» (3 западного

магистрального откаточного штрека, загазованность большая, температура средняя) «И» (выработки восточного крыла горизонта 480 м, загазованность малая, температура средняя) «И» (выработки и камеры околоствольного двора горизонта 480 м, загазованность малая, температура невысокая) «И» (выработки бремсбергового поля шахты, загазованность средняя, температура невысокая) «И» (выработки конвейерного и откаточного квершлагов на пласте с<sub>10</sub>, загазованность большая, температура средняя)».

Их интерпретация на формальном языке приведена ниже.

$$K_{(s)} \left[ \begin{array}{l} \text{угрожаемых} \\ \text{зон} \end{array} \right]_{(i)} = \left\{ \begin{array}{l} [Z(I)' \text{ И}'' Z(I)] [R(J)X(K)]_{(1)} \text{ И}'' [Z(I)] \\ [R(J)X(K)]_{(2)} \text{ И}'' [Z(I)] [R(J)X(K)]_{(3)} \text{ И}'' [Z(I)] \\ [R(J)X(K)]_{(4)} \text{ И}'' [Z(I)] [R(J)X(K)]_{(5)} \\ \text{И}'' [Z(I)] [R(J)X(K)]' \text{ И}'' [Z(I)] \\ [R(J)X(K)]_{(6)} \text{ И}'' [Z(I)] [R(J)X(K)]_{(7)} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где  $i$  – количество «угрожаемых зон» в вентиляционной системе шахты при авариях по плану ликвидации аварий;  $I$  – номер горной выработки на сетевой модели вентиляционной системы шахты (ряд целых чисел от 1 до 2000);  $Z(I)$  – формальное представление наименования  $I$ -той горной выработки;  $R(J)$  – отношения «обладания качеством»;  $X(K)$  – значение температуры в горной выработке.

**Множество маршрутов эвакуации людей** – «в откаточном заезде на конвейерный ходок от западного магистрального откаточного штрека до 800 бортового штрека — по откаточному заезду на конвейерный ходок, камере приводов, западного магистрального конвейерного штрека, камере пылеподавления к вспомогательному стволу «И» на поверхность (5 мин)».

Их интерпретация на формальном языке

$$K_{(s)} \left[ \begin{array}{l} \text{множество} \\ \text{маршрутов} \\ \text{эвакуации} \\ \text{людей} \end{array} \right]_{(j)} = \left\{ \begin{array}{l} Z(I)_{(1)} - Z(I)_{(2)} \text{ И}'' Z(I)_{(3)} \text{ И}'' \\ Z(I)_{(4)} \text{ И}'' Z(I)_{(5)} \text{ И}'' Z(I)_{(6)} \\ \text{И}'' \text{ _поверхность_5_мин} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где  $j$  – множество маршрутов эвакуации людей.

**Множество маршрутов движения горноспасателей – 1-е отд. ГВГСС** – по вспомогательному стволу на горизонте 480 м, порожней ветви, ходку к главному стволу к камере пылеподавления для ее обследования сбойки на главный ствол, камеры приводов «И» откаточного заезда на конвейерный ходок до места аварии «И» вывода людей на свежую ближайшую струю воздуха «И» оказания им помощи»

Интерпретация на формальном языке

$$K_{(s)} \left[ \begin{array}{l} \text{множество} \\ \text{маршрутов} \\ \text{движения} \\ \text{горноспасателей} \end{array} \right]_{(m)} = \left\{ \begin{array}{l} Z(I)' \text{ И}'' Z(I)' \text{ И}'' Z(I) \text{ _для обследования} \\ Z(I)' \text{ И}'' Z(I)' \text{ И}'' Z(I)' \text{ И}'' Z(I)' \text{ И}'' \text{ _} \\ \text{вывода_людей_на_свежую_} \\ \text{ближайшую_струю_воздуха"И" _} \\ \text{оказания_им_помощи} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $m$  – множество маршрутов движения горноспасателей.

**Множество вентиляционных режимов** – «Если вентилятор главного проветривания №1 реверсирован «И» регулятор установлен в западном вентиляционном штреке, расположенный от вентиляционной сбойки №2 до южного квершлага закрыт, то расход воздуха в 800-й лаве имеет значение малый отрицательный».

Интерпретация на формальном языке

$$K_{(s)} \left[ \begin{array}{l} \text{вентиляци-} \\ \text{онных} \\ \text{режимов} \end{array} \right]_{(k)} = \left\{ \begin{array}{l} (( X 56 R 12 X 59 ) R 09 ( X 61 R 10 ( R 25 Z 201 ( R 23 Z 217 \\ (( R 24 Z 213 ( R 12 X 65 ))) R 22 ( X 66 R 11 X 73 \\ R 10 Z 220 )))) \end{array} \right\}, \quad (4)$$

где  $k$  – количество возможных вентиляционных режимов; X56, X59, X65, X66, X73 – понятия, соответственно, вентилятора, положения, регулятора, расхода воздуха, значения расхода воздуха; R09 – союз «И»;

R12, R10 – отношения, характеризующие состояния управляющих органов вентилятора и регулятора; R22 – импликация «если-то»; R11, R23, R24, R25 – отношения, характеризующие обладания качеством; Z220 – 800-я лава; Z217 – вентиляционная сбойка №2; Z213 – южный квершлаг; Z201 – западный вентиляционный штрек.

**Множество технологических и организационных мероприятий –**

$$K(s) \left[ \begin{array}{l} \text{техноло-} \\ \text{гических,} \\ \text{органи-} \\ \text{зационных} \\ \text{мероприятий} \end{array} \right]_{(l)} = \left. \begin{array}{l} 1. \text{ Немедленно вызвать 2 - й взвод 8 ВГСО} \\ 2. \text{ Обеспечить нормальную работу вентиляторов} \\ \text{главного проветривания блоков №1 и №3} \\ 3. \text{ Отключить электроэнергию : в ЦПП г.480 м - ячейка} \\ \text{№8, 14, 17, 18; в РПП - 2 - ячейка №6; в РПП - 9 ячейка} \\ 27. \text{ Выдать задания отделениям ГВГСС.} \end{array} \right\}, \quad (5)$$

где  $l$  – количество возможных технологических организационных мероприятий.

**Множество: ответственные лица** – «горный диспетчер, телефонистка, командир отряда, дежурный у телефона ГВГСС, главный механик, машинист вентилятора, главный энергетик, смены ИТР (инженерно технические работники) участков, члены ВГК, дежурный насосной, дежурный электрослесарь, начальник ВШТ, подземный диспетчер, начальник УДПРТБ, машинист насосной, ..., главный инженер».

Интерпретация на формальном языке

$$K(s) \left[ \begin{array}{l} \text{ответственные} \\ \text{лица} \end{array} \right]_{(n)} = \left. \begin{array}{l} "Z(N), Z(N), Z(N), Z(N), Z(N) \\ Z(N), Z(N), Z(N), Z(N), Z(N) \\ Z(N), Z(N), Z(N), Z(N), \dots, Z(N)" \end{array} \right\}, \quad (6)$$

где  $Z(N)$  – формальное представление наименования должности ответственного лица ввода в действие плана ликвидации аварии ( $N$  – натуральные целые числа от 1 до 50).

Информация в базе данных разработанной автоматизированной подсистемы об управляемости расходами воздуха (4) строится на базе смысловых ( $XXR$ ) цепочек. Обучение этой системы (первоначальное создание фрагмента базы данных по возможностям изменения аварийных вентиляционных режимов) производится путём пассивных и активных экспериментов, методом экспертных оценок, а также путем имитационных исследований аварийных ситуаций на модели вентиляционного проветривания шахты. После обучения системы – классификации возможных вентиляционных ситуаций, левая часть каждой записи  $j$ -го отношения базы будет соединена с соответствующей записью правой части отношением  $R_{2,2}$  – «если – то». Семантическая структура этой информации представлена на рис. 1, а аналитическое выражение – пирамидальная структура (7).

Формальная запись базы знаний о возможностях по изменению вентиляционных режимов в виде системы логических (импликативных) уравнений



**Рис. 1. Семантическая структура информации о возможностях изменения вентиляционных режимов**

$$\left\{ \begin{array}{l}
 (X_{32(j)} R_{3,6} X_{67}) R_{2,2} [(XR_{3,7} X)]_{NS_j=1}; \\
 R_7 \\
 (X_{32(j)} R_{3,6} X_{68}) R_{2,2} \dots R_{2,2} [(XR_{3,7} X)^{(1)} R_6 (XR_{3,7} X)^{(2)}]_{NS_j=2}; \\
 R_7 \\
 \vdots \\
 R_7 \\
 (X_{32(j)} R_{3,6} X_{77}) R_{2,2} \dots R_{2,2} [(XR_{3,7} X)^{(1)} R_6 (XR_{3,7} X)^{(2)} R_6 \dots \\
 \dots R_6 (XR_{3,7} X)^{(n)}]_{NS_j=L},
 \end{array} \right. \quad (7)$$

где  $(XR_{3,7} X)^n$  – маргинальные цепочки, характеризующие закрытое состояние пассивных регуляторов, реверсивное состояние или остановку активных регуляторов;  $X_{32(j)}$  – понятие расхода воздуха;  $(X_{67} - X_{77})$  – установленные интервалы расхода воздуха;  $(R_6, R_7)$  – соответственно союзы “И”, “ИЛИ”;  $NS_j$  – номер записи  $j$ -го отношения.

Весь диапазон возможных изменений расхода воздуха в каждой горной выработке (в каждом отношении этого фрагмента базы знаний) будет состоять из частных случаев логического уравнения (7).

Используя операции обобщения, конкретизации, пересечения, объединения и разности для преобразования уравнения (7), можно получить полный спектр понятий, характеризующих возможность управления аварийным проветриванием шахт.

Моделирование процесса протекания пожаров в шахте – очень сложная задача. Достаточно точных ее аналитических решений в настоящее время не существует. Поэтому база знаний этого процесса для рассматриваемой системы строится в виде текстовых структур, полученных путем экспертных оценок, и проведения имитационного логико-математического моделирования (ЛММ) аварийных ситуаций. При этом возможные решения на основании базы знаний определяются с использованием принципов нечеткой логики. Эти записи имеют нижеследующий ветвящийся вид.

Здесь  $X_{(j)}, X_{(m)}, X_{(n)}$  – понятия, характеризующие интенсивность загазованности ( $X_{(l)}$ ) горных выработок и температуру ( $X_{(k)}$ ) окружающей среды;  $Z_{(i)}$  – название горной выработки. Эта семантическая структура изображена на рис. 2.

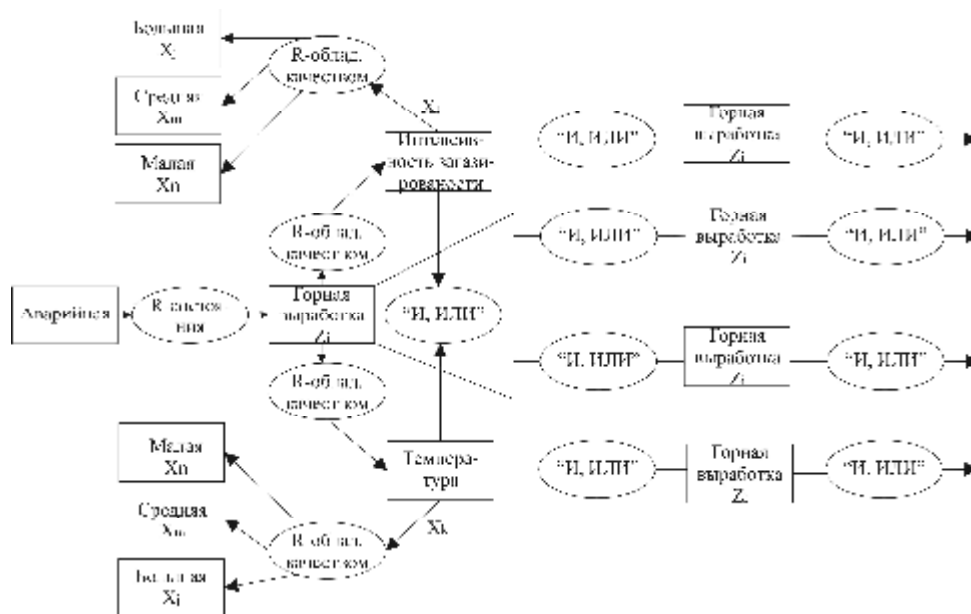


Рис. 2. Схематическая структура информации о зонах загазованности и температурных полях в подземных выработках шахты

Маршруты эвакуации людей и движения горноспасателей с учетом возникновения образования угрожаемых зон определяются путем проведения операций объединения и пересечения по следующей формуле:

$$M_0 = \min [ \underset{\mu(J,i) \cup \mu(Z,i)}{\text{Max}} \underset{\mu(J,i) \cap \mu(Z,i)}{\text{Min}} ( K_{(S)} \text{ множество маршрутов эвакуации людей} \text{ }_{(J,i)}, K_{(S)} \text{ аварийных зон} \text{ }_{(Z,i)} ) ], \quad (8)$$

где  $K_{(i,i)}$  – множество  $I$  маршрутов, состоящих из  $i$  горных выработок, эвакуации людей и движения горноспасателей;  $K_{(Z,i)}$  – класс  $Z$  зон загазованностей и температурных полей в вентиляционной системе шахты;  $\mu_{(i,i)}$ ,  $\mu_{(Z,i)}$  – соответственно вероятность нахождения людей в  $i$ -й выработке  $I$ -го маршрута и принадлежность значения «концентрации» вредных газов или «температуры» установленным интервалам шкал в  $i$ -й выработке  $Z$ -й аварийной зоны в фиксированный момент времени.

#### Алгоритм выбора управляющих воздействий

**Шаг 1.** При инициализации процедуры поиска создается запрос  $Q$ , представляющий собой набор экземпляров или классов, соответствующих заданным параметрам  $\{a_i\}$  [2]. В этом случае локальная мера сходства для отношения is-a:

$$K_S(k_i) = \{k_j \in K : R(k_i, k_j) = is-a \vee k_i = k_j\};$$

$$Sim_{is-a}(k_i, k_j) = \frac{|K_S(k_i) \cap K_S(k_j)|}{|K_S(k_i) \cup K_S(k_j)|}, \quad (9)$$

где  $K_S(k_i)$  – множество суперклассов вида  $c_i$  в онтологии ПЛА шахты;  $K$  – множество классов в онтологии ПЛА;  $k_i, k_j$  – классы в онтологии, входящие во множество  $K$ ;  $R$  – величина отношения is-a между классами.

При установлении соответствия между реальной оперативной обстановки и аварийной ситуации, полученной в результате моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты (структурная идентификация), выражение (9) будет выглядеть следующим образом:

$$Sim_{is-a}(k_{[аварийных\_зон]_{(ВП \chi I)}}, k_{[аварийных\_зон]_{(РР \chi I)}}) =$$

$$= \frac{|K_{[аварийных\_зон]_{(ВП \chi I)}} \cap K_{[аварийных\_зон]_{(РР \chi I)}}|}{|K_{[аварийных\_зон]_{(ВП \chi I)}} \cup K_{[аварийных\_зон]_{(РР \chi I)}}|}, \quad (10)$$

где  $K_{(S)}[орг.м.техн.мер.]_{(L)}$  и  $KP_{(S)}[орг.м.техн.мер.]_{(L)}$  – текстовые структуры организационных и технических мероприятий ПЛА.

В данном случае предлагается использовать такую локальную меру сходства для отношения «part-of»:

$$Sim_{po}(Q, i_j) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m f(sim_t)(z_j^q, z_k^{ij})^* w_j}{l+m}, t \in T, z \in Z, \quad (11)$$

где  $z_1^q \dots z_j^q, z_1^{ij} \dots z_k^{ij}$  – атрибуты сравниваемых экземпляров понятий  $z$  с совпадающими названиями и типами;  $f(sim_t)$  – функция сравнения простых атрибутов предопределенных типов  $T$ ;  $T = \{string, integer, float, boolean\}$ ;  $l, m$  – количество атрибутов в каждом из экземпляров;  $w_j$  – вес, присвоенный атрибуту  $j$ .

**Шаг 2.** Значения атрибутов строковых типов сравниваются посимвольно и, в зависимости от атрибута, используется мера сходства, либо допускающая искажение – «расстояние Хэмминга», либо не допускающая искажений, т.е. строгое посимвольное сравнение.

После того, как рассчитаны локальные меры сходства элементов запроса и прецедентов определенного класса, определяется глобальная мера сходства

$$Sim_I(q, i_j) = \frac{sim_{is-a}(q, i_j) * w_{is-a} + sim_{po}(q, i_j) * w_{po}}{2}, \quad (12)$$

где  $q$  – запрос;  $i_j$  – прецедент;  $w_{is-a}, w_{po}$  – соответственно веса отношений is-a, part-of.

**Шаг 3.** Затем необходимо определить, отличаются ли технические и организационные мероприятия (шесть классов  $K_{(i,j,m,k,l,s)}$ ), ранее проведенные, от мероприятий, которые предусмотрены планом для обстановки, сложившейся на момент после обследования обстановки подразделениями ГВГСС (шесть классов  $KP_{(i,j,m,k,l,s)}$ ).

Если эти мероприятия обладают достаточным сходством, то дополнительных управляющих воздействий не требуется. Если же имеется существенное различие, то эти мероприятия корректируются путем выполнения специальных операций с текстовыми структурами организационных и технологических мероприятий позиций ПЛА.

**Шаг 4.** С текстовыми структурами  $K_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)}$  и  $KP_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)}$  проводится операция «разность»:

$$\begin{aligned} & K_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)} - KP_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)} = \\ & = K_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)} \mathbf{I} \overline{KP_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)}}, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $K_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)}$  – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса возможных прецедентов позиций ПЛА, установленный путём моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты;  $KP_{(S)}[орг.и\_техн.\_мер.]_{(L)}$  – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса (позиции ПЛА), реализованных после ввода в действие ПЛА.

Для установления соответствия аварийных ситуаций используется отношение «is-a». Вместо данных, полученных в результате разведки аварийной обстановки на шахте, воспользуемся позицией ПЛА, самой близкой к аварийной ситуации, установленной заблаговременно для данного возможного пожара.

Функция принадлежности для параметров сравниваемых классов  $a_{(i)}$  определяется по формуле

$$\mu_{K_{(l)}-KP_{(l)}}(a_{(i)}) = \mu_{K_{(l)}} \mathbf{I} \overline{\mu_{KP_{(l)}}}(a_{(i)}) = \min(\mu_{K_{(l)}}(a_{(i)}), 1 - \mu_{KP_{(l)}}(a_{(i)})).$$

Если с лингвистическими структурами позиций ПЛА выполнить еще раз операцию разности, то узнаем, какие технологические системы и в какое состояние нужно перевести в сложившейся аварийной ситуации.

**Выводы.** Предложенная методика информационной поддержки принятия решений по управлению организационными и технологическими системами шахты в экстремальных ситуациях, позволяет повысить надежность, точность и оперативность принимаемых решений руководителем аварийных работ в экстремальных ситуациях.

#### Список литературы

1. Модели вывода по прецедентам для реализации интеллектуальных систем [Текст]: IV Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-98, Пущино / Котенко И.В. – Пущино: ЛЕ-НАНД, 1998. – С. 270-277
2. Разработка динамической модели процесса управления в проблемных ситуациях на основе базы знаний прецедентов [Текст] / Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина, Т.А. Халиков и др. // Управление в сложных системах: межвуз. науч. сб. – Уфа, 1999. – С. 207 – 212.
3. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches [Электронный ресурс] / AI Communications, 7(1), March 1994. – Режим доступа:www. URL: <http://citeseer.nj.nec.com/252387.html>.
4. Bridging Software Design and Usability Analysis through Task Modeling [Электронный ресурс] / In Varghese, K. & Fledge, S. Human Comfort and Security Berlin: Springer Verlag, (in press) Режим доступа:www. URL: <http://sra.itc.it/projects/charade/hcs95.ps>.

*Рекомендовано до друку проф. Ткачовим В.В.*