main elements of smart production systems (SPS). The 4D printer uses not only three dimensions (X. Y. Z), but the fourth dimension – time (T).

Keywords: *alternative technologies (traditional and additive), 3D (4D) printing technologies, composites and nanomaterials, "smart" materials.*

УДК 656.2

АХМЕТОВ Б.С. – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)
АБУОВА А.Х. – доктор PhD (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФИНАНСОВО-МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация

Уменьшить масштабы негативных последствий техногенных аварий или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте, можно путем оптимизации процессов принятия решений. Это относиться как к доаварийному периоду, так и непосредственно к моменту ликвидации последствий аварии или чрезвычайных ситуации.

Достаточным условием для принятия качественного решения, в данной ситуации может стать применение интеллектуализированных систем поддержки принятия решений в задачах ликвидации последствий техногенных аварии или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Актуальной задачей остается разработка для подобных автоматизированных систем поддержки принятия решений соответствующих методик и программного обеспечения, базирующихся на структуризации задач, моделях и методах их решения.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации, ликвидации последствий аварии, интеллектуальные системы, математические модели.*

Введение.

Уменьшить масштабы негативных последствий техногенных аварий или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте (ЖДТ), можно путем оптимизации процессов принятия решений. Это относиться как к доаварийному периоду, так и непосредственно к моменту ликвидации последствий аварии или чрезвычайных ситуации (ЧС).

Достаточным условием для принятия качественного решения, в данной ситуации может стать применение интеллектуализированных систем поддержки принятия решений в задачах ликвидации последствий техногенных аварии (ТГА) или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. В частности, актуальной задачей остается разработка для подобных автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) соответствующих методик и программного обеспечения, базирующихся на структуризации задач, моделях и методах их решения. Например, для определения оптимального (квазиоптимального) распределения финансовых ресурсов или иных материальных ресурсов (техника, специальные средства и др.) для ликвидации ТГА или

ЧС на ЖДТ и выработки рациональной стратегии (например, финансовой) по ликвидации последствий ТГА или ЧС на ЖД.

Отсутствие в настоящее время таких ИСППР значительно усложняет процесс и сроки времени принятия своевременных, обоснованных решений руководителем ликвидации ЧС или ТГА, что приводит к увеличению потерь от нее. Указанное обуславливает необходимость разработки модели для системы поддержки принятия решений по распределению финансово-материальных ресурсов, направляемых на ликвидацию последствий ТГА и ЧС на ЖДТ [1-5].

Основная часть.

Приведем постановку задачи о финансировании ситуационного центра по ликвидации последствий ЧС или ТГА на ЖДТ.

Принимаем, что во взаимодействии участвуют две стороны.

Первая сторона – это ситуационный центр (СЦ) по ликвидации ЧС (СЦЛЧС), руководитель которого принимает решение (ЛПР).

Вторая сторона – это непосредственно ликвидаторы ЧС на ЖДТ в зоне проведения соответствующих работ (ЛЗЧС).

Состояние каждой стороны характеризуется материально-финансовыми ресурсами (МФР). Предполагается, что руководитель СЦЛЧС может принимать решения по выделению финансовых и материальных ресурсов, например, специальной или строительной техники (за исключением человеческих), которая участвует в ликвидации последствий ЧС.

В зоне ЧС лицо, принимающее решение, может выделить МФР, расходуемые на привлечение соответствующих специалистов для ликвидации последствий.

Принято следующее допущение: для игровой модели заданы темпы изменения величин МФР сторон:

g_1 – первой стороны (СЦЛЧС);

g_2 – второй стороны (ЛЗЧС).

Введем такие обозначения:

$x(t)$ – величину МФР в момент $t\ (t = 0,1,...,N_*)$ СЦЛЧС;

$y(t)$ – величина МФР в момент в момент $t\ (t = 0,1,...,N_*)$, ЛЗЧС;

N_* – натуральное число;

r_1 – коэффициент реакции второй стороны (ЛЗЧС) на выделение первой стороной (СЦЛЧС) МФР для ликвидации последствий ЧС. Это вызвано тем, что ей необходимо обеспечить работу с теми МФР, которые выделил СЦЛЧС;

r_2 – коэффициент реакции СЦЛЧС на выделение стороной ЛЗЧС МФР на специалистов для ликвидации последствий ЧС на ЖДТ. Это вызвано тем, что СЦЛЧС необходимо обеспечить необходимыми МФР специалистов, работающих в зоне ЧС.

Запишем взаимодействие сторон с учетом [6, 7] следующим образом:

$$\begin{cases} x(t+1) = g_1 \cdot x^+(t) - u(t) \cdot g_1 \cdot x^+(t) - r_2 \cdot v(t) \cdot g_2 \cdot y^+(t); \\ y(t+1) = g_2 \cdot y^+(t) - v(t) \cdot g_2 \cdot y^+(t) - r_1 \cdot u(t) \cdot g_1 \cdot x^+(t); \end{cases} \tag{1}$$

где

$u(t), u(t) \in [0,1]$ – реализация стратегии первой стороны в момент t,

$v(t), v(t) \in [0,1]$ – реализация стратегии второй стороны в момент t;

$$x = \begin{Bmatrix} x, x \geq 0 \\ 0, else \end{Bmatrix}. \tag{2}$$

Опишем приведенную процедуру.

Первая сторона (например, руководитель СЦЛЧС, т.е. ЛПР) в начальный момент времени $t=0$ увеличивает (или уменьшает) свои финансовые ресурсы с $x(0)$ до $g_1 \cdot x(0)$. А затем выделяет часть финансовых ресурсов (ФР) на приобретение материальных ресурсов, которые направлены на ликвидацию ЧС. То есть, первая сторона выбирает величину $u(0)$ для того, чтобы определить размер $u(0) \cdot g_1 \cdot x(0)$.

Вторая сторона, в начальный момент времени $t=0$, увеличивает (или уменьшает) свои ФР с $y(0)$ до $g_2 \cdot y(0)$. А затем выделяет часть ресурсов на финансирование специалистов по ликвидации ЧС. То есть, выбирает величину $v(0)$, для того, чтобы определить величину ФР $-v(0) \cdot g_2 \cdot y(0)$.

Выделение обеими сторонами взаимодействия величин $u(0) \cdot g_1 \cdot x(0)$ и $v(0) \cdot g_2 \cdot y(0)$ приводит к дополнительному финансированию по ликвидации последствий ЧС на ЖДТ с помощью коэффициентов реакции:

$$r_1 \cdot u(0) \cdot g_1 \cdot x(0),$$

$$r_2 \cdot v(0) \cdot g_2 \cdot y(0).$$

В результате получается выражение для взаимодействия с одним шагом. Аналогично, описывается взаимодействие для моментов времени $t \geq 1$ (выражение (1)).

На основании [7] определим функцию выигрыша для двух сторон во взаимодействии:

$$K(x,y)=\begin{cases}1, x \geq 0, y \prec 0;\\ -1, x \prec 0, y \geq 0;\\ 0, else;\end{cases} \tag{3}$$

Взаимодействие заканчивается в момент времени T.

Вследствие несогласованности и отсутствия должной информированности, можно считать, что каждая сторона может предположить, что другая сторона поступит по отношению к ней «наихудшим» образом.

Считаем, что первая сторона (СЦЛЧС) стремится максимизировать функцию выигрыша $K(x(T), y(T))$, а вторая (ЛЗЧС) – минимизировать $K(x(T), y(T))$.

Нетрудно видеть, что в классе чистых стратегий не существует оптимальных стратегий. Но в классе смешанных стратегий существует значение игры v^* и для любого $\varepsilon \succ 0$ (где значок $\succ$ означает доминирование) существуют $\varepsilon-$ оптимальные смешанные стратегии. Они находятся с помощью метода доминирования, развитого для бесконечных антагонистических игр [8].

Эти стратегии представляют собой атомические вероятностные меры, сосредоточенные в конечном числе точек. В зависимости от того, как соотносятся начальные ресурсы сторон и параметры, определяющие взаимодействие, возможны ситуации, при которых та или другая сторона терпит убытки. Эти соотношения можно определить, если, например, рассмотреть динамическую игру с не фиксированным временем взаимодействия для описания такого взаимодействия.

Приведем формализацию игры с фиксированным временем взаимодействия T.

Обозначим через $P[0,1]$ множество всех вероятностных мер, определенных на $\sigma-$алгебре борелевских подмножеств [0,1].

Обозначим через T множество $\{0,1,...,N_*\}$, где N_* – натуральное число.

Введем определения.

Определение 1. Чистой стратегией $u(v)$ первого (второго) игрока (или в нашем случае сторон – СЦЛЧС и ЛЗЧС) называется функция $u(v)$: $u:(v:)T\times R\times R\to R_+$, ставящая состоянию информации $(t(x,y))$ значение $u(t,(x,y))\in[0,1](v(t,(x,y))\in[0,1])$.

Определение 2. Смешанной стратегией $\mu(\eta)$ первого (второго) игрока (СЦЛЧС и ЛЗЧС) называется отображение $\mu(\eta):\mu:(\eta:)T\times R\times R\to P[0,1]$, ставящее состоянию информации $(t(x,y))$ вероятностную меру $\mu(t,(x,y))\in P[0,1](v(t,(x,y))\in P[0,1])$.

Обозначим через $K^*(\mu,\eta)$ следующую величину[12, 13]:

$$\iint\limits_{\mu,\eta} K(x(T),y(T))d\mu d\eta,$$

т.е.

$$K^*(\mu,\eta)=\iint\limits_{\mu,\eta} K(x(T),y(T))d\mu d\eta. \qquad (4)$$

Величина $K^*(\mu,\eta)$ является функцией выигрыша в смешанном расширении рассматриваемой игры с фиксированным временем взаимодействия.

Как известно [7], существует значение v^* такой игры в классе смешанных стратегий, т.е.

$$v^*=\sup_{\mu}\inf_{\eta} K^*(\mu,\eta)=\inf_{\eta}\sup_{\mu} K^*(\mu,\eta), \qquad (5)$$

и для любого $\varepsilon\succ 0$ у игроков существуют $\varepsilon-$оптимальные смешанные стратегии, которые являются вероятностными мерами, сосредоточенные в конечном числе точек. Эти точки находятся с помощью специальной процедуры. Приведем эту процедуру.

Рассмотрим строго монотонно убывающие линейные функции $y_i(.)\,(i=0,...,M-1)$ на $[0,1]$, не пересекающиеся при $x\in[0,1]$.

Введем дополнительно такие обозначения:

$$\Omega_0=\{(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\quad y>y_0(x)\},$$

$$\Omega_1=\{(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\quad y_1(x)<y\le y_0(x)\},$$

$$\Omega_i=\{(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\quad y_i(x)<y\le y_{i-1}(x)\},$$

$$i=2,...,M-1;$$

$$\Omega_M=\{(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\quad y\le y_{M-1}(x)\}.$$

Определим множества Ω_i^*.

Полагаем:

$$\Omega_0^*=\Omega_0,\quad \Omega_1^*=\Omega_1$$

или

$$\Omega_1^* = \{(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\quad y_1(x)<y\le y_0(x)\},$$

$$\Omega_i^* = \begin{cases} [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y_i(x)\le y<y_{i-1}(x)],\ or \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y_i(x)<y<y(x)],\quad if \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y=y_{i-1}(x)]\in\Omega_{i-1}^*; \\ \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y_i(x)<y\le y_{i-1}(x)],\ or \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y_i(x)\le y\le y_{i-1}(x)],\ if \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y=y_{i-1}(x)]\notin\Omega_{i-1}^*; \end{cases} \qquad (6)$$

$i=2,...,M-1;$

$$\Omega_M^* = \begin{cases} [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y<y_M(x)],\ if \\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y=y_M(x)]\in\Omega_{M-1}^*; \\ \\ \Omega_M,\ if\ [(x,y):(x,y)\in[0,1]^2,\ y=y_M(x)]\notin\Omega_{M-1}^*. \end{cases} \qquad (7)$$

Рассмотрим функцию выигрыша $K:[0,1]^2\to R$:

$$K(x,y)=\begin{cases} \alpha_0,(x,y)\in\Omega_0, \\ \dots\dots\dots\dots \\ \alpha_i,(x,y)\in\Omega_i, \\ \dots\dots\dots\dots \\ \alpha_M,(x,y)\in\Omega_M; \end{cases} \qquad (8)$$

и функцию $K^*:[0,1]^2\to R$:

$$K^*(x,y)=\begin{cases} \alpha_0,(x,y)\in\Omega_0^*, \\ \dots\dots\dots\dots \\ \alpha_i,(x,y)\in\Omega_i^*, \\ \dots\dots\dots\dots \\ \alpha_M,(x,y)\in\Omega_M^*. \end{cases} \qquad (9)$$

Произвольную $K(.)(K^*(.))$, у которой числа $\alpha_i:\alpha_0>\alpha_1,\alpha_1<\alpha_2<...<\alpha_M$ и $y_0(0)=1,\ y_0(1)>0$ назовем такой, что удовлетворяет условию $A(A^*)$.

Функцию $K(.)(K^*(.))$, у которой числа $\alpha_i:\alpha_0<\alpha_1,\alpha_1>\alpha_2>...>\alpha_M$, $y_0(0)>1,\ y_0(1)=0$ назовем такой, что удовлетворяет условию $B(B^*)$.

Положим, что функция удовлетворяет условию A.

Обозначим через $1_a^x(1_a^y)$ прямую, параллельную оси x (оси y) и проходящую через точку $(0,a)\in[0,1]^2$ $((a,0)\in[0,1]^2)$.

Запись $q(1_a^x,y_i)(0\le 1\le M-1)$ означает, что абсцисса точки пересечения прямой 1_a^x и y_i. Соответственно, $q(1_a^y,y_i)(0\le 1\le M-1)$ – ордината точки пересечения прямой 1_a^y и y_i.

Для совокупности точек введены такие обозначения:

$$\{a_0,...,a_n,...\}\subseteq[0,1],\ \{b_0,...,b_n,...\}\subseteq[0,1]:$$
$$: b_0=1,\ a_0=y_0(1),\ b_1=q\left(l^x_{a_0},y_1\right),\ a_1=q\left(l^y_{b_1},y_1\right),$$
$$b_2=\max\left\{q\left(l^x_{a_0},y_2\right),q\left(l^x_{a_1},y_1\right)\right\},$$

$$a_2=q\left(l^y_{b_0},y_0\right),$$

$$b_3=\begin{cases}\max\left\{q\left(l^x_{a_0},y_3\right),q\left(l^x_{a_1},y_1\right),q\left(l^x_{a_2},y_1\right)\right\}, & \textit{if}\ b_2=q\left(l^x_{a_0},y_2\right),\\ \max\left\{q\left(l^x_{a_0},y_2\right),q\left(l^x_{a_1},y_2\right),q\left(l^x_{a_2},y_1\right)\right\}, & \textit{if}\ b_2=q\left(l^x_{a_1},y_1\right),\end{cases}$$

$$a_3=q\left(l^y_{b_3},y_0\right),$$

и т.д.

$$b_n=\max_{b\in Q,b\prec b_{n-1}}\{b\},$$

где

$$Q=\left\{\begin{matrix}b,b\in[0,1],b=q\left(l^x_{a_i},y_j\right),\\ i\in\{0,1,...,n\text{-}1\},\ j\in\{0,1,...,M\text{-}1\}\end{matrix}\right\},$$

$$a_n=q\left(l^y_{b_n},y_0\right).$$

Определим множества $N_x\subseteq[0,1],N_y\subseteq[0,1],$ соответственно на осях (x,y) при различном расположении прямых y_i.

$N_x=\{c\},$ где $c-$произвольный из $[0,1],\ N_y=\{a_0\}\ \textit{if}\ a_0>y_1(0),$

$$N_x=\{\{b_0\},\{0\}\};\ N_y=\{\{a_0\},\{a_1\}\},\quad \textit{if}\ a_0\le y_1(0)<a_1,$$

$$N_x=\{\{b_0\},\{b_1\},\{0\}\};\ N_y=\{\{a_0\},\{a_1\},\{a_2\}\},\quad \textit{if}\ a_1\le y_1(0)<a_2,$$

$$N_x=\{\{b_0\},\{b_1\},\{b_2\},\{0\}\};\ N_y=\{\{a_0\},\{a_1\},\{a_2\},\{a_3\}\},\quad \textit{if}\ a_2\le y_1(0)<a_3,$$

………………………………………………………………………………….

$$N_x=\{\{b_0\},...,\{b_{n-1}\},\{0\}\};\ N_y=\{\{a_0\},...,\{a_n\}\},\quad \textit{if}\ a_{n-1}\le y_1(0)<a_n.$$

Утверждение 1.

Пусть функция $K:[0,1]^2\to R$ удовлетворяет условию A.

Тогда в игре $\langle X,Y,K\rangle$, где $X=Y=[0,1],$ существуют оптимальные смешанные стратегии μ^*_0,v^*_0, носителем которых является совокупность из точек N_x,N_y, соответственно.

Утверждение 2.

Пусть функция $K:[0,1]^2 \to R$ удовлетворяет условию B.

Тогда в игре $\langle X,Y,K\rangle$, где $X=Y=[0,1]$, существуют оптимальные смешанные стратегии μ_0^*, ν_0^*, носителем которых является совокупность из точек N_x, N_y, соответственно.

Отметим, чтодля функций K, которые удовлетворяют условию B, точки N_x, N_y определяются аналогично.

Утверждение 3.

Для игр с функциями выигрыша $K^*(.)$, которые удовлетворяют условию A^* или B^*, справедливо утверждение аналогичное утверждению 1.

Рассмотрим следующий класс функций.

Пусть семейство функций K_β удовлетворяет следующим условиям:

а) условию $A(A^*)$,

б) прямые $y_i(x,\beta)$, определяющие K_β, непрерывно зависят от вещественного параметра β и не пересекаются при $x \in [0,1]$;

г) попарные отношения тангенсов углов наклона прямых не зависят от β ;

Такое семейство функций будем назовем таким, что удовлетворяет условию $C(C^*)$.

Семейство функций K_β, которые удовлетворяют пунктам (б-г), а также условию $B(B^*)$, назовем таким, что удовлетворяет условию $D(D^*)$.

Обозначим через $N_{x,\beta}$, $N_{y,\beta}$ множества N_x, N_y в играх с функцией K_β.

Также обозначим через $v(\beta)$ – значение игры $\Gamma_\beta = \langle X,Y,K_\beta\rangle$.

Утверждение 4.

Имеется семейство игр $\Gamma_\beta = \langle X,Y,K_\beta\rangle$, $X=Y=[0,1]$, $K_\beta:[0,1]^2 \to R$, K_β – удовлетворяет условию C.

Пусть $\beta^*: N_{y,\beta^*} \cap \{y_0(0,\beta^*),\dots,y_{M-1}(0,\beta^*)\} = \varnothing$.

Тогда существует $V(\beta^*,\rho) = \{\beta: |\beta-\beta| \prec \rho,\ \rho \succ 0\}: \forall\ \beta \in V(\beta,\rho)$ выполняется $v(\beta)=v(\beta^*)$.

Утверждение 5.

Пусть K_β удовлетворяет условию D и $\beta^*: N_{y,\beta^*} \cap \{x_0(0,\beta^*),\dots,x_{M-1}(0,\beta^*)\} = \varnothing$,

где $x_i(0,\beta^*)$– абсцисса точки пересечения прямой $y_i(.,\beta^*)$ с осью x.

Тогда существует $V(\beta^*,\rho) = \{\beta: |\beta-\beta^*| \prec \rho,\ \rho \succ 0\}: \forall\ \beta \in V(\beta^*,\rho)$ выполняется $v(\beta)=v(\beta^*)$.

Утверждение 6.

Имеется семейство игр $\Gamma_\beta = \langle X,Y,K_\beta\rangle$, $X=Y=[0,1]$, K_β – удовлетворяет условию C, функции $y_i(0,\beta), x_i(0,\beta)(i=1,\dots,M-1)$ возрастающие функции β.

Тогда для любого значения функции β^* существует полуокрестность $V(\beta^*,\rho) = \{\beta: 0 \le \beta-\beta^* \prec \rho,\ \rho \succ 0\}: \forall\ \beta \in V(\beta^*,\rho)$ и выполняется равенство $v(\beta)=v(\beta^*)$.

Приведенные результаты являются инструментами решения задачи с фиксированным временем взаимодействия сторон, принимающих участие в ликвидации ЧС, и решающие задачу по распределению ФМР выделяемых на ликвидацию.

Решение состоит в последовательном решении некоторых бесконечных антагонистических игр с разрывными функциями выигрыша на единичном квадрате.

Представляет особый интерес случай, когда $T = 1$, т.е. игроки совершают один шаг. В этом случае во взаимодействии существуют оптимальные смешанные стратегии μ^*, η^*, сосредоточенные в конечном числе точек. Причем в этих точках значения вероятностной меры одинаковое, то есть если таких точек m, то в этих точках значения вероятностной меры равны $(1/m)$.Для нашей постановки задачи (впрочем, и для аналогичных задач) существует конструктивный метод нахождения этих точек.

В рамках данного исследования рассмотрим более подробно случай $T = 1$.

С учетом динамики взаимодействия игроков функцию выигрыша $K(x(T), y(T))$ можно записать в следующем виде:

$$K((x(0),u(0)),(y(0),v(0))) = \\ = \begin{cases} 1, \begin{cases} r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \cdot v(0) \le -g_1 \cdot x(0) \cdot u(0) + g_1 \cdot x(0), \\ r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \cdot v(0) \succ r_2 \cdot r_1 \cdot x(0) \cdot u(0) + r_2 \cdot g_2 \cdot y(0), \end{cases} \\ -1, \begin{cases} r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \cdot v(0) \succ -g_1 \cdot x(0) \cdot u(0) + g_1 \cdot x(0), \\ r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \cdot v(0) \le r_2 \cdot r_1 \cdot x(0) \cdot u(0) + r_2 \cdot g_2 \cdot y(0), \end{cases} \end{cases} \tag{10}$$

$$K((x(0),u(0)),((y(0),v(0)) = 0, else. \tag{11}$$

При различных соотношениях параметров игры находятся оптимальные смешанные стратегии μ^*, η^* и области в пространстве $(x(0), y(0))$, в которых значение игры v^* принимает постоянное значение. Запись для значений игры v^* в этих областях выглядит следующим образом.

Случай $r_1 \cdot r_2 \prec 1$.

В случае $r_1 \cdot r_2 \ge 1$ запись для значения игры отличается лишь записью области в пространстве финансовых ресурсов игроков, в которой $v^* = 0$. Эта область будет записываться так:

$$y(0) \ge 0, r_1 \cdot g_1 \cdot x(0) \ge g_2 \cdot y(0), r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \ge g_1 \cdot x(0). \tag{12}$$

Оптимальными смешанными стратегиями игроков будут являться вероятностные меры с носителями, состоящими из конечного числа точек. При этом, если значение игры равно $\pm 1/k$, то носитель таких вероятностных мер насчитывает k точек. В точках значение вероятностной меры каждого игрока равно $1/k$.

Приведем запись для точек носителя этих вероятностных мер в случае, когда значение игры является положительным. Если значение игры равно $1/k$, то запись точек носителя оптимальных смешанных стратегий такая:

$$
\begin{aligned}
&u_1^* = 1-(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0))/(g_1 \cdot x(0)), v_1^* = 1,\\
&u_2^* = [1+r_1 \cdot r_2]\cdot[1-(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0))/(g_1 \cdot x(0))], v_2^* =\\
&= (1+r_1 \cdot r_2)-(r_1 \cdot g_1 \cdot x(0)/(g_2 \cdot y(0)),\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&u_k^* = [1+\dots+(r_1 \cdot r_2)^{k-1}]\cdot[1-(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0)/(g_1 \cdot x(0)], v_k^* =\\
&= [1+\dots+(r_1 \cdot r_2)^{k-1} - [1+\dots+(r_1 \cdot r_2)^{k-2}]\cdot\\
&(r_1 \cdot g_1 \cdot x(0)/(g_2 \cdot y(0)); k \ge 3.
\end{aligned}
\tag{13}
$$

Если значение игры отрицательное, то запись для точек носителя оптимальных смешанных стратегий симметрична. А именно надо поменять индекс 1 на 2 и переменные $x(0)$ на $y(0)$, u_k^* на v_k^*.

В случае, когда $v^* = 0$ существуют оптимальные чистые стратегии.

При
$r_1 \cdot r_2 \prec 1, g_1 \cdot x(0) \ge r_2 \cdot g_2 \cdot y(0), g_2 \cdot y(0) \ge$
$\ge r_1 \cdot g_1 \cdot x(0);$

$$
\begin{aligned}
&u_1^* = [1/(1-r_1 \cdot r_2)]\cdot[1-(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0)/(g_1 \cdot x(0))],\\
&v_1^* = [g_1 \cdot x(0)/(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0))]\cdot[1-(1/(1-r_1 \cdot r_2))\cdot\\
&(1-(r_2 \cdot g_2 \cdot y(0))/(g_1 \cdot x(0)))].
\end{aligned}
\tag{14}
$$

Таким же образом определяются оптимальные чистые стратегии и при

$$
r_1 \cdot r_2 \succ 1, r_1 \cdot g_1 \cdot x(0) \ge g_2 \cdot y(0), r_2 \cdot g_2 \cdot y(0) \ge g_1 \cdot x(0);
\tag{15}
$$

При $r_1 \cdot r_2 = 1$ оптимальными чистыми стратегиями игроков являются $u_1^* = 0, v_1^* = 0.$

Таким образом, при T = 1 найдены оптимальные смешанные стратегии игроков и значение игры при всех соотношениях параметров и начальных финансово-материальных ресурсах игроков (сторон СЦЛЧС и ЛЗЧС).

После нахождения оптимальных смешанных стратегий игроков в игре с функцией выигрыша $K^*(\mu,\eta)$, найдем математическое ожидание $My(1)$ при применении игроками этих оптимальных смешанных стратегий и стандартное уклонение D случайной величины $y(1)$ от математического ожидания. Возможны различные варианты выбора величины ФМР руководителем СЦ (ЛПР) для ликвидации техногенной аварии или ЧП на ЖДТ.

1) $My(1) \ge 0, My(1) - D \ge 0.$

В этом случае ЛПР в СЦ может зарезервировать в качестве ФМР величину ресурсов, равную D.

Вероятность того, что ресурса не хватит, будет равна $P(\omega : y(1,\omega) \prec 0).$

2) $My(1) \ge 0, My(1) - D \prec 0.$

В этом ЛПР в СЦ может зарезервировать в качестве ФМР величину ресурсов равную $My(1)$.

Вероятность того, что ресурса не хватит, будет равна $P(\omega : y(1,\omega) \prec 0)$.

3) $My(1) \prec 0, My(1) + D \geq 0.$

В этом случае ЛПР в СЦ может зарезервировать в качестве ФМР величину ресурсов, равную $My(1) + D$.

Вероятность того, что ресурса не хватит, будет равна $P(\omega : y(1,\omega) \prec 0)$.

4) $My(1) \prec 0, My(1) + D \prec 0.$

В этом случае ЛПР в СЦ может зарезервировать в качестве ФМР величину ресурсов, равную W, где W – максимальное значение случайной величины $y(1)$, при условии, что $W>0$ и что есть возможность определить величину W. Вероятность того, что ресурса не хватит, будет равна $P(\omega : y(1,\omega) \prec 0)$.

Если $W \leq 0$, то при таких начальных ФМР с вероятностью *1*, (при невозможности определения величины V, где V – минимальное значение случайной величины $y(1)$) на ликвидацию ЧС не хватит.

Если же величину V можно определить, то руководитель СЦ может выбрать абсолютное значение этой величины. И с вероятностью *1* гарантирует себе ликвидацию техногенной аварии или ЧС на ЖДТ.

Отметим, что вероятность того, что ФМР не хватит, меньше всего в первом варианте. Во втором варианте меньше, чем в третьем варианте. А в третьем варианте меньше, чем в четвертом варианте.

Можно рассмотреть игру с не фиксированным временем взаимодействия. В этом направлении наши исследования продолжаются. В этом случае можно найти множества предпочтительности игроков. Тогда, зная ФМР одной из сторон, можно найти ресурс другой стороны, при котором первая сторона (игрок) не сможет своими «действиями» привести второго игрока к потере его ресурса.

Определив оптимальные смешанные стратегии в одношаговом взаимодействии, можно найти средние убытки (математическое ожидание убытков) второй стороны (ЛЗЧС), если имеется такое соотношение начальных ресурсов и параметров взаимодействия.

Кроме того, можно определить стандартное уклонение от математического ожидания убытков. И тогда, рассмотрев сумму абсолютной величины математического ожидания и стандартного уклонения, получим величину ФМР, которая гарантирует (с некоторой вероятностью) поддержание ситуации в зоне ликвидации ЧС на ЖДТ на положительном финансовом уровне при применении первой стороной оптимальной стратегии.

Эта величина ФМР и будет основной рекомендацией руководителю, который занимается вопросами ликвидации ЧС на ЖДТ.

Выводы.

Таким образом, описана математическая модель для системы поддержки принятия решений для выработки рекомендаций ситуационным центром по ликвидации чрезвычайной ситуации и ликвидаторам, работающим непосредственно на месте аварии или в зоне чрезвычайной ситуации. Получена модель, позволяющая автоматизировать получение прогнозных оценок для различных вариантов распределения финансово-материальных ресурсов, расходуемых на ликвидацию чрезвычайной ситуации и ее последствий. Модель базируется на решении бесконечной антагонистической игры качества с разрывными функциями выигрыша. Отличительной чертой нашей модели является то, что для определения оптимальных смешанных стратегий предложен конструктивный метод их нахождения.

Литература

1. Медведев В. И., Тесленко И. О., Калиниченко Е. А. Новые аварийные карты для предупреждения ликвидации чрезвычайной ситуации с опасными грузами на железной дороге. / Международный семинар на тему «Ранние предупреждения и кризисы / Управление стихийными бедствиями и чрезвычайными ситуациями». – 2010. – С. 28-29.

2. Кацман М., Кривопишин О., Лапин В. (2011). Математические модели системы поддержки принятия решений для начальника отдела пожаротушения на железных дорогах. // Надежность: Теория и приложения. – 2011. – №6(3 (22)).

3. Monoši M. & Ballay M. (2014). Analysis of risks and technical securing of rescue services at traffic accidents on railway crossing. Advances in Fire, Safety and Security Research 2014 i Editors note, 121.

4. János B. E. N. Y. E. The role of information of the population in elimination of accidents involving dangerous substances. // Hadmérnök. – 2017. – Vol. 12, Issue 1. – P. 50-57.

5. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В., Козодой Д.С., Барбашина В.В. Оценка аварийных событий при перевозке опасных грузов в условиях техногенной нагрузки в регионах. Прогресс науки и транспорта. // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2018. – №. 3 (75). – С. 27-35.

6. Ахметов Б., Лахно В. Система поддержки принятия решений в слабо формализованных задачах обеспечения транспортной кибербезопасности // Журнал теоретических и прикладных информационных технологий. – 2018. – Том 96, выпуск 8. – С. 2184-2196.

7. Лахно В., Милюков В., Герасимчук Н., Шулер И. Разработка системы поддержки принятия решений для управления процедурой финансового инвестирования // Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий. – 2017. – Т. 6, Исс. 3-90. – С. 35-41. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.119259.

8. Малюков В.П. Конфликтное взаимодействие экономических моделей // Кибернетика. – 1979. – Том 15, Исс. 6. – С. 867-875. – DOI: 10.1007/BF01069398.

9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польск. / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

10. Karacı A. Performance Comparison of Managed C# and Delphi Prism in Visual Studio and Unmanaged Delphi 2009 and C++ Builder 2009 Languages. // International Journal of Computer Applications. – 2011. – №. 26(1). – P. 9-15.

11. Осипов Д. Delphi. Профессиональное программирование. – СПб.: Символ-Плюс, 2006. – 1056 с.

12. Дарахвелидзе П. & Марков Е. Программирование в Delphi 7. – СПб.: БХв-Петербург, 2003. – 784 с.

13. Ахметов Б.С., Ахметов Б.Б., Лахно В.А., Малюков В.П. Адаптивная модель управления процедурой взаимного финансового инвестирования в системах кибербезопасности ситуационного транспорта // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия Геолого-технических наук. – 2019. – Том 3, Исс. 435. – С. 159-172.

References

1. Medvedev V.I., Teslenko I.O. & Kalinichenko E.A. New emergency cards for the prevention on liquidation of extreme situation with dangerous goods on the railway. // In International Workshop on «Early warning and crises/disaster and emergency management. – 2010. – P. 28-29.

2. Katsman M., Kryvopishyn O. & Lapin V. (2011). Mathematical models of decision support system for the head of the firefighting department on railways. Reliability: Theory & Applications, 6(3 (22)).

3. Monoši M. & Ballay M. (2014). Analysis of risks and technical securing of rescue services at traffic accidents on railway crossing. Advances in Fire, Safety and Security Research 2014 i Editors note, 121.

4. János B. E. N. Y. E. The role of information of the population in elimination of accidents involving dangerous substances. // Hadmérnök. – 2017. – Vol. 12, Issue 1. – P. 50-57.

5. Buts Y.V., Kraynyuk E.V., Kozodoy D.S. & Barbashin V.V. Evaluation of emergency events at the transportation of dangerous goods in the context of the technogenic load in regions. Science and Transport Progress. //Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2018. – №. 3 (75). – P. 27-35.

6. Akhmetov B., Lakhno V. System of decision support in weakly formalized problems of transport cybersecurity ensuring // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. – Volume 96, Issue 8. – P. 2184-2196.

7. Lakhno V., Malyukov V., Gerasymchuk N., Shtuler I. Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6, Iss. 3-90. – P. 35-41. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.119259.

8. Malyukov V.P. Conflict interaction of economic models // Cybernetics. – 1979. – Vol. 15, Iss. 6. – P. 867-875. – DOI: 10.1007/BF01069398.

9. Osovsky S. Neural networks for information processing: trans. from Polish. Osovsky. - M.: Finance and Statistics, 2002. - 344 p.

10. Karacı A. Performance Comparison of Managed C# and Delphi Prism in Visual Studio and Unmanaged Delphi 2009 and C++ Builder 2009 Languages. // International Journal of Computer Applications. – 2011. – №. 26(1). – P. 9-15.

11. Osipov D. Delphi. Professional programming. – St. Petersburg: Symbol-Plus, 2006 – 1056 p.

12. Darakhvelidze P. & Markov E. Programming in Delphi 7. – St. Petersburg: BHv-Petersburg, 2003. – 784 p.

13. Akhmetov B.S., Akhmetov B.B., Lakhno V.A., Malyukov V.P. Adaptive model of mutual financial investment procedure control in cybersecurity systems of situational transport // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2019. – Vol. 3, Iss. 435. – P. 159-172.

АХМЕТОВ Б.С. – т.ғ.д., профессор (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

АБУОВА А.Х. – PhD докторы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

ТЕМІР ЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫ ЖОЮҒА БӨЛІНЕТІН ҚАРЖЫ-МАТЕРИАЛДЫҚ РЕСУРСТАРДЫ БӨЛУ ЖӨНІНДЕ ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ АРНАЛҒАН ҮЛГІ

Аңдатпа

Шешім қабылдау процестерін оңтайландыру арқылы техногендік авариялардың немесе теміржол көлігіндегі төтенше жағдайлардың теріс салдарын азайтуға болады. Бұл аварияға дейінгі кезеңге де, сондай-ақ тікелей аварияның немесе төтенше жағдайдың салдарын жою кезіне де қатысты.

Мұндай жағдайда сапалы шешім қабылдау үшін темір жол көлігіндегі техногендік авариялардың немесе төтенше жағдайлардың салдарын жою міндеттерінде шешімдер *қабылдауды қолдаудың зияткерлендірілген жүйелерін қолдану жеткілікті шарт болуы мүмкін. Мәселелерді құрылымдауға, модельдерге және оларды шешу әдістеріне негізделген тиісті әдістер мен бағдарламалық қамтамасыздандырудың осындай автоматтандырылған шешім қабылдау жүйелерін жасау өзекті міндет болып қала береді.*

Түйінді сөздер: *теміржол көлігі, төтенше жағдайлар, апаттың салдарын жою, зияткерлік жүйелер, математикалық модельдер.*

AKHMETOV B.S. – d.t.s., professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)
ABUOVA A.Kh. – PhD (Almaty, Kazakh university ways of communications)

A MODEL FOR DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE ALLOCATION OF FINANCIAL AND MATERIAL RESOURCES ALLOCATED FOR THE ELIMINATION OF EMERGENCIES IN RAILWAY TRANSPORT

Abstract

It is possible to reduce the scale of negative consequences of man-made accidents or emergencies in railway transport by optimizing decision-making processes. This applies both to the pre-accident period, and directly to the time of elimination of the consequences of an accident or emergency.

A sufficient condition for making a high-quality decision in this situation can be the use of intelligent decision support systems in the tasks of eliminating the consequences of man-made accidents or emergencies in railway transport. The development of appropriate methods and software for such automated decision support systems based on the structuring of tasks, models and methods of their solution remains an urgent task.

Keywords: *railway transport, emergency situations, emergency response, intelligent systems, mathematical models.*

УДК 656.25

ШИНЫКУЛОВА А.Б. – докторант PhD (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)
УМБЕТОВ У. – д.т.н., профессор (г. Туркестан, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави)

ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ТУРИЗМЕ

Аннотация

Систематизировано содержание иерархического подхода в управлении, формализация и обоснование его основных положений. Произведена разработка методов построения математических моделей производственных объектов в сфере туризма. Предложены эффективные методы иерархической идентификации и метод селекции, представляющие практический интерес с учетом современных тенденций в области моделирования рыночных механизмов менеджмента и управления производственными