

Я. ДАЮБ

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РИСКОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Анализируется информационная среда при перевозке грузов повышенной опасности, при этом производится моделирование информационной среды для поддержки принятия решений. Вводится понятие микроситуации. Строится модель принятия решения на основании количественных и качественных характеристик микроситуации.

Введение

В настоящее время задача управления транспортными объектами повышенной опасности в условиях неопределенности возникновения транспортных происшествий является все более актуальной. Данная задача включает моделирование маршрутных перевозок, оптимизацию принятия решений в условиях неопределенности, разработку информационной среды для поддержки принятия решений в области перевозок грузов повышенной опасности.

Организация безопасных маршрутов опасных грузов в случае возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) является важнейшей задачей управления на транспорте, которая требует переосмысления методов и подходов к решению данной задачи, а также применения новейших достижений в области информационных технологий.

Цель исследования – разработать динамическую модель транспортной задачи, направленную на принятие оперативных, тактических и стратегических решений, снижение потерь и рисков при возникновении чрезвычайных ситуаций на маршруте прохождения объектов с опасными грузами.

1. Постановка динамической транспортной задачи

Решение задачи направлено на изменение маршрута движения опасных грузов (ОГ) в связи с возникновением на пути следования чрезвычайных ситуаций в целях минимизации затрат времени, материальных ресурсов, минимальных рисков и обеспечения прогнозирования развития сценариев (ЧС).

Для оценки эффективности предлагаемых решений за базовый критерий можно принять математическое ожидание $M_{\langle i...j \rangle} [Y]$ количества потерь от ЧС при перевозке ОГ. Таким образом, решение динамической транспортной задачи минимизации рисков может быть сведено к минимизации математического ожидания количества потерь $M_{\langle i...j \rangle} [Y]$. Данный критерий также может быть использован для оценки рисков от возможных ЧС на маршруте, представленном транспортным графом $G(V, E)$ в течение заданного интервала времени t . Таким образом, динамическая транспортная задача многокритериальной оптимизации с учетом рисков в течение заданного интервала времени t на маршруте $\langle i...j \rangle$ может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 M_{\langle i...j \rangle} [Y] &= \sum_{l \in \langle i...j \rangle} M_l [Y] \rightarrow \min, \\
 t(\langle i...j \rangle) &\rightarrow \min, \\
 \max P(l) &\rightarrow \min, \\
 M_l [Y] &= \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^1(\tau) Y_{ab}^1 + \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^2(\tau) Y_{ab}^2 + \sum_{v=1}^n Q_v(\tau) Y_v, \\
 \langle i...j \rangle &\in G(V, E); \\
 \forall l \in E: P(l) &= Q_{ab}^1 + Q_{ab}^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $a = \overline{1, m}$ – количество типов возможных ЧС: авария ($a=1$), несчастный случай ($a=2$), пожар ($a=3$) и т.д. – форм получения прямых и косвенных потерь ресурсов (людей, времени, различных средств); $b = \overline{1, k}$ – количество предвидимых сценариев возникновения и развития разных типов событий (как правило, с наибольшей вероятностью и наиболее тяжелыми последствиями); Q_{ab}^1, Q_{ab}^2 – вероятность возникновения в момент времени t события конкретного вида и Y_{ab}^1, Y_{ab}^2 – обусловленный им размер прямых и косвенных потерь; $v = \overline{1, n}$ – число непрерывных видов ЧС и/или систематических вредных энергетических (шум, вибрация, электромагнитные излучения) и материальных (отравляющие вещества, отходы) технологических выбросов; Q_v – вероятность появления в момент времени t каждого типа непрерывных или систематических вредных выбросов; Y_v – размер возможных от них прямых и косвенных потерь.

2. Моделирование информационной среды для поддержки принятия решений при перевозке грузов повышенной опасности

Процесс принятия решения по управлению транспортными потоками состоит из ряда фаз: стратегической, тактической и оперативной. В данной статье рассматривается оперативная фаза управления – возникновение чрезвычайной ситуации, влекущей за собой невозможность следования установленному маршруту.

Процесс принятия решений по управлению транспортными потоками в случае возникновения чрезвычайной ситуации $S_t = S(x)$, где $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ – количественные и качественные параметры условий транспортирования (характеристики транспорта, дороги, метеорологических условий, параметры, которые характеризуют ЧС), связан со следующими видами информации: множеством микроситуаций $\{S_i\}, i = \overline{1, m}, S_i = S(x_\alpha), \alpha = \overline{1, p}$, отражающих априорную информацию о подобных чрезвычайных ситуациях $\{S_j\}, j = \overline{1, n}$, для ликвидации которых были приняты наиболее удачные решения в смысле удовлетворения заданным критериям оценки принятых мер [1]; множеством решений $\{\gamma_\alpha\}, \alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_1, \dots, \alpha_m$ и множеством возможных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций $\{S_j\}, j = \overline{1, n}$. Каждая совокупность $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ характеризует какую-либо физическую сторону микроситуации, например, маршрут, скорость движения, количество типов опасных грузов (рис. 1).

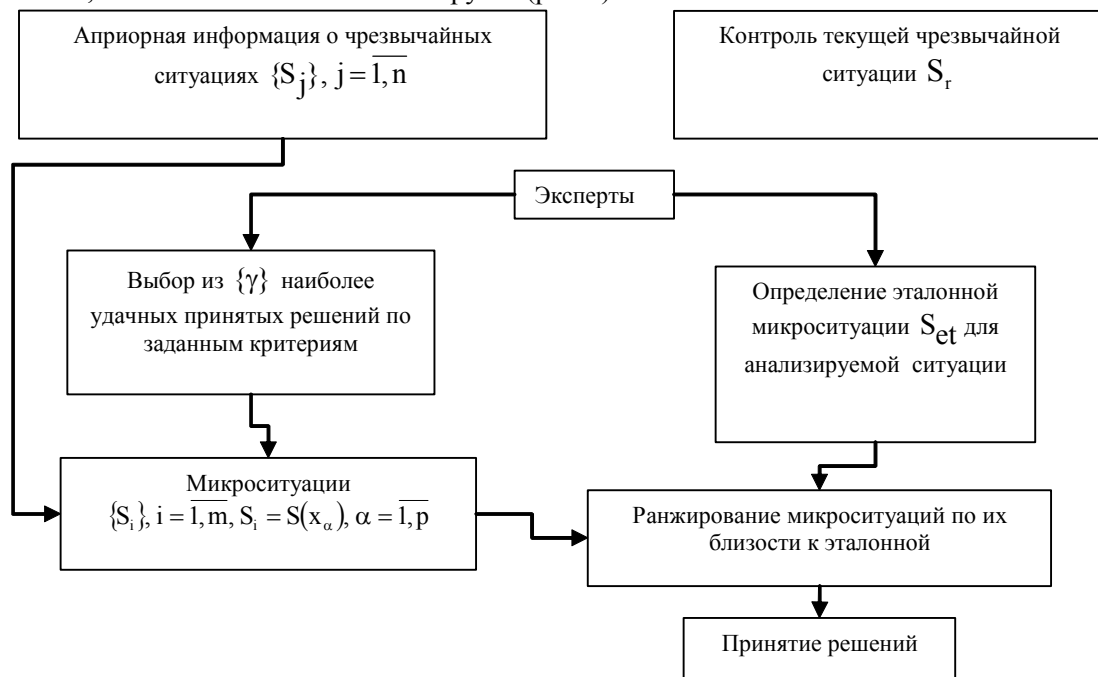


Рис. 1. Основные этапы обработки информации для принятия решений

Модель оптимизации принятия решений в условиях неопределенности рисков возможных сценариев возникновения ЧС представлена формулой:

$$\min_{D(\gamma/S_i, \bar{C})} R_{\bar{C}} = \min_{D(\gamma/S_i, \bar{C})} \sum_{\alpha=1}^r \sum_{i=1}^r q(S_i, \gamma_{\alpha}) P(\gamma_{\alpha}/S_i), \quad (2)$$

где $D(\gamma/S_i, \bar{C})$ – структура модели, представленная набором решающих правил; $\bar{C} = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ – параметры модели; $P(\gamma_{\alpha}/S_i)$ – вероятность принятия решения $\{\gamma_{\alpha}\}$ в возможном сценарии возникновения ситуации; (S_i, γ_{α}) – элементы повышенного риска, возникающие при принятии решения $\{\gamma_{\alpha}\}$ в ситуации S_k ; $q(S_k)$ – априорная вероятность ситуации S_k [1].

Критерий эффективности (2) существенно зависит как от свойств признаков $\{x\}$, по которым принимаются решения $\{\gamma\}$, так и от алгоритмов принятия решений $D(\gamma/x)$.

Если бы никакой информации о признаках не поступало, то процесс принятия решений можно охарактеризовать следующими начальными рисками:

$$R^0 = \sum_{l=1}^r \sum_{k=1}^r q(S_k) \Pi(S_k, \gamma_l). \quad (3)$$

Пусть имеется в наличии совокупность информативных признаков $\{x\} = \{\bigcup_{i=1}^N x_i\}$, которые можно в дальнейшем использовать для распознавания возможных сценариев возникновения чрезвычайных ситуаций, и известны совместные распределения $W(x/S)$ этих признаков в различных ситуациях. Тогда разность между начальным R^0 и минимальным риском, полученным путем выбора оптимального алгоритма распознавания $D(\gamma/x)$, можно рассматривать как «ценность информации», которую несут N признаков:

$$F(\bigcup_{i=1}^N x_i) = R_0 - \min_{D(\gamma/\{x\})} R\{\Pi q(s), W(x/S)\}. \quad (4)$$

Выбор решения γ_i в момент $t[n]$ фиксирует состояние системы в момент $t[n+1]$. Этим самым модель приобретает способность к прогнозированию. Тогда для ближайшей к эталонной микроситуации S_{et} априорная микроситуация $\{S_j\}, j=1, n$ будет соответствовать наилучшему решению $\gamma(t_j)$ в момент времени t_j при $i \leq j < i = n$. Модель $\bar{C}(t)$ предлагает возможный сценарий развития чрезвычайной ситуации S_k , которой соответствует $\gamma(t_j)$.

В соответствии с этим сценарием принимаются решения $\gamma_i(t_i)$ о проведении мероприятий $\Gamma_l \in \{\Gamma\}$, результатом которых возможно получение решения:

$$\{\gamma_1^*(t_j), \gamma_2^*(t_j), \dots, \gamma_n^*(t_j)\} = \{\gamma_m^*(t_j)\} \in \{\gamma(t_j)\}.$$

Поскольку $\gamma_p(t) \in \{\gamma(t)\}$, где $p = 1, n$, то значения решения $\{\gamma_m^*(t_j)\}$, полученного на $(j-1)$ -м такте экстраполяции, изменятся на $\gamma(t_{j+1})$.

При оперативном управлении состав критериев и ограничений зависит от конкретного сценария возникновения чрезвычайной ситуации S_r и выбора решения γ_r . Поэтому каждое решение γ_r полностью определяется тройкой $\gamma_r \Rightarrow \langle \{f_1^r\}, \bar{a}^r, \bar{A}^r \rangle$, где $\{f_1^r\}$ – множество критериев, используемых ЛППР в сценарии возникновения чрезвычайной ситуации S_r ; \bar{a}^r – вектор весов или приоритеты критериев; \bar{A}^r – ограничения, имеющиеся в сценарии возникновения чрезвычайной ситуации S_r [3,4].

Построение вектора весов критериев $\bar{a}^r = \{\bar{a}_1^r, \bar{a}_2^r, \dots, \bar{a}_i^r\}$ в сценарии возникновения чрезвычайной ситуации S_r осуществляется с помощью алгоритма обучения. На этапе обучения ЛПР реализует процедуру преобразования, т.е. построения своей функции предпочтения в ситуации S_r : $F^r = \sum_i a_i^r f_i^r(X)$, где $\sum_i a_i^r = 1$.

Решение задачи в сценарии возникновения чрезвычайной ситуации S_r сводится к следующей задаче математического программирования: определить

$$\text{extr}_X \sum_i a_i^r f_i^r(X) \text{ при } \{\bar{A}^r\} \quad (5)$$

Информационная технология, направленная на оценку рисков перевозки опасных грузов, включает в себя схему взаимодействия банка данных сценариев ЧС с базами данных (БД) при управлении перевозками опасных грузов с минимальными рисками. Множество решений $\{\gamma\}$ определяет допустимые действия над реализациями конкретной БД для преобразования её в другую реализацию, и может рассматриваться как функции, определенные на множестве состояний базы данных.

3. Построение модели ранжирования и классификации микроситуаций

Система представляет собой ориентированный граф, имитирующий дорожно-транспортную сеть, транспортное средство, перемещающееся по ней, погодные условия и объекты повышенной опасности. Множество возможных решений состоит из всевозможных вариантов скоростного режима, направлений движения внутри дуг и соответственно выбираемых дуг (если транспорт находится в точке перемены маршрута). Множество сценариев S представляет собой всевозможные конечные наборы последовательных микроситуаций, где начальной микроситуацией является нахождение транспортного средства в стартовой точке с текущими параметрами системы, а конечной, соответственно, либо нахождение в конечной точке, либо попадание в чрезвычайную микроситуацию. Чрезвычайной считается такая микроситуация, в которой уровень риска превышает допустимые значения.

Таким образом, каждой микроситуации ставится в соответствие некоторый конечный набор решений $\{\gamma\}$, каждое из которых даёт нам конечное число возможных сценариев дальнейшего развития ситуации. В соответствии с полученными сценариями выделяется оптимальное решение, которое характеризуется множеством критериев, вектором весов и ограничениями множества возможных решений во время поиска оптимального.

Сценарии и вероятности перехода из микроситуации в микроситуацию определяются либо экспертно, либо путем использования статистических данных о предыдущих маршрутах и микроситуационных последовательностях.

Вектор весов строится с помощью алгоритма обучения.

Вектор ограничений задаётся исходя из ограничений на управляемые параметры системы (такие, как скоростной режим, направление движения и тому подобные).

Выделим критерии, которыми пользуется ЛПР при выборе оптимального решения. Имеем три основных: риск чрезвычайной ситуации, риск дорожно-транспортного происшествия и риск ограбления. Все три критерия зависят от параметров системы и могут быть вычислены для каждой микроситуации и, соответственно, для каждого решения. Помимо параметров системы в вычислении критериев используются априорные вероятности всех трёх видов рисков в виде интервальных оценок [5].

Поскольку решается задача $\text{extr}_X \sum_i a_i^r f_i^r(X)$ при $\{\bar{A}^r\}$, рассмотрим детально вектор

критериев. Обозначим критерии f_A, f_E, f_R для ДТП, чрезвычайной ситуации и ограбления соответственно. Априорные вероятности – Q_A, Q_E, Q_R соответственно. Вектор значений погодных переменных обозначим $\bar{W}t$, кумулятивный коэффициент посещений, отвечающий за статистику прохождения транспортом данной точки K_R , время t и пройденный

путь обозначим s . Кроме того, введём понятие объекта ЧС. Данный тип объектов будет представлять собой некоторую зону, внутри которой он будет оказывать влияние на параметры микроситуаций согласно экспертно определённой функции в зависимости от собственной специфики и от априорных параметров микроситуации. Обозначим его E .

Таким образом, мы описали все факторы, которые будут формировать отношение предпочтения для множества решений в каждой из микроситуаций.

Каждая микроситуация имеет набор параметров, значимость их зависит от конкретного сценария возникновения ЧС выбора решений S_r . Перечислим их: качество дорожного покрытия, сложность участка дороги, наличие объектов повышенной опасности, время суток, вектор погодных условий (температура, давление, влажность и тому подобные), окружающий рельеф, уровень преступности, загруженность трассы, видимость, состояние дорожного покрытия. Эти параметры различным образом связаны друг с другом и используются для расчёта критериев.

Находясь в микроситуации S_r , мы решаем следующую задачу математического программирования:

$$\text{extr}_{\{Y_r\}} = \alpha_A f_A^r(\beta_A \times (Q_A, E, t, s, \overline{Wt})) + \alpha_E f_E^r(\beta_E \times (\overline{Wt}, E, Q_E)) + \alpha_R f_R^r(\beta_R(Q_R, K_R)) \quad (6)$$

при ограничениях $\{A_r\}$. Здесь $\beta_A, \beta_E, \beta_R$ – векторы весов факторов.

Декомпозировав факторы до параметров, получаем следующую задачу:

$$\text{extr}_{\{Y_r\}} = \alpha(f_A(\beta_A(Q_A, \text{OHD}, E, \overline{Wt}, \text{Rd}, t, s)), f_E(Q_E, \text{OHD}, E, \overline{Wt})), f_R(\beta_R(Q_R, \text{Hist}, \text{CR})). \quad (7)$$

Здесь Rd , Rq – сложность участка дороги и качество дорожного покрытия соответственно; OHD – объекты повышенной опасности; Hist – история посещений; CR – уровень преступности.

Таким образом, мы выделили критерии выбора решений и конкретизировали задачу (6) до задачи (7).

Введем на множестве микроситуаций метрику. Пусть $\overline{\text{Par}}$ есть вектор всех значимых параметров из (7). Тогда расстояние между двумя микроситуациями может быть получено как взвешенная с вектором весов \overline{M} евклидова метрика между векторами их параметров. Исходя из метрики, можно построить множество экстремальных микроситуаций и оценить степень чрезвычайности каждой конкретной ситуации на основании расстояния между рассматриваемой и эталонной экстремальной ситуацией, что поможет ограничить область поиска решений на более ранних этапах.

4. Прогнозирование рисков развития ЧС в транспортной сети

Для решения задачи прогнозирования рисков предлагается рассмотреть транспортную сеть с потенциально опасными участками. В качестве математической модели такой сети логично использовать граф, заданный матрицей инцидентности. Для упрощения модели будем считать все дуги двунаправленными. Вероятность возникновения опасной ситуации (ОС) не зависит от направления движения по дуге.

Предполагается, что априорные вероятности возникновения ОС, рассматриваемых автономно, известны или могут быть вычислены путем статистического анализа имеющихся данных. Таким образом, перед ЛПР ставится задача оценки дополнительной вероятности возникновения опасных ситуаций, рассматриваемых как результат возникновения других ЧС.

Информационная технология расчета рисков возникновения ЧС при транспортировке грузов повышенной опасности для транспортной сети QN_1 включает в себя следующие шаги.

- Шаг 1. Получение обобщенных данных по грузопотокам. Эти данные включают в себя:
- объемы входных и выходных потоков по конечным элементам транспортной сети (источники и получатели грузов) за единицу времени. Для получения достоверного прогноза рекомендуется брать этапы не меньше 1 года;
 - матрицу инцидентности сети;

– маршруты транспортировки грузов либо список узлов, обслуживание которых включает в себя элементы повышенного риска.

Шаг 2. Расчет фиктивных потоков по каждой дуге сети на основании данных, полученных на шаге 1. На этом этапе производится оценка – может ли транспортная сеть при данной конфигурации обеспечить надежное обслуживание/транспортировку грузов.

Шаг 3. Формирование списка возможных сценариев ЧС для входного и выходного грузопотока каждого узла сети.

Далее, для каждого из возможных сценариев возникновения ЧС, каждого маршрута и каждой дуги производятся следующие расчеты согласно шагам 4-13.

Шаг 4. Получение характеристик транспортного потока:

m – количество типов ОГ в выходном потоке;

n – количество типов ОГ во входном потоке;

m_c – количество известных сценариев возникновения ЧС в выходном потоке;

n_c – количество известных сценариев возникновения ЧС во входном потоке.

Обращаем внимание, что $m \leq m_c, n \leq n_c$, так как одному грузу может соответствовать более одного сценария возникновения ЧС: $N_1 \dots N_m$ – объемы перевозок соответствующих типов ОГ в единицу времени в выходном потоке; $M_1 \dots M_n$ – объемы перевозок соответствующих типов ОГ в единицу времени во входном потоке.

Шаг 5. Получение либо расчет на основе статистики априорных вероятностей возникновения ЧС для различных грузов в выходном ($QN_1 \dots N_{m_c}$) и входном ($QM_1 \dots QM_{n_c}$) потоках.

Шаг 6. Получение статистически значимых параметров транспортной сети. Значимость параметров может определяться исходя из специфики задачи прогнозирования. В целях упрощения задачи будем рассматривать только универсальные для любой задачи характеристики:

– L – протяженность транспортной сети;

– $V_1 \dots V_m$ – средние скорости перевозки соответствующих грузов в выходном потоке;

– $W_1 \dots W_n$ – скорости перевозки грузов во входном потоке.

Шаг 7. Для каждого опасного груза рассчитываются скорости его перемещения в окрестности моделируемого узла для:

– элементов k -го типа ОГ в выходном потоке: $\tau_k^{\text{вых}} = \frac{L}{V_k}, k=1 \dots m$;

– элементов l -го типа ОГ во входном потоке: $\tau_l^{\text{вых}} = \frac{L}{W_l}, l=1 \dots n$.

Шаг 8. Построение прямой и обратной связи «ОГ – сценарий ЧС» для выходного и входного потоков: $k=1 \dots m$ – индекс типов ОГ выходного потока; $R(k)$ – множество индексов сценариев в результате ЧС с грузами k -го типа выходного потока ($1 \leq R(k) \leq m_c$); $l=1 \dots n$ – индекс типов ОГ входного потока; $R(l)$ – множество индексов сценариев в результате ЧС с грузами l -го типа входного потока ($1 \leq R(l) \leq n_c$); $i=1 \dots m_c$ – индекс сценариев (вариантов развития ЧС) выходного потока; $X(i)$ – индекс типа опасного груза, вызывающего i -й сценарий ЧС в выходном потоке ($1 \leq X(i) \leq m$); $j=1 \dots n_c$ – индекс сценариев (вариантов развития ЧС) входного потока; $Y(j)$ – индекс типа опасного груза, вызывающего j -й сценарий ЧС в выходном потоке ($1 \leq Y(j) \leq n$).

Шаг 9. Расчет плотности ОГ для имеющихся потоков (под плотностью будем понимать среднее количество элементов ОГ, находящихся на дуге)

$$n_k = \frac{N_k * \tau_k^{\text{вых}}}{T_q}$$

Таким образом, подсчитывается среднее количество элементов ОГ k -го типа выходного потока, одновременно находящегося на дуге, $k=1 \dots m$, $m_k = \frac{M_k * t_k^{BX}}{T_q}$.

Аналогично оценивается среднее количество элементов ОГ l -го типа входного потока, одновременно находящегося на дуге, $l=1 \dots n$; T_q – количество часов в принятой единице измерения времени. Для обеспечения эффективного измерения рекомендуется проводить анализ статистики за срок не менее одного года.

Шаг 10. Расчет вероятности возникновения i -го типа ЧС в выходном потоке в результате возникновения ЧС j -го типа в одном из элементов входного потока (каскадирование чрезвычайных ситуаций, возникновение ЧС на одном из элементов маршрута приводит к каскадному нарушению маршрута):

$$\Omega_{ij} = 2QN_j \int_0^{t_{max}} P_{ij}(S(t)/V_i) dt,$$

где $t_{max} = \frac{l_{ij}^{max}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}}$ – время нахождения в зоне взаимовлияния до встречи элементов встречных потоков; l_{ij}^{max} – предельное расстояние взаимовлияния i -го типа ЧС в выходном потоке в при появлении во входном потоке ЧС j -го типа; $S(t) = l_{ij}^{max} - (V_{X(i)} + W_{Y(j)})t$, $S(t)$ – расстояние между элементами в конкретный момент времени; P_{ij} – условная вероятность возникновения i -го типа ЧС при возникновении ЧС j -го типа на расстоянии $S(t)$ между ними.

Шаг 11. Оценка вероятности возникновения ЧС i -го типа в элементе входного потока производится аналогично шагу 10.

Шаг 12. Расчет вероятности возникновения ЧС i -го типа в выходном потоке вследствие возникновения группы (серии) ЧС во входном потоке: $P_i^{каск} = \sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)} 2m_{Y(j)} \Omega_{ij}$, где

$S(j)$ – множество сценариев ЧС, соответствующих текущему элементу j входного потока.

Шаг 13. Определение уточненной вероятности возникновения ЧС i -го типа для конкретного выходного потока:

$$QN_i^* = QN_i + \sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)} 2m_{Y(j)} \cdot 2QN_{ij} \int_0^{\frac{l_{ij}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}}} P_{ij}(S(t)/V_i) dt,$$

где QN_i – априорная вероятность, полученная путем статистического анализа; $\sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)}$ – суммирование по всем сценариям развития ЧС; $2m_{Y(j)}t$ – среднее количество элементов входного потока с соответствующими j -ми сценариями реализации опасных факторов

Априорная вероятность QN_i может содержать неопределенности различных видов. Это обуславливается неполнотой знаний, погрешностью измерений, малым интервалом ретроспективного наблюдения. Вследствие этого будем предполагать, что элемент QN_i в реальной практике оценивается неравенством: $QN_i^{min} \leq QN_i \leq QN_i^{max}$ и вырождается из интервальной вероятности в детерминированное значение при $QN_i^{min} = QN_i^{max}$. Необходимо заметить, что распределение значений внутри этого интервала может варьироваться и может характеризоваться: статистической информацией (мат. ожидание, дисперсия, функция плотности распределения вероятности); нечеткой информацией в виде принадлежности функции к некоторому нечеткому множеству; отсутствием подобной информации (интервальное значение).

Применение интервального подхода позволяет оценить не только «среднюю» вероятность наступления ЧС, но и разброс оценок данной вероятности. Эта информация может быть учтена системой для повышения точности прогнозирования.

5. Оценка эффективности

Для оценки эффективности подобных процедур была проведена проверка моделей. Для оценки эффективности моделей использовалась векторная карта дороги, которая имела 25 отдельных элементов, каждый имел примерно 50000 узлов (перекрестков). Каждые связанные два узла имеют информацию о типе дорожного покрытия (асфальто-бетон, многорядный автобан, автострада, асфальтированная дорога, грунтовая дорога). При этом учитывается количество чрезвычайных ситуаций на каждом узле, освещенность в течение суток, средняя скорость транспортных средств. Были сформулированы несколько тестовых задач:

1. Для тестирования стратегического принятия решения при перевозке опасного груза оценивался оптимальный маршрут протяженностью около 2000 км.

2. Построение оптимального маршрута при перевозке опасного груза на расстоянии около 20 км (тактическое принятие решения).

3. Оперативное изменение маршрута при возникновении чрезвычайной ситуации на пути следования для задачи 2.

Риск на пути следования оценивался с учетом экспертных оценок влияния факторов, которые можно выделить для данной карты (линейная зависимость на величину риска). Для задач 1 и 2 основным количественным критерием потерь при их решении было отклонение от предлагаемой наилучшей длины на 20%, а максимальная величина риска на пути следования – не больше заданного значения. Эталонным было взято решение группы экспертов (согласование нескольких экспертов не рассматривалось). Результаты испытания представлены в таблице.

Критерий	Экспертный результат	Предлагаемые модели	Номер задачи
Длина маршрута	2078 км	2107 км	1
Максимальная величина риска на пути следования	0.0875	0.0841	1
Длина маршрута	20100 м	18400 м	2
Максимальная величина риска	0.1015	0.0872	2

Наибольшую эффективность предлагаемые модели дают для тактического управления при построении маршрутов в условиях большого количества пересечений и наличия альтернатив. При построении маршрутов для первой задачи эффективность модели почти совпадает с экспертными решениями. Это объясняется тем, что при большой протяженности маршрута (около 2000 км и более) граф маршрута имеет мало альтернатив и оценки вариантов близки. Безусловно, что риск экспоненциально растет при большом числе альтернатив и экспертная оценка имеет больше ошибок. Для оперативного управления необходимо практически мгновенно принимать решения. Если сравнивать модель многокритериальной оптимизации и «муравьиноподобную модель» (при количестве итераций – 2000) [2], то результаты поиска оптимального маршрута будут близкими (рис. 2).

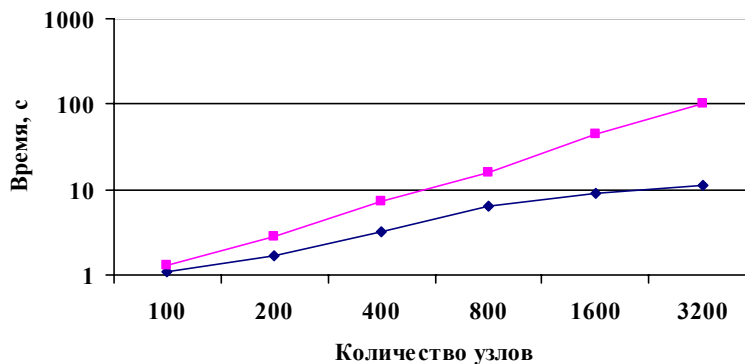


Рис. 2. Поиск оптимального маршрута

Выводы

В работе впервые выполнена постановка динамической транспортной задачи управления относительно принудительного изменения запланированного маршрута в случае возникновения чрезвычайной ситуации на маршруте транспортировки опасных грузов; для ее решения предложена модель представления транспортной сети, модель принятия решений и модель с использованием аппарата микроситуаций в комбинации с «муравьиноподобной моделью», которые обеспечили при минимальных рисках оптимизацию решения, с минимальными затратами времени и материальных ресурсов для условий неопределенности рисков возможных сценариев, что позволило реализовать прогнозирование развития сценариев ситуаций и сократить время принятия управляющих тактических или стратегических решений относительно изменения маршрута.

Впервые предложен метод оперативного поиска управляющих решений по изменению маршрута, учитывающий на начальном этапе истории подобных чрезвычайных ситуаций в виде множества априорных микроситуаций, и реализует на следующем этапе активно управляемую эволюционную стратегию с направленной эволюцией в комбинации с «муравьиноподобной моделью», что позволило обеспечить принятие более эффективных оперативных решений по управлению перевозкой опасных грузов за минимальное время.

Получил дальнейшее развитие метод расчета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке опасных грузов, который в отличие от существующих предлагает на первом этапе учитывать обобщенные данные по грузопотокам, в следующем - конфигурацию транспортной сети, геоинформационную привязку, что позволяет рассчитывать безопасную скорость движения, количество опасных грузов и вероятность возникновения «каскадного» расширения чрезвычайных ситуаций.

Список литературы: 1. Кузёмин А.Я., Фастова Д.В., Дяченко О.Н. Геоинформационная система для классификации и прогнозирования лавинной опасности // АСУ и приборы автоматики. 2006. Вип. 136. С. 87-91. 2. Кузёмин А.Я., Левыкин В.М. Разработка инструментальных средств обеспечения принятия решений для предупреждения и управления в чрезвычайных природных ситуациях // АСУ и приборы автоматики. 2007. №139. С. 31-38. 3. Кузёмин А.Я. Обобщённая модель и прогнозирование чрезвычайных природных ситуаций // АСУ и приборы автоматики. Харьков, 2007. №141. С. 21-29. 4. Kuzemin A., Sorochan M., Yanchevkiy I., Torojev A. The use of situation representation when searching for solutions in computer aided design systems International Journal // Information Theories & Applications. Bulgaria. 2005. Vol. 11, №1 P. 101-107. 5. Kuzemin A., Fastova D., Yanchevsky I. Methods of adaptive extraction and analysis of knowledge of knowledge-base construction and fast decision making // International Journal on Information Theories & Applications. Bulgaria. 2005. Vol.12. №1. P. 93 – 99.

Поступила в редколлегию 11.02.2011

Дяюб Ясер, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: системный анализ, оптимизация. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-15-15.