

И.М. Тетерин, А.В. Фирсов

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ
ГРУЗОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

В статье рассматривается задача мониторинга риска для населения и территорий в районе автомобильных магистралей и транспортных узлов вследствие взаимовоздействия грузопотоков повышенной опасности. Задача решается на базе аналитической и имитационной вероятностных моделей

Ключевые слова: оценка риска, взаимодействие грузопотоков

I.M. Teterin, A.V. Firsov

MODEL FOR AN ESTIMATION OF PROBABILITY
OF OCCURRENCE OF EMERGENCY SITUATIONS
AT TRANSPORTATION OF CARGOES
OF THE RAISED DANGER

The problem of population and territory risk monitoring near transport communications is regarded. The problems of mutual influence of dangerous cargo are investigated. Analytical and simulating models are used

Key words: Risk estimation, interaction of goods traffics

Воздействие техногенной сферы на безопасность населения связано с возникновением опасных событий, источников поражающих факторов, оказывающих барическое, термическое, токсическое, радиационное и ударное действие.

Планирование мероприятий по защите населения в соответствии с общепринятой концепцией опирается на результаты оценки опасности по критерию риска, который позволяет комплексно сочетать негативные воздействия природных и антропогенных факторов.

Одними из малоизученных объектов потенциальной опасности являются железные и автомобильные дороги, по которым перевозится более 80 % грузов.

Решение задачи по определению зон риска сводится к определению вероятностей возникновения факторов и их воздействия на население. Критерием зонирования опасных территорий является индивидуальный риск второго рода, т.е. определенный в конкретной точке пространства. Автором предлагается математический аппарат для оценки частотных характеристик типовых аварийных сценариев.

Предлагается рассмотреть следующую ситуацию. Пусть имеется некоторая транспортная сеть, например, магистральных автодорог. Матема-

тической моделью такой сети является соответствующий граф, заданный матрицей инцидентности. По дугам данной сети перемещаются грузопотоки как в прямом, так и в обратном направлении.

Рассматриваются потоки грузов, перевозка которых сопряжена с опасностью возникновения тех или иных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Например, в качестве грузов повышенной опасности могут рассматриваться горючие жидкости, горючие газы, этилен, аммиак, хлор, легко воспламеняющиеся жидкости, различные кислоты (желто-фосфорная, пятифосфорная, серная и т.д.). В качестве ЧС, связанных с грузопотоками данного вида, могут рассматриваться - пожары, взрывы, образование огненных шаров, токсичные заражения и так далее. Предполагается, что априорные вероятности возникновения ЧС, рассматриваемых автономно, известны. Ставится задача оценить дополнительную вероятность возникновения данных ЧС, рассматриваемых как результат возникновения других ЧС.

В качестве исходных данных рассматриваются годовые объёмы перевозок по видам опасных грузов выходного - $N_1, \dots, N_m$, и входного - $M_1, \dots, M_n$ потоков. Кроме того, как отмечалось выше, известны априорные вероятности возникновения ЧС, рассматриваемых автономно, - $QN_1, \dots, QN_m$ - для ЧС выходного потока и $QM_1, \dots, QM_n$ - для ЧС входного потока. Одному виду грузов повышенной опасности могут соответствовать несколько ЧС. В качестве исходных данных в модели рассматриваются характеристики сети (структура, длины дуг, участки скопления транспортных средств, участки повышенной опасности и так далее), характеристики потоков (объёмы, скорость перемещения, информация о временных распределениях потоков и так далее), характеристики ЧС (условная вероятность возникновения ЧС i -ого типа при условии возникновения ЧС j -ого типа, происшедшего на расстоянии S).

Приведем лишь общую схему предлагаемой модели в виде алгоритма расчета вероятностей возникновения ЧС, представленного 13-ю блоками. Поскольку исходные данные не содержат дополнительных характеристик временного распределения потоков, при построении модели мы исходим из предположения равномерности распределения потока.

**Алгоритм расчета вероятностей возникновения ЧС
техногенного характера взаимовоздействия грузопотоков
повышенной опасности на транспортных сетях - QN_i^***

Блок 1

Ввод интегральных данных по грузопотокам:

- годовые объёмы входных и выходных потоков по оконечным вершинам транспортной сети (грузопоставщики и грузопотребители в условных элементах);
- структура сети (матрица инцидентности);
- маршруты доставок грузов.

Блок 2

Расчет входного и выходного потока по каждой дуге сети на основе интегральных данных.

Блок 3

Решение задачи по определению вероятности возникновения каждого из возможных сценариев ЧС выходного и входного грузопотоков и для каждой из дуг транспортной сети.

/*Далее алгоритм расчета рассматривается для одного из возможных сценариев выходного потока и одной из дуг сети, поэтому их индексы в дальнейшем изложении алгоритма опускаются*/.

Блок 4

Ввод характеристик объёмов грузопотоков:

- m – количество видов опасных грузов в выходном потоке;
 - n – количество видов опасных грузов во входном потоке;
 - m_c – количество видов сценариев ЧС в выходном потоке;
 - n_c – количество видов сценариев ЧС во входном потоке;
 - $N_1, \dots, N_m$ – годовые объёмы перевозок опасных грузов выходного потока (в цистернах или вагонах);
 - $M_1, \dots, M_n$ – годовые объёмы перевозок опасных грузов входного потока (в цистернах или вагонах);
- /* $m \leq m_c$ и $n \leq n_c$, так как одному типу опасного груза может, вообще говоря, соответствовать несколько различным сценариям ЧС */.

Блок 5

Ввод значений априорных вероятностей реализации опасных факторов для типов различных опасных грузов (сценарии ЧС) в:

- выходном ($QN_1, \dots, QN_{m_c}$) потоке;
- входном ($QM_1, \dots, QM_{n_c}$) потоке.

Блок 6

Ввод транспортных характеристик:

L – протяженность дуги транспортной сети (км);

$V_1, \dots, V_m$ – средние скорости перемещения элементов в выходном потоке по видам грузов;

$W_1, \dots, W_n$ – средние скорости перемещения элементов во входном потоке по видам грузов.

Блок 7

Расчет среднего времени прохождения по дуге:

- элементов k -го типа опасных грузов выходного потока $\tau_k^{ex} = \frac{L}{V_k}$ (час), $k = 1, \dots, m$;

- элементов l -го типа опасных грузов входного потока $\tau_l^{ex} = \frac{L}{W_l}$ (час), $l = 1, \dots, n$.

Блок 8

Введение индексации, связывающей типы опасных грузов со сценариями ЧС для выходного и входного потоков:

$k = 1, \dots, m$ – индексация типов опасных грузов выходного потока;

$R(k)$ – множество индексов сценариев, возникающих в результате ЧС с грузами k -го типа выходного потока ($1 \leq R(k) \leq mc$);

$l = 1, \dots, n$ – индексация типов опасных грузов входного потока;

$R(l)$ – множество индексов сценариев, возникающих в результате ЧС с грузами l -го типа входного потока ($1 \leq R(l) \leq nc$);

$i = 1, \dots, mc$ – индексация различных сценариев ЧС выходного потока;

$X(i)$ – индекс типа опасного груза, инициирующего i -ый сценарий ЧС в выходном потоке ($1 \leq X(i) \leq m$);

$j = 1, \dots, nc$ – индексация различных сценариев ЧС входного потока;

$Y(j)$ – индекс типа опасного груза, инициирующего j -ый сценарий ЧС во входном потоке ($1 \leq Y(j) \leq n$).

Блок 9

Расчет плотностей потоков:

$$n_k = \frac{N_k \cdot \tau_k^{6yx}}{T_{год}}$$

- среднее количество элементов опасного груза k-го типа выходного потока, находящихся одновременно на дуге, $k = 1, \dots, m$;

$$m_l = \frac{M_l \cdot \tau_l^{6x}}{T_{год}}$$

- среднее количество элементов опасного груза l-го типа входного потока, находящихся одновременно на дуге, $l = 1, \dots, n$, где $T_{год}$ – количество часов в году.

Блок 10

Расчет вероятности возникновения сценария i-го типа в элементе выходного потока в результате возникновения ЧС j-го типа в одном из элементов входного потока - Ω_{ij} :

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

$$t_{max} = \frac{l_{ij}^{max}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}}$$

где t_{max} – время нахождения в зоне взаимовлияния до встречи элементов встречных потоков;

l_{ij}^{max} – предельное расстояние взаимовлияния i-го сценария выходного потока при инициировании j-го сценария входного потока;

$S(t) = l_{ij}^{max} - (V_{X(i)} + W_{Y(j)}) \cdot t$ – расстояние между элементами в конкретный момент времени t;

P_{ij} – условная вероятность возникновения сценария i-го типа в результате возникновения ЧС j-го типа на расстоянии S(t) между элементами.

Блок 11

Расчет вероятности возникновения сценария i-го типа в элементе выходного потока в результате возникновения сценария j-го типа в элементах входного потока

$$2m_{Y(j)} \cdot \Omega_{ij}$$

Блок 12

Расчет вероятности возникновения ЧС i-го типа в элементе выходного потока в результате возникновения различных сценариев в элементах

ВХОДНОГО ПОТОКА

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)} 2m_{Y(j)} \Omega_{ij}$$

где $S(j)$ – множество индексов сценариев, соответствующих элементу j -го типа входного потока

Блок 13

Определение уточненной вероятности реализации опасных факторов i -го сценария для конкретного выходного потока - QN_i^* :

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

где QN_i - априорная вероятность;

$\sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)}$ - суммирование по всем сценариям;

$2m_{Y(j)}$ - среднее количество элементов $Y(j)$ типа входного потока с соответствующими j -ми сценариями реализации ОФ;

$$2QN(i) \cdot \frac{l_{ij}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}} \int_0^{l_{ij}} P_{ij}(S(t) / ЧС_i) dt = \Omega_{ij}$$

- вероятность возникновения i -го сценария для элемента $X(i)$ выходного потока.

Таким образом, уточненная вероятность реализации опасных факторов i -ой ЧС для каждого элемента выходного потока является суммой априорной вероятности реализации i -ого сценария и вероятности взаимовлияния всего выходного потока на выходной, определяемый суммированием по всем сценариям входного потока для среднего количества элементов $Y(j)$ типа, соответствующих j -ым сценариям реализации ОФ с учетом вероятности возникновения i -го сценария в элементе $X(i)$ выходного потока.

Принципиальная расчётная схема представлена на рис. 1.

Аналогично производится уточнение частотной характеристики реализации опасных факторов QM_j^* j -ой ЧС при взаимовлиянии транспортируемых элементов выходного потока $X(i)$ на j -ый элемент входящего потока.

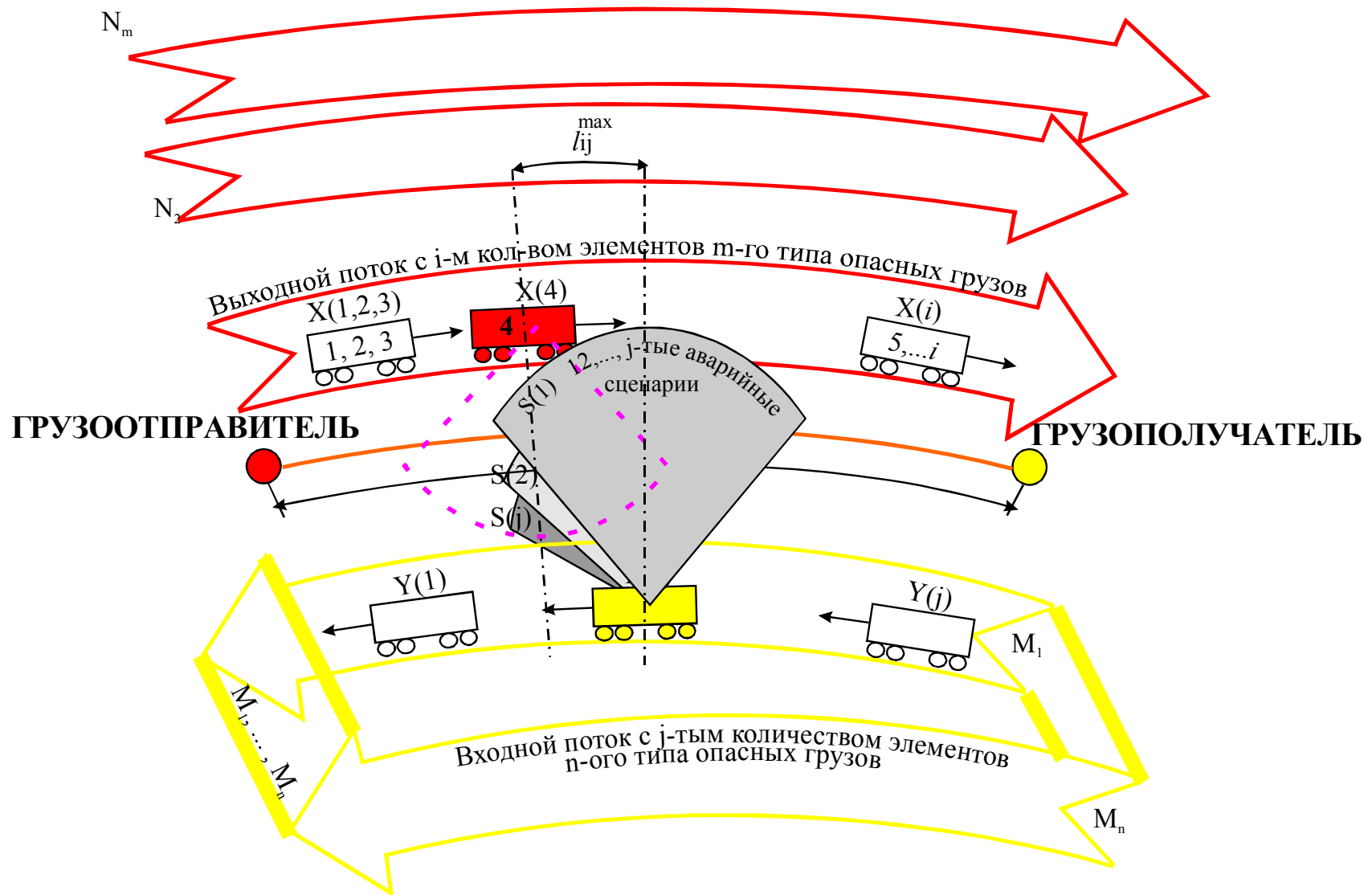


Рис. 1. Принципиальная схема уточнения вероятности возникновения i -го сценария при взаимодействии грузопотоков повышенной опасности на транспортных сетях

Это позволяет скорректировать вероятность возникновения сценариев развития ЧС i -го и j -го типа с учетом взаимодействия с другими грузопотоками повышенной опасности.

Реализуя данный алгоритм для всей сети, получаем скорректированные вероятности возникновения ЧС, которые используются для решения комплексной задачи зонирования территорий вдоль транспортных сетей по критерию риска.

Как было отмечено выше, в качестве математической модели транспортной сети был использован граф. Однако рассмотрение потоков и оценка параметров рисков проводилась лишь на дугах сети. Это обстоятельство делает модель неполной. Помимо участков магистральных автодорог имеются места скопления автотранспорта (площадки при узловых железнодорожных станциях, портах и т.д.). Данные объекты имеют свою специфику: большое количество опасных грузов находятся на них продолжительное время в непосредственной близости друг от друга. Это обстоятельство делает их объектами повышенной опасности и требует своих методик для мониторинга рисков взаимовоздействия опасных грузов.

Для мониторинга рисков площадок скопления автотранспорта была разработана имитационная модель. Основными входными параметрами модели являются: годовые объёмы транзитных грузопотоков через площадку по видам опасных грузов, распределение опасных грузопотоков по времени года и времени суток, распределение продолжительности пребывания автотранспорта на площадке. Параметры данных распределений могут быть оценены статистическими методами, исходя из данных о транзитных потоках автотранспортной площадки.

В имитационной модели происходит случайная генерация двух потоков: потока опасных грузов и потока личного автотранспорта в случае, если он проходит в непосредственной близости от автотранспортной площадки. Поток опасных грузов, в свою очередь, представляет собой случайный многопродуктовый поток. Для каждого вида опасных грузов генерируется отдельный случайный поток. В ходе реализации имитационной модели происходит суперпозиция случайных потоков для отдельных видов опасных грузов. Основные этапы генерации потоков опасных грузов выглядят следующим образом (рис. 2).

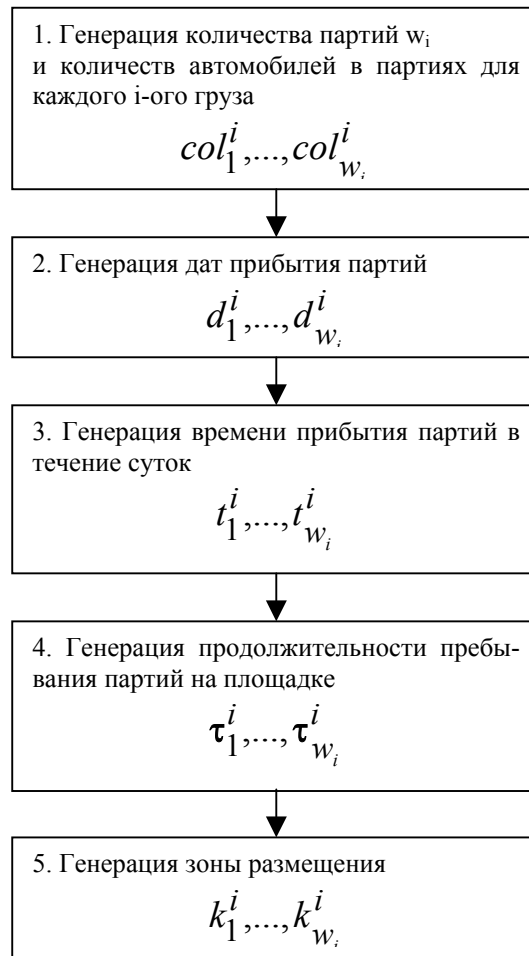


Рис. 2. Схема генерации случайных величин имитационной модели

Для реализации этапа 1, предполагаем, что имеется дискретный закон распределения количества автомобилей в колонне для i -го опасного груза, т.е. известны вероятности $P_col_j^i$ – вероятность того, что в колонне i -го опасного груза будет j автомобилей. Разыгрывая эту случайную величину, получаем значения $col_1^i, \dots, col_{w_i}^i$. После каждого полученного значения col_k^i проверяется, что сумма всех полученных ранее значений не превосходит общей суммы годового оборота для данного вида опасных грузов. Последнее значение k принимаем за w_i – общее количество партий.

Для реализации этапа 2 предполагаем, что дата прохождения каждой партии есть дискретная равномерная случайная величина со значениями от 1 до 365. Если есть информация о неравномерности каких-либо потоков в течение года, то она может быть учтена путем выбора иного закона распределения.

Для реализации этапа 3 предполагаем, что время прибытия каждой партии есть непрерывная случайная величина, равномерно распределенная на отрезке $[0, 24]$.

Для реализации этапа 4 предполагаем, что время пребывания автомобиля с i -ым опасным грузом на площадке есть случайная величина с нормальным законом распределения $N(\mu_i, \sigma_i)$. Параметры этого распределения μ_i и σ_i определяются из анализа статистических данных или экспертным путем.

Для реализации этапа 5 предполагается, что зона размещения избирается случайным образом, исходя из условия равной вероятности или с учетом специфических правил размещения.

Генерация пассажирского потока (потока личного автотранспорта) происходит аналогичным образом. Однако возникает новый случайный параметр – количество пассажиров в автотранспортном средстве. Численность пассажиров в автотранспортном средстве будем предполагать случайной величиной с нормальным законом распределения $N(\mu_i, \sigma_i)$. Параметры этого распределения μ_i и σ_i определяются по результатам анализа статистических данных, либо экспертным путем.

Разыгрывание ЧС различного характера происходит на основе априорных вероятностей $P_1, \dots, P_s$, которые предполагаются известными. В модели рассматривается три вида негативных воздействий на человека: барическое, термическое и химическое. В каждой конкретной реализации ЧС оценивается ожидаемое число погибших по всем трем негативным воздействиям в зависимости от конкретного сценария развития ЧС.

Данная имитационная модель позволяет, как и в случае с магистральными участками, получить скорректированные вероятности возникновения ЧС, которые используются для решения комплексной задачи зонирования территорий в районе площадок скопления автотранспорта по критериям риска для населения и территорий.

Использование расчетной модели, изложенной в первой части статьи для магистральных участков, и имитационной модели для площадок скопления автотранспорта позволяет осуществить мониторинг прогнозируемых параметров опасных зон, образуемых вследствие взаимодействия грузопотоков повышенной опасности на транспортных автомобильных коммуникациях.

Литература

1. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. -М.: ГНТП "Безопасность", МИБ СТС, 1996. - 424 с.
2. Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и технологическая безопасность и управление риском. – С.-Пб.: НИЦЭБ РАН, 1998. - 482 с.
3. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. -М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. - 328 с.
4. Макаров С.П. Технические и организационные мероприятия по снижению риска и смягчению последствий ЧС на магистральных нефтепродуктопроводах // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – Вып. 5. – с. 72-77.