

#### Литература:

1. Далеян Т.Ю. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, статистика и компьютерные науки. Вестник УМО. – 2015. – № 1. – С. 183-187.
2. Аткинсон Э.А., Банкер Р.Д., Каплан Р.С., Юнг М.С. – Управленческий учет. – СПб: ООО «Диалектика», 2019. – 880 с.
3. Круи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента. Пер. с английского. – М.: Юрайт, 2017. – 390 с.
4. Алиаскарова Ж.А., Асадулаев А.Б., Паикус В.Ю. Прогнозирование динамики инвестиций в основной капитал и валовую добавленную стоимость на основе моделей VAR и VECM // Проблемы современной экономики. – 2020. – № 4 (76). – С. 41-45.
5. Дробыш И.И. Современные методы расчета величины Value at Risk при оценке рыночных рисков // Труды ИСА РАН. – 2018. – Т. 68. – С. 51-62.
6. Бичевина А.С. Методики количественной оценки рисков с применением методологии стоимостной меры риска (Value at Risk – VAR) // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2021. – № 3 (20). – С. 8-12.
7. Kozlov A.D., Noga N.L. Possibilities of assessing information security risks using fuzzy logic and econometrics methods // Advances in Systems Science and Applications. – 2024. – №. 4. – P. 44-56.
8. Козлов А.Д., Нога Н.Л. Методика определения наиболее критичных узлов сетевых информационных инфраструктур с целью обеспечения информационной безопасности // Информационные технологии. – 2023. – № 29(6). – С. 296-306.
9. Елисеева И.И. и др. Эконометрика. – М.: Юрайт, 2024. – 449 с.

---

Дмитриева М.Ю., Богатырева Л.В.

#### **Сценарная модель исследования угроз безопасного развития городской инфраструктуры**

**Аннотация:** Разрабатывается и исследуется сценарная модель безопасного развития городской инфраструктуры. В результате сценарного моделирования проводится классификация факторов моделей по их уязвимости в зависимости от наступления моментов времени выхода за

область безопасности фазового пространства. Разработаны практические алгоритмы, реализующие поставленную задачу исследования.

**Ключевые слова:** безопасность, угроза, модель, управление, сценарий

Рассмотрим типы гипотетических вызовов и угроз развития СС для системы, представленной структурой графа из 8 вершин (рисунок 1), представляющий собой упрощенную (для иллюстрации подхода) модель городской инфраструктуры. Вершинами модели являются взаимосвязанные объекты: «1. Город», «2. Парк», «3. Обрабатывающий комбинат», «4. Уровень экологии», «5. Железная дорога», «6. Оптовая база», «7. Электрическая подстанция», «8. Озеро».

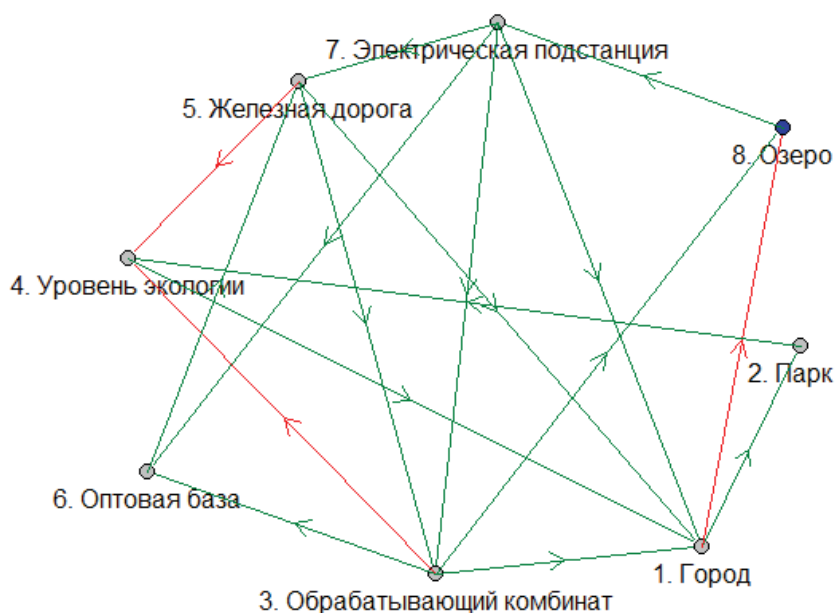


Рисунок 1 – Сценарная модель «Городская инфраструктура»

На первом этапе импульсные воздействия в каждом сценарном эксперименте вносятся отдельно в каждый фактор модели. При этом

данный фактор выступает в качестве «окна уязвимости», через которое проникает возможная угроза. Таким образом исследуются следующие сценарии:

- сценарии при предполагаемом единичном изменении (возмущении) значений наблюдаемых факторов системы. Таким образом для восьми факторов рассчитаны восемь сценариев С1–1... С8–1, которые соответствуют поведению СС при единичном импульсном воздействии в соответствующую вершину. Например, сценарий С4–1 соответствует динамике системы при внесении единичного импульса в вершину 6, что в рамках рассматриваемой модели означает расширение оптовой базы. Рассчитываются значения элементов матрицы Т-шаговых угроз МТ-1;

- сценарии при выявленной тенденции резкого (удвоенного) изменения значений наблюдаемых показателей СС (вершины графа состояний СС). По восьми вершинам графа построены восемь сценариев С1–2... С8–2. Рассчитываются значения элементов матрицы Т-шаговых угроз МТ-2.

Затем исследуем распределенные тенденции в замкнутых контурах связей сценарной модели, полагая, что единичная тенденция реализуется последовательно в каждой вершине контура. Построены восемь сценариев С1К1... С8К1. Рассчитываются значения элементов матрицы Т-шаговых угроз МТ-3.

Для алгоритма и соответствующей программы расчета ограничим временной (в шагах моделирования) период  $\Delta$ , чтобы программа расчета прекратила работу если не произошел выход факторов системы за область безопасности.

Цель эксперимента – анализ матриц Т-шаговых угроз: для каждой вершины определены шаги сценария выхода за ЦРФ, выявление наиболее уязвимых мест при реализации прогнозируемых угроз заданным компонентам системы.

Для данного исследования разработаны следующие алгоритмы.

### **Алгоритм построения характеристик и матрицы Т-шаговых угроз**

Этап 1. Состоит из ввода данных пользователем:

- матрицы смежности  $A$ , построенной по заданному графу;
- начального состояния системы, которое представляет собой вектор  $z(0)$ ;

- вектора импульса возмущений  $\delta \mathbf{Im}(\tau)$ , который состоит из вектора столбца, соответствующего угрозам, реализованным в вершинах в момент времени  $\tau$ ;
- заданного горизонта сценария;
- целевого вектора  $\mathbf{a}$ , выбранного пользователем, как желательный вектор состояния эффективного функционирования системы;
- заданной границы допустимости  $\delta$ .

Этап 2. Вычисление сценария возмущения.

Этап 3. Вычисление сценария поведения системы.

Этап 4. Формирование базы данных сценариев (БДС). База данных является трехмерным массивом сценариев, различающихся импульсами возмущения.

Этап 5. Построение матрицы характеристик. Характеристики отражают отклонение сценариев от заданного целевого направления в относительной и абсолютной шкале.

Этап 6. Формирование базы данных, которая представляет собой трехмерный массив, состоящий из матриц характеристик сценариев в зависимости от импульсов возмущений.

Этап 7. Разработка вычислительной процедуры для построения сравнительных характеристик: нахождение максимального и минимального отклонений в абсолютной и относительной шкале, нахождение максимального и минимального отклонений от целевого направления для значимых элементов и для всей системы в целом.

Этап 8. Визуализация выводных данных в виде таблиц или диаграмм. Блок-схема формирования БД.

### **Алгоритм построения матрицы Т- шаговых угроз**

Учитываются только те элементы, значения которых выходят за допустимые пределы на заданном горизонте сценария.

Этап 1. На данном этапе осуществляется выбор матрицы из БД матриц характеристик сценариев, которая соответствует определенной угрозе.

Этап 2. Разработка цикла программе для поиска первого выхода за границы ЦРФ (конкретное значение каждого экспертно-значимого элемента сравнивается с предельно допустимым значением для ЦРФ).

Этап 3. Формирование столбцов матрицы  $T$ -шаговых угроз, каждый из которых соответствует первому выходу значений в вершинах графа за предельно допустимые значения при реализации угрозы.

Этап 4. Формирование всех полученных столбцов в общую матрицу  $T$ -шаговых угроз.

Этап 5. Вывод данных – матрица  $T$ -шаговых угроз в виде таблицы.

### Результаты вычислительного эксперимента

В соответствии с алгоритмом расчета характеристик исследуются следующие параметры: целевой вектор желательного состояния системы и допустимые отклонения от целевого вектора (таблица 1).

Таблица 1 – Целевой вектор и допустимые отклонения

№ вершины	Целевой вектор $\mathbf{a}$	Допустимое отклонение $\delta$ (15%)	Границы целевого вектора
1	26 000	3 900	29 900
2	200	30	230
3	500 000	75 000	575 000
4	24,2	3,6	27,8
5	2 000	300	2 300
6	10 000	1 500	11 500
7	28 000	4 200	32 200
8	7 500	1 125	8 625

Исследуем влияние на граф сосредоточенных угроз.

Для построения матрицы  $T$ -шаговых угроз начальный импульс  $\mathbf{Im}(0)$ , представляющий угрозу, реализуется последовательно в каждой вершине. Сценарий C1-1 соответствует угрозе  $Im_1(0)=1$ , реализованной в вершине 1.

Аналогично построены сценарии C2-1...C8-1. Результатом является матрица МТ-1  $T$ -шаговых угроз (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица  $T$ -шаговых угроз (MT-1)

Вершина	C1-1	C2-1	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1
1	21	24	21	25	27	22	25	23
2	15	19	16	14	16	16	15	13
3	32	31	33	31	34	34	32	30
4	9	11	8	12	9	9	13	11
5	20	18	21	19	21	21	19	17
6	21	25	22	20	23	23	21	19
7	21	25	22	20	23	22	21	19
8	22	20	23	20	23	23	21	19

На рисунке 2 в качестве примера представлена динамика изменения двух факторов модели при воздействии в вершину 1 (C1-1).

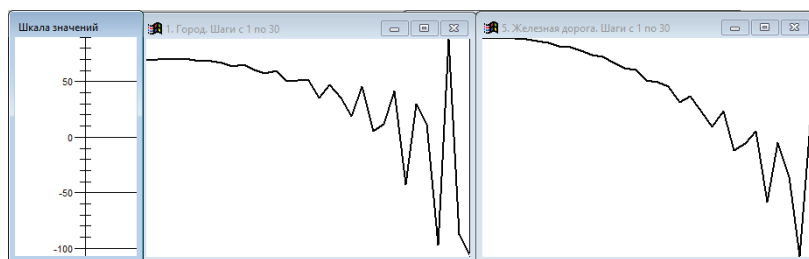


Рисунок 2 – Пример моделирования при управлении C1-1 матрицы MT-1

На рисунке 3 представлена диаграмма, иллюстрирующая относительные временные отсечки выхода факторов из целевого режима функционирования при различных сценариях для матрицы MT-1. Обозначение «Ряд  $i$ » для  $i$ -го фактора. В дальнейших исследованиях для экономии места результаты представлены только в форме матриц.

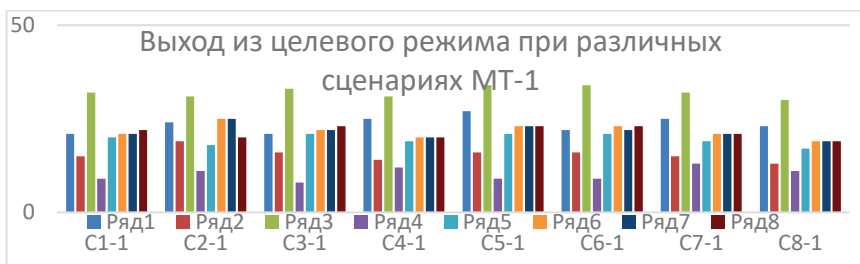


Рисунок 3 – Шаги моделирования при выходе факторов из целевого режима функционирования (МТ-1)

Начальная тенденция, реализованная в каждой из вершин, изменяет состояние этого элемента на нескольких шагах сценария.

По матрице  $T$ -шаговых угроз определяем, что реализация угрозы в вершине 3 наносит максимальный ущерб параметру 4 на шестом шаге сценария С3-1 (Сценарий от реализации единичной угрозы в третьей вершине).

Для построения матрицы  $T$ -шаговых угроз начальный импульс  $\mathbf{Im}(0)$ , представляющий угрозу, реализуется последовательно в каждой вершине. Сценарий С1-2 соответствует угрозе  $Im_1(0)=2$ , реализованной в вершине 1. Аналогично построены сценарии С2-2...С8-2. Результатом является матрица МТ-2  $T$ -шаговых угроз (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица  $T$ -шаговых угроз (МТ-2)

Вершина	С1-2	С2-2	С3-2	С4-2	С5-2	С6-2	С7-2	С8-2
1	19	23	20	18	21	20	24	23
2	14	12	15	12	15	15	13	12
3	26	29	26	30	33	27	31	30
4	6	10	7	5	7	7	6	5
5	19	17	14	17	20	15	18	17
6	20	24	21	19	21	21	20	19
7	20	24	21	19	21	21	19	18

8	21	19	21	19	22	22	20	19
---	----	----	----	----	----	----	----	----

Исследуем влияние на функционирование городской инфраструктуры распределенных угроз по замкнутому контуру, рассредоточенных по шагам.

Рассмотрим построение матрицы  $T$ -шаговых угроз для системных элементов модели – замкнутых контуров попарных связей. Для построения матрицы  $T$ -шаговых угроз (МТ-3) системный элемент модели, представляет собой замкнутый контур попарных связей. Построим матрицу  $T$ -шаговых угроз при реализации угрозы в каждом элементе контура.

В графе выбраны восемь контуров.

Построим сценарии, когда угрозы в вершины контура реализуются последовательно.

Для контура 1К строится сценарий C1K1 при реализации единичной угрозы в вершине 1 на первом шаге ( $t_1=1$ ), в вершине 2 на втором шаге ( $t_2=2$ ), в вершине 3 на третьем шаге ( $t_3=3$ ). Аналогично построены сценарии C2K1...C8K1. Результатом является матрица МТ-3  $T$ -шаговых угроз (таблица 4).

Таблица 4 – Матрица  $T$ -шаговых угроз (МТ-3)

Вершина	C1 K1	C2K 1	C3K1	C4K1	C5K1	C6K1	C7K1	C8 K1
1	21	22	23	22	22	21	22	21
2	16	16	17	16	16	16	17	16
3	33	29	29	34	29	33	29	33
4	9	9	10	9	9	8	9	8
5	21	21	17	21	21	20	17	21
6	22	23	24	23	23	22	23	22
7	22	23	23	22	23	22	23	22
8	23	23	24	23	23	22	24	22

По полученным результатам расчетов для сценарной модели «Городская инфраструктура» предлагается классифицировать опасность наступления ЧС на пять классов уязвимости элементов сложной системы:



- максимальная уязвимость элемента: отклонение значения в вершине от ЦРФ на 4-9 шаге сценария;
- критическая уязвимость элемента: отклонение значения в вершине от ЦРФ на 10-15 шаге сценария;
- средняя уязвимость элемента: отклонение значения в вершине от ЦРФ на 16-21 шаге сценария;
- незначительная уязвимость элемента: отклонение значения в вершине от ЦРФ на 22-27 шаге сценария;
- минимальная уязвимость элемента: отклонение значения в вершине от ЦРФ на 28-33 шаге сценария.

В зависимости от рассчитанных сценариев вершины можно разделить на группы:

- максимально уязвимым элементом системы является вершина 3;
- критически уязвимые элементы: вершина 3, вершина 4, вершина 7;
- элементы средней уязвимости – вершина 8, вершина 6;
- незначительно уязвимые элементы – это вершина 1, вершина 2, 5;
- минимально уязвимый элемент – вершина 5.

По классам уязвимости системы можно определить, в каких элементах системы реализация угроз может привести к критической ситуации. Предполагаем, что в графе городская инфраструктура критическая ситуация возникает для вершины 3 на шестом шаге сценария, построенном от единичной угрозы, реализованной в вершине 5, при условии, что седьмой шаг соответствует первому выходу за границы ЦРФ.

Результаты вычислительного эксперимента показывают:

- нет прямо пропорциональной зависимости для времени выхода за пределы допустимых значений вектора состояния системы при реализации единичной и удвоенной угрозы;
- минимально уязвимой вершиной к угрозам в графе является вершина 5;
- максимально уязвимой вершиной к угрозам в графе является вершина 3;
- при единичных угрозах, последовательно реализованных в вершинах контура, вершина 4 – незначительно уязвима;

- при удвоенных угрозах, последовательно реализованных в вершинах контура, вершина 4 – средне уязвима;
- при реализации единичных и удвоенных угроз в вершинах контура, шаги сценария, при которых значение вершин 6, 7 отклоняются за допустимые пределы от ЦРФ, отличаются незначительно;
- система наиболее устойчива к угрозам, реализованным в первом контуре;
- система наименее устойчива к угрозам, реализованным в пятом контуре.

Таким образом, рассмотрены применение методов сценарного моделирования для классификации факторов модели по степени их уязвимости в зависимости от наступления моментов времени выхода за область безопасности фазового пространства. Результаты подобного сценарного исследования могут быть использованы для принятия советующих решений при управлении сложными системами или ситуациями с целью недопущения возникновения чрезвычайной ситуации. Разработаны практические алгоритмы, реализующие рассмотренные методы.

#### Литература:

1. Кононов Д.А., Лепе Н.Л., Пономарев Р.О. Управление чрезвычайными ситуациями в региональных системах методами ситуационного анализа // Вестник РГГУ. Серия «Управление». – 2016. – № 4 (6). – С. 58-70.
2. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Сценарный анализ в управлении геополитическим информационным противоборством. – М.: Наука, 2015. – 542 с.
3. Шульц В.Л., Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шелков А.Б., Чернов И.В. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем. Книга 1 / в 2-х книгах. – М.: Наука, 2012. – 304 с.