

УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Ямашкин С.А.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия
yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. Представлена графовая модель риск-ориентированного управления территориально распределёнными системами, интегрированная с региональными геопорталами. Модель учитывает пространственные и временные характеристики рисков, целей и мер воздействия, поддерживает сценарное моделирование, агрегацию угроз и пространственно-обоснованное принятие управленческих решений.

Ключевые слова: территориальное управление, риск-ориентированный подход, геопортал, пространственные данные.

Введение

Управление рисками в территориально распределённых организационных системах представляет собой одну из ключевых задач цифровой трансформации государственного и корпоративного управления. Возрастающая сложность пространственно-функциональных структур, рост взаимозависимостей между подсистемами, а также необходимость адаптации к быстро меняющимся условиям внешней среды требуют разработки формализованных моделей, обеспечивающих интерпретируемость, масштабируемость и поддержку принятия решений в условиях неопределённости. Современные подходы к моделированию рисков, как правило, ограничиваются одномерными стохастическими или экспертно-кластерными схемами и не учитывают пространственно-временной характер угроз, их транзитивные воздействия на цели, а также не поддерживают агрегирование и анализ структур с высокой размерностью. Это ограничивает их применимость в задачах комплексного управления развитием территорий и сложных инфраструктур.

Актуальность настоящего исследования определяется несколькими ключевыми аспектами. Во-первых, в Постановлении Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 особо подчёркивается важность преодоления ограниченного применения отечественных геоинформационных технологий и недостаточной поддержки высокопроизводительной обработки пространственных данных. Работа направлена на реализацию этой задачи путём интеграции, формализованной риск-модели с пространственной репрезентацией рисков, целей и управляющих воздействий. Во-вторых, исследование соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития РФ, утверждённым Указом Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529, включая целесообразность «адаптации к изменениям климата и рациональное использование природных ресурсов», «мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предупреждение и снижение рисков чрезвычайных ситуаций».

Цель статьи – разработка и формализация пространственно-ориентированной модели риск-ориентированного управления в территориально распределённых организационных системах, обеспечивающей учёт причинно-следственных и транзитивных связей между рисками, целями и управляющими воздействиями, с возможностью интеграции в региональные геопорталы и использования в задачах поддержки управленческих решений.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи:

1) Сформировать универсальную графовую структуру модели, представляющую риски, цели (КРП) и управляющие воздействия как вершины ориентированного взвешенного графа, с формализацией семантически осмысленных типов связей между ними.

2) Разработать атрибутивную модель описания рисков, целей и мер управления, включающую многомерную и нечеткую систему оценки ущерба, вероятностные и пространственно-временные характеристики, а также поддерживающую гибкую агрегацию и нормализацию данных.

3) Ввести механизмы агрегирования рисков через блоки эквивалентного риска и учёта позитивных рисков как пространственно локализованных возможностей, расширяющих прикладной охват модели.

4) Сформировать формализованное описание пространственной компоненты модели, включающее классификацию форм локализации, механизмы пространственной фильтрации и возможность интеграции с ГИС и геопорталами.

5) Разработать архитектуру программной реализации модели, обеспечивающую модульность, масштабируемость, инверсию зависимостей и адаптацию к сценарным режимам функционирования.

б) Реализовать интеграцию модели с региональными геопорталами и продемонстрировать возможность использования модели в задачах пространственно-обоснованного управления развитием на примере Республики Мордовия.

Разработанная в статье модель основана на представлении организационной системы в виде ориентированного взвешенного графа, в котором вершины (риски, цели и управляющие воздействия) описываются через многомерные и гетерогенные атрибуты, включая нечеткие и пространственно-временные оценки ущерба. Такое представление позволяет формализовать причинно-следственные и транзитивные зависимости, что критически важно для оценки косвенного воздействия рисков и эффективности управляющих мер. В практическом аспекте модель интегрирована в структуру геопорталов Республики Мордовия, что обеспечивает применение результатов в задачах пространственно-обоснованного планирования, оценки уязвимости территорий, поддержки решений по снижению риска и управлению развитием.

1. Состояние исследований

Управление в сложных организационных системах, распределённых в пространстве и подверженных множеству рисков, требует формализованного описания взаимодействий между ключевыми элементами: событиями, целями, управляющими воздействиями и результатами. Для этого необходимо такое представление, которое одновременно отражает как структуру системы, так и направление и силу влияния между её компонентами.

Теоретической основой систем управления сложными организационными структурами остаются разработки Д. А. Новикова. В монографии [1] предложена иерархическая концепция организационного управления, в которой подчёркивается роль обратных связей, механизмов целеполагания и координации. В прикладной работе под его редакцией [2] обосновывается переход от рискоцентричного подхода к моделированию возможностей, что расширяет методологическую базу пространственного управления. Авторы рассматривают регион как многоуровневую систему, в которой наряду с угрозами должны учитываться потенциалы развития, институциональные ограничения и позитивные риски. Дополнительное развитие пространственно-ориентированных моделей связано с когнитивным и событийным анализом. В [3] рассмотрен метод сценарно-когнитивного моделирования, в котором динамика системы описывается через событийную идентификацию факторов. Автор формализует механизм построения когнитивных сценариев на основе анализа временных паттернов, что позволяет интерпретировать развитие сложных систем в условиях неопределённости. Этот подход актуализирует необходимость включения в модели не только статических атрибутов, но и событийных признаков, отражающих изменения среды в реальном времени.

Статья [4] представляет сравнительный обзор картирования рисков на уровне стран, включая политические, институциональные, инфраструктурные, климатические и социально-экономические риски. Методике свойственна категоризация по семи типам, анализ практики и академических методов, а также выявление разрывов между теориями и промышленным применением. Из ключевых выводов – необходимость представления рисков как векторных пространственных сущностей, использующих геоинформационную аналитику и машинное обучение для оценки вероятности и воздействия. Это перекликается с вашей методикой агрегации рисков и КРІ в пространственно-временной форме. Одним из ключевых направлений является разработка риск-ориентированных геопорталов, интегрирующих данные дистанционного зондирования, телеметрии и Интернета вещей. В работе [5] предложена архитектура цифровой платформы управления метагеосистемами, в которой геопортал выполняет функции пространственного диспетчерского центра. Система объединяет методы семантической обработки, геоаналитики и потоковой интеграции IoT-данных, обеспечивая непрерывный мониторинг и реагирование на риски. Предложенный подход подчёркивает важность представления рисков в виде пространственно-временных сущностей с поддержкой гибкой визуализации и сценарного моделирования.

Стандартизация риск-менеджмента и пространственного моделирования закреплена в нормативных документах. ГОСТ Р 58771–2019 [6] определяет общие принципы оценки рисков, включая этапы идентификации, анализа и обработки угроз. Стандарт содержит методические подходы к оценке ущерба и вероятности реализации событий, что соответствует требованиям формализованных моделей. ГОСТ Р 70846.2–2023 [7] вводит терминологические и методологические основы функционирования национальной системы пространственных данных. В частности, в документе фиксируется необходимость использования единых пространственных идентификаторов, поддержки многомасштабного анализа и обеспечения совместимости между источниками геоданных.

2. Формализация модели риск-ориентированного управления в организационных системах

Предлагаемая модель представляется в виде ориентированного взвешенного графа, что обосновано природой управляемой организационной системы. Риски, цели и управляющие воздействия трактуются как узлы (вершины), между которыми устанавливаются направленные связи, отражающие причинно-следственные зависимости, иерархии влияния или управляющие отношения. Такая структура позволяет формализовать распространение риска, каскадные эффекты и влияние на показатели эффективности (KPI), а также моделировать обратную связь между мерами управления и рисками. Графовая модель обеспечивает высокую степень интерпретируемости, масштабируемость при добавлении новых узлов и связей, и естественным образом соотносится с логикой структурных и функциональных связей в реальных организационных системах.

В традиционных подходах к формализации предметной области организационного управления понятие универсума применяется для обозначения множества всех элементов, подлежащих рассмотрению в рамках модели. Формально универсум модели может быть задан в виде кортежа:

$$U = \langle V, A, E, \Phi, S \rangle, \quad (1)$$

где V – множество вершин графа, включающее: риски, цели и показатели эффективности (KPI), управляющие воздействия,

A – множество атрибутов вершин, включающее оценочные, вероятностные, временные и пространственные характеристики,

E – множество связей между вершинами, отражающее причинно-следственные зависимости, функциональные влияния и управляющие отношения,

Φ – функциональная спецификация,

S – сценарии модели.

Такое представление позволяет строго разделить сущности модели. Объекты управления находятся в вершинах графа и участвуют в вычислениях; отношения – задаются в структуре графа и используются при агрегации риска; контексты – представлены через атрибуты и сценарии, влияющие на динамику модели. В результате, универсум U приобретает чёткую онтологическую структуру, устраняя путаницу между уровнями абстракции и упрощая описание логики функционирования модели. Это обеспечивает соответствие как требованиям строгой системной формализации, так и прикладной применимости в задачах управления рисками в распределённых организационных структурах.

Множество вершин. В рамках разрабатываемой риск-ориентированной модели графовая структура используется для формализации взаимосвязей между основными объектами управления: рисками, целями и управляющими воздействиями. Граф позволяет представить логико-структурные зависимости, отражающие направление и силу влияний между элементами модели. Совокупность всех вершин графа обозначается множеством V , которое определяется следующим образом:

$$V = R \cup K \cup U, \quad (2)$$

где R – множество рисков,

K – множество целей и показателей эффективности,

U – множество управляющих воздействий.

В модели управления, основанной на риск-ориентированном подходе, ключевые сущности – риски, цели системы и управляющие воздействия – представлены в виде вершин ориентированного графа. Такое представление обеспечивает формализованное описание направленных влияний между событиями, управленческими мерами и результатами. Совокупность всех вершин графа формирует множество V , структурированное как объединение трёх подмножеств: рисков R , целевых ориентиров K и управляющих воздействий U . Это позволяет рассматривать модель как систему с явным представлением причинно-следственных связей, направленных от факторов неопределённости к управленческим решениям и целевым состояниям.

Под множеством $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ понимается совокупность идентифицированных рисков, оказывающих потенциальное влияние на функционирование системы и достижение её целей. Каждый элемент $r_i \in R$ описывается параметрами, отражающими вероятность реализации, величину ущерба, временную актуальность и пространственную локализацию. В структуре графа вершины R служат источниками направленного воздействия на другие узлы и выступают в роли иницирующих факторов при моделировании развития сценариев.

Множество $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ содержит вершины, представляющие собой стратегические и тактические цели, а также ключевые показатели эффективности (KPI), определяющие результативность функционирования системы. Цели формируют конечные точки направленного распространения рисков и позволяют количественно оценить последствия тех или иных воздействий. Узлы этого типа не оказывают обратного влияния в модели, но служат важным ориентиром для формирования управляющих решений.

Вершины множества $U = \{u_1, u_2, \dots, u_i\}$ соответствуют управляющим мерам, направленным на снижение вероятности наступления рисков, уменьшение их последствий либо изменение структуры связей в модели. Воздействия могут применяться к различным вершинам R , активироваться в рамках определённых сценариев и оказывать прямое или косвенное влияние на достижение целей. Формальное включение узлов U в граф позволяет моделировать управляемость системы и анализировать эффективность конкретных мер.

Атрибутивная характеристика вершин графа представляется множеством A и формализует параметрическое описание объектов модели в зависимости от их категориальной принадлежности. Каждой вершине $v_i \in V$ сопоставляется кортеж значений, отражающих её тип и соответствующие количественные параметры. Это сопоставление задаётся отображением:

$$A: V \rightarrow \Phi \times \Theta, \quad (3)$$

где Φ – категория вершины (риск, цель, управляющее воздействие),

Θ – структурированное множество параметров, определяемое типом узла.

Одной из ключевых компонент модели является система количественной оценки ущерба, сопоставляемого вершинам графа. В отличие от упрощённых векторных моделей, в которых ущерб представляется одномерным значением, в предлагаемом подходе используется расширенная форма, учитывающая многомерную природу последствий. Каждой вершине $v_i \in V$ в любой момент времени t сопоставляется матрица компонент ущерба.

$$M(v_i, t) \in \mathcal{M}^{k \times f}, \quad (4)$$

где k – количество сфер воздействия (например, финансовая, репутационная, экологическая и т.д.),

f – количество сценариев функционирования или других факторных измерений,

\mathcal{M} – множество допустимых форм представления ущерба, определяемое как

$$\mathcal{M} = \mathbb{R} \cup \mathfrak{F} \cup \lambda \cup \mathcal{I}, \quad (5)$$

где \mathbb{R} – числовые оценки,

\mathfrak{F} – нечеткие числа, заданные функциями принадлежности (треугольными, трапециевидными, гауссовскими и др.),

λ – лингвистические переменные (например, «высокий», «средний», «низкий»),

\mathcal{I} – интервальные значения.

Таким образом, каждый элемент матрицы $m_{\{ij\}}$ может быть представлен в адекватной форме для конкретной задачи. Это позволяет объединять в модели экспертные суждения, статистические данные, символьные описания и оценочные интервалы.

Для обеспечения консистентности анализа и поддержки нечеткой логики к каждому элементу дополнительно сопоставляется тип представления через отображение:

$$\tau: V \times T \times (i, j) \rightarrow Type, \quad (6)$$

Это позволяет использовать универсальные механизмы агрегации, нормализации и сравнения в процессе вычисления интегрального риска, независимо от исходной формы представления ущерба. В случае, когда сценарные измерения отсутствуют или объединяются, модель сводится к векторной форме:

$$M(v_i, t) \in \mathcal{M}^k, \quad (7)$$

где \mathcal{M} – множество допустимых форм представления ущерба,

k – число сфер воздействия.

Функция вероятности реализации риска может представлять собой как постоянную величину, так и временную зависимость, полученную на основе экспертных оценок или статистического моделирования.

$$p(t): T \rightarrow [0, 1]. \quad (8)$$

В простейшем случае используется постоянная вероятность $p(t) = const$, однако модель допускает динамическую зависимость от времени или внешних факторов.

Пространственная локализация объекта вершины описывается как $\mathcal{L} \in \mathbb{R}^n$. В зависимости от структуры моделируемого пространства значение $n = 2$ применяется при работе с плоскими картами, схемами или координатами на географической проекции, а $n = 3$ – в задачах, где требуется учитывать вертикальное положение, уровни или высоту объекта. В более общем случае допускается использование дополнительных пространственных признаков (например, полигоны, зоны, индексы регионов и т.п.). Для этого вершина сопоставляется с референсом на объект в ИПД (например, ссылка на идентификатор зоны).

Пространственная локализация может использоваться для визуализации рисков на цифровой карте в интерфейсе системы поддержки принятия решений, пространственной агрегации и кластеризации рисков, анализа зависимости между рисками и пространственными факторами (инфраструктура, плотность населения, доступность ресурсов и т.д.).

Модель допускает расширение \mathcal{L} до структурированного объекта:

$$\mathcal{L} = (l, s), \quad (9)$$

l – пространственная локализация объекта,

s – механизм действия риска (масштаб и закономерности распространения, индекс покрытия, территориальная зона).

Учёт пространственных характеристик возникающих угроз играет важную роль в контексте моделирования рисков в территориально распределённых организационных системах. Пространственная локализация риска отражает не только точку возникновения, но и масштаб воздействия, динамику распространения и степень неопределённости в оценке географического охвата. Описание локализации рисков необходимо для интеграции модели с геоинформационными системами, реализации пространственной фильтрации рисков, адаптации сценариев реагирования, а также для повышения обоснованности управленческих решений при ресурсном планировании, построении маршрутов ликвидации последствий или анализе территориальной уязвимости.

Итоговый кортеж атрибутов вершины риска может быть представлен в виде:

$$A(r_i, t) = (M(t), p(t), \mathcal{L}). \quad (10)$$

Это обеспечивает моделирование воздействия, вероятности и пространственной актуальности риска в рамках формализованной структуры. Это позволяет учесть совокупность потенциальных последствий, вероятность их реализации и зону риска в рамках единого формализма.

Перейдем к системному описанию вершин модели, соответствующих управленческим мерам и показателям эффективности (KPI). Управляющие воздействия (меры) в модели представляют собой вершины графа, которые оказывают влияние на риски или напрямую на цели (KPI). Каждой мере $u_i \in U$ сопоставляется кортеж:

$$A(u_i, t) = (C(t), E_R(t), \mathcal{L}), \quad (11)$$

где $C(t) \in \mathbb{R}_{\geq 0}$ – стоимость реализации меры во времени t ,

$E_R(t) \in [0, 1]^k$ – эффективность меры (степень снижения риска) по k сферам воздействия (например, финансовая, экологическая, репутационная),

\mathcal{L} – пространственная локализация меры.

Цели и ключевые показатели эффективности $k_i \in K$ представляют собой терминальные вершины графа, отражающие достижение стратегических и операционных приоритетов системы. Атрибуты KPI описываются следующим кортежем:

$$A(k_i, t) = (V(t), T, \mathcal{L}), \quad (12)$$

где $V(t) \in \mathbb{R}$ – текущее значение показателя во времени,

T – целевое (плановое) значение,

\mathcal{L} – пространственная привязка (например, региональный KPI).

Позитивные риски. Управление рисками в территориально распределённых организационных системах требует учёта не только характера и вероятности наступления событий, но и их пространственного положения. Традиционно акцент делается на идентификацию угроз – рисков с негативными последствиями, локализованных в конкретных гео зонах. Однако в реальных системах существуют и позитивные риски, представляющие собой возможности, возникающие в определённой пространственной области и способные оказывать положительное влияние на ключевые показатели

эффективности (КРІ). Примеры: локальный кадровый резерв в удалённом регионе, способный компенсировать сбой; стратегически удачное расположение инфраструктуры; региональные субсидии, уменьшающие затраты при локализации производства).

В предлагаемой графовой модели позитивный риск r_i описывается аналогично обычному риску, но с одним ключевым отличием: вектор ущерба $m^{(r_i)}(t)$ содержит отрицательные значения. Это означает, что реализация такого риска не вредит, а улучшает состояние системы по соответствующей сфере воздействия. При этом структура связи сохраняется, а вес связи $w^{(r_i \rightarrow k_j)}$ остаётся положительным, так как отражает чувствительность показателя к изменению ущерба.

В территориально-распределённых организационных системах позитивный риск r_i характеризуется не только вектором "ущерба" $m(t)$, но и пространственной локализацией $\mathcal{L} = (l, s)$. Таким образом, позитивный риск становится геопривязанным событием, чьё влияние ограничено или доминирует в конкретных геозонах.

Для повышения структурной гибкости модели и упрощения анализа в крупных иерархических системах с избыточной детализацией, вводится механизм группировки рисков в блоки эквивалентного риска. Под блоком понимается подмножество рисков $R' \subseteq R$, обладающих схожими характеристиками воздействия, вероятностным поведением и отношением к целевым показателям. Блок эквивалентного риска B_q определяется как связный подграф, состоящий из вершин $r_i \in R$, объединённых общими признаками:

- общая сфера воздействия (например, финансы, безопасность, репутация);
- пространственная или организационная общность (например, один территориальный кластер);
- идентичная структура связи с КРІ или управляющими мерами;
- одинаковый режим сценарной активности или фильтрации.

На уровне модели блок B_q может рассматриваться как супервершина, которой сопоставляется агрегированное значение ущерба $M^{(B_q)}(t)$, вероятности наступления $p^{(B_q)}(t)$, а также обобщённая локализация и активность. Применение блоков эквивалентного риска позволяет сократить размерность графа и повысить его интерпретируемость, задать унифицированные управляющие меры для группы рисков, реализовать агрегированные визуализации и пространственные обобщения, повысить устойчивость модели к детализационным шумам в исходных данных.

Формально блоки B_q образуют покрытие множества рисков R , либо вложенную иерархию, что позволяет строить многоуровневые схемы анализа. В отдельных случаях блоки могут выступать как единицы управления – например, в стратегическом или территориальном планировании.

Множество связей. В модели риск-ориентированного управления множество $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ представляет совокупность ориентированных связей между вершинами графа. Эти связи формализуют причинно-следственные, функциональные и управляющие зависимости, отражающие динамику распространения рисков, направления воздействия управляющих мер и влияние рисков на достижение целей.

Каждая связь $e_{ij} \in E$ описывается как направленное ребро от вершины $v_i \in V$ к вершине $v_j \in V$ и сопровождается весом w_{ij} , отражающим силу или значимость влияния. Такая формализация позволяет задать направление причинно-следственной зависимости между элементами модели и количественно учесть интенсивность воздействия. При необходимости веса могут задаваться экспертно или определяться аналитически на основе данных мониторинга, статистики или имитационных сценариев. В модели различаются три типа связей:

- Мера управления \rightarrow Риск: связь $u_i \rightarrow r_j$ обозначает, что мера u_i снижает ущерб от риска r_j . Влияние задаётся вектором эффективности $E_R^{(i,j)}(t) = (e_{1(t)}, \dots, e_{k(t)}) \in [0,1]^k$, где каждая компонента $e_s(t)$ отражает степень ослабления ущерба в s -й сфере воздействия.
- Риск \rightarrow КРІ: связь $r_i \rightarrow k_j$ отражает влияние ущерба от риска r_i на целевой показатель k_j . Это влияние формализуется вектором чувствительности $W_R^{(i,j)}(t) = (w_{1(t)}, \dots, w_{k(t)})$, где каждая компонента w_s показывает, как ущерб в сфере s влияет на КРІ.
- Мера управления \rightarrow КРІ: прямая связь $u_i \rightarrow k$ может быть использована для отражения положительного воздействия меры на КРІ вне зависимости от наличия риска. Такая связь сопровождается скалярным весом $w_{U \rightarrow K}^{(i,j)} \in \mathbb{R}$.

В территориально-распределённых организационных системах последствия рисков редко ограничиваются локальными нарушениями. Незначительное событие на нижнем уровне может вызвать каскад изменений, влияющих на ключевые показатели эффективности. Такой эффект получил

название транзитивного риска, поскольку он реализуется не напрямую, а опосредованно, через цепочку взаимодействий и обратных связей между элементами системы.

В предлагаемой графовой модели транзитивность реализуется через многошаговые зависимости вида $u_i \rightarrow r_j \rightarrow k_l$, где мера u_i ослабляет риск r_j , а последний влияет на целевой показатель k_l . Таким образом, мера управления способна изменить значение КРІ не напрямую, а посредством трансформации рискованной среды. Это позволяет учитывать в модели не только явные воздействия, но и скрытую причинную структуру, характерную для сложных организационных систем.

Введённые механизмы позволяют количественно оценить, насколько эффективно та или иная мера управления способствует достижению целей через промежуточное влияние на риски, а также выявлять узловые риски – те, через которые передаётся наибольшее число транзитивных эффектов.

Пусть ущерб от риска r_l в момент времени t задан вектором $M^{(r_l)}(t) = (m_1, \dots, m_k)$. Если мера u_i воздействует на этот риск, снижая ущерб по сферам, то модифицированный ущерб $M'^{(r_l)}(t)$ рассчитывается как:

$$M'^{(r_l)}(t) = M^{(r_l)}(t) \cdot \left(1 - E_R^{(i,l)}(t) \right) \quad (13)$$

Здесь операция производится поэлементно, то есть $m'_s = m_s \cdot (1 - e_s)$ для каждой сферы s . Воздействие риска r_l на КРІ k_j определяется как:

$$\Delta V_j^{(r)}(t) = \sum_{s=1}^k m'_s(t) \cdot w_s^{(r \rightarrow k_j)} \quad (14)$$

где $w_s^{(r \rightarrow k_j)}$ – вес влияния ущерба в s -й сфере на КРІ k_j .

Для количественной оценки совокупного воздействия меры на систему предлагается формализация, учитывающая как прямые связи между мерами и показателями, так и каскадные цепочки влияния через риски. Общее изменение значения КРІ в момент времени t , обусловленное действием меры u_i , включает два компонента: транзитивное (через все риски, на которые влияет мера, и которые, в свою очередь, влияют на КРІ) и прямое (если мера оказывает прямое воздействие на КРІ, минуя риски) влияния.

$$\Delta V_j(t) = \sum_{r_l \in R} \sum_{s=1}^k m_s^{(r_l)}(t) \cdot \left(1 - e_s^{(u_i \rightarrow r_l)}(t) \right) \cdot w_s^{(r_l \rightarrow k_j)} + w^{(u_i \rightarrow k_j)} \quad (15)$$

где $m_s^{(r_l)}(t)$ – исходный ущерб по сфере s от риска r_l ,

$e_s^{(u_i \rightarrow r_l)}(t)$ – эффективность меры в ослаблении этого ущерба,

$w_s^{(r_l \rightarrow k_j)}$ – вклад ущерба в искажение КРІ,

$w^{(u_i \rightarrow k_j)}$ – прямой вклад меры в КРІ, если он задан.

Эта формализация позволяет количественно оценить вклад каждого управляющего воздействия в достижение целевых ориентиров и проводить многовариантный анализ сценариев управления, в том числе при одновременном действии нескольких рисков и мер.

В базовой постановке вес связи в графе интерпретируется как скалярная величина, отражающая интенсивность или силу воздействия между вершинами. Такой подход оправдан в простых моделях, где влияние можно выразить одной числовой оценкой. Однако в системах с многомерными зависимостями между рисками, целями и мерами управления этого оказывается недостаточно.

В предлагаемой модели допускается, что вес связи может быть задан в виде вектора или кортежа, где каждая компонента $w_{i,j}^{(s)}$ описывает отдельный аспект влияния, например: по различным сферам воздействия (финансовая, репутационная, операционная), по фазам реализации риска (момент возникновения, пиковая стадия, длительность), или по уровням приоритетности КРІ. В таких условиях становится необходимой агрегированная операция свёртки, которая позволяет обобщить поэлементные воздействия в единую числовую метрику. Такая формализация делает возможным точный и интерпретируемый расчёт изменения значения КРІ под действием многомерных рисков.

Пусть риск r_l в момент времени t характеризуется вектором ущербов по q сферам, а мера u_i снижает ущерб в каждой сфере с эффективностью $e^{(u_i \rightarrow r_l)}(t)$. В этом случае остаточный (смягчённый) ущерб от риска под действием меры определяется покомпонентно:

$$m'^{(r_l)}(t) = m^{(r_l)}(t) \odot \left(1 - e^{(u_i \rightarrow r_l)}(t) \right) \quad (16)$$

Результат свёртки (т.е. агрегированное воздействие риска на KPI) задаётся через скалярное произведение:

$$\Delta V_j(t) = \sum_{r_l \in R} \left\langle m^{(r_l)}(t) \odot (1 - e^{(u_i \rightarrow r_l)}(t)), w^{(r_l \rightarrow k_j)} \right\rangle + \left\langle m^{(u_i)}(t), w^{(u_i \rightarrow k_j)} \right\rangle \quad (17)$$

Значение $\Delta V_j(t)$ характеризует изменение (улучшение или ухудшение) KPI k_j в результате действия меры u_i с учётом прямого эффекта (если он есть), и того, насколько она изменила рисковую обстановку.

Таким образом, в рамках графовой модели риск-ориентированного управления организационными системами вершины представляют риски, цели (KPI) и управляющие воздействия, а дуги между ними отражают семантически осмысленные связи причинно-следственного или функционального характера. Типология этих связей критически важна для формализации управления, поскольку определяет, каким образом действия и события распространяют влияние внутри системы. Представленное обобщение позволяет унифицировать правила агрегации и расчёта на уровне графовой структуры, а также служит основой для визуализации, симуляции и сценарного анализа.

Совокупность функций, входящих в функциональную спецификацию Φ , определяет характер обработки информации в рамках конкретного сценария. В отличие от классического риск-ориентированного анализа, подход, реализуемый в рамках данной модели, охватывает также возможность изменения логики агрегации рисков, нормализации, трансформации сигналов и пространственно-временной фильтрации, а спецификация модели включает как параметрическую часть, так и функциональную (вычислительную).

В рамках предлагаемой модели риск-ориентированного управления в организационных системах, элемент $s_i \in S$ представляет собой идентификатор сценария функционирования – параметризованную конфигурацию условий, при которых осуществляется расчёт рисков, оценка эффективности управляющих воздействий и интерпретация значений целевых показателей (KPI). Каждый сценарий задаёт уникальный режим функционирования системы, отражающий как внешнюю ситуацию, так и внутреннее состояние инфраструктуры, ресурсов и управленческих ограничений.

Для повышения прикладной значимости модели в условиях реальных управленческих задач, целесообразно ввести типологизацию сценариев на основе характера предполагаемой динамики внешней среды и состояния системы. Наиболее типичной является следующая трехчленная классификация:

- Номинальные (базовые) сценарии описывают стандартные, плановые условия функционирования системы в штатной обстановке. Они служат эталоном для сравнения и оценки эффективности альтернатив. В них активны только риски с исторически обоснованной вероятностью, и меры управления применяются в рамках нормативного регулирования. Функции агрегации и фильтрации, как правило, настроены на лояльные параметры, допускающие слабую активность низкоуровневых рисков.
- Кризисные сценарии отражают развитие событий в условиях неблагоприятных факторов: нарастание угроз, отказ критической инфраструктуры, сбои поставок, природные или техногенные катастрофы. В модели такие сценарии характеризуются ростом вероятностей риска $p_i(t)$, расширением зон воздействия и увеличением значений ущербов $M_i(t)$. Активируются сценарные фильтры, включающие высокорискованные узлы, изменяются правила агрегации (например, применяется нелинейное усиление), возрастает приоритет антикризисных управляющих мер.
- Оптимистичные сценарии предполагают благоприятную динамику внешней среды: снижение рисков, рост устойчивости систем, эффективную работу контроля и мер. В модели это может выражаться в снижении входных вероятностей и ущербов, ослаблении фильтров, повышении эффективности управляющих мер. Такие сценарии используются для верификации устойчивости стратегий и поиска точек роста эффективности KPI при низкой нагрузке угроз.

Возможна и более детализированная классификация — например, сценарии планового развития, техногенных рисков, климатических аномалий, геополитических изменений и др. При этом каждый сценарий может быть представлен как отдельный конфигурационный объект, включающий пространственно-временные рамки, список активных рисков и мер, используемые функции агрегирования, нормы нормализации, специфику управления. Это позволяет использовать сценарии в рамках стресс-тестирования, планирования адаптивных мер и анализа чувствительности показателей системы к внешним воздействиям.

3. Архитектура программной реализации

Разработка моделей управления в организационных системах, ориентированных на учет рисков и поддержку принятия решений, требует не только теоретической формализации, но и реализации адаптируемых программных решений. В условиях высокой изменчивости среды и гетерогенности данных необходимо обеспечить гибкость архитектуры модели, её расширяемость, повторное использование компонентов и возможность модификации логики поведения без переписывания системы. Архитектура программной реализации модели для управления рисками в организационных системах построена с учётом принципов масштабируемости, гибкости и модульности. В основе архитектуры лежит концепция разделения системы на независимые слои и модули, что способствует снижению связности, упрощению модификаций и расширяемости. Такая структура позволяет адаптировать систему к разнообразным сценариям, обеспечить её поддержку и улучшение без серьезной переработки уже существующих компонентов.

Модульность и разделение ответственности. Система спроектирована на основе принципа разделения ответственности, который предписывает, что каждый компонент должен выполнять свою конкретную задачу. Модель рисков, компоненты визуализации, вычислительные функции и интеграции с внешними источниками данных реализованы в отдельных слоях, что обеспечивает слабую связанность между ними и минимизирует вероятность ошибок при модификации одной из частей системы. Архитектура программной реализации риск-ориентированной модели управления изначально проектировалась с учётом требований к масштабируемости и модульности. В основе лежит не только логическое разделение слоёв, но и строгая декомпозиция зависимостей, минимизирующая связанность компонентов. Для этого используется не классическая иерархия зависимостей от конкретных реализаций, а формализованная модель, опирающаяся на абстракции и отображения между множествами, реализующая обобщённый принцип инверсии зависимостей. В системе выделены следующие ключевые уровни:

- Модельный слой, управляющий структурами данных и состояниями риск-ориентированной модели, включая риски, цели, управляющие воздействия и их взаимосвязи.
- Слой логики системы, реализующий вычисления, сценарии агрегации, фильтрацию и нормализацию данных.
- Интерфейс и взаимодействие с пользователем: визуализирует данные, предоставляет пользователю возможность редактировать модель и взаимодействовать с системой на основе графического веб-интерфейса.
- Интеграционный слой обрабатывает взаимодействие с внешними источниками данных и сервисами ИПД.

Представленная архитектура обеспечивает гибкость, масштабируемость и расширяемость системы управления рисками в организационных системах. Каждый компонент системы отвечает за строго определённую задачу, а соблюдение принципов SOLID позволяет адаптировать систему под новые требования. Внедрение модели плагинов для вычислительных функций и расширение через интеграцию с внешними источниками данных делает систему легко модифицируемой, что важно для применения в динамичных и неопределённых управленческих средах.

4. Риск-ориентированные геопорталы как инструмент управления регионом

В условиях возрастающей пространственной и структурной сложности регионального управления особую значимость приобретает формализация механизмов отображения, анализа и интерпретации рисков с учётом их пространственной географической специфики. Встраивание риск-ориентированной модели в информационно-аналитическую инфраструктуру региона требует не только онтологически согласованного представления управляющих воздействий, целей и рисков, но и их пространственной репрезентации, адекватной задачам территориального планирования и ресурсного обеспечения. В этой связи обоснованным представляется переход от риск-ориентированных моделей к расширенным цифровым пространственным платформам – геопорталам, способным обеспечить интеграцию моделей риска с цифровыми двойниками управляемых объектов, описываемыми через систему тематических слоев.

Системное значение геопорталов как инструментов стратегического управления подчёркивается и в рамках современных подходов к региональному целеполаганию и управлению возможностями. Так, в монографии Института проблем управления РАН [2] определено, что оценка вариантов социально-экономического развития региона, требует пространственно-ассоциированной информации о рисках, ресурсах и ограничениях. Геопорталы в этом контексте становятся инструментом поддержки принятия

управленческих решений, обеспечивая проекцию управленческих целей на конкретные геозоны с учётом пространственно определяемых сценариев воздействия.

Моделирование развития региона требует опоры на детализированную пространственную информацию о рисках, ресурсах и институциональных ограничениях, что невозможно без построения инфраструктур пространственных данных. Выполнению обозначенной функциональной нагрузки способствуют геопорталы «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» (<https://meta.rgo.life>) и «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» (<https://map.rgo.life>), архитектура которых ориентирована на воспроизведение структурных особенностей территориальной системы Республики Мордовия. Разнообразие тематических слоёв (от литологических и гидрогеологических до этнокультурных и урбанистических) отражает сложную топологию сопряжённых рисков и пространственную специфику их управляемости.

Пространственная специфика управления в Республике Мордовия формируется под влиянием сложной мозаики природных, этнокультурных и институциональных факторов. Регион характеризуется высокой долей сельских территорий, многообразием типов почв и водоносных горизонтов, а также выраженной этнокультурной дифференциацией. Визуальное и аналитическое развертывание этих множеств в географическом пространстве осуществляется средствами геопорталов, выступающих как интерфейсные оболочки риск-ориентированной модели.

1. Систематизация и визуализация рисков R в геопорталах. В геопортале meta.rgo.life представлены тематические слои, позволяющие пространственно идентифицировать риски как природного, так и техногенного характера, что делает возможным формализацию множества R как совокупности геопривязанных угроз развитию региона. Рассмотрим следующие ключевые тематические слои:

- «Оползни» содержит классификацию по ряду параметров, фиксирует геозоны с повышенной геодинамической нестабильностью, влияющей на устойчивость инфраструктуры и землепользования.
- Система слоев о подземных водах («Тип вод», «Класс вод», «Содержание сульфатов, фторидов, хлоридов, железа») позволяют оценивать риск ухудшения качества водоснабжения и санитарно-экологических условий, особенно в районах с преобладанием гидрокарбонатно-хлоридных и натриевых вод.
- «Четвертичные отложения» и «Литологический состав» позволяют выявлять геозоны с низкой несущей способностью грунтов, риском просадок, что критично при планировании застройки и инфраструктуры.
- «Почвы» позволяют пространственно зафиксировать риски водной и ветровой эрозии, деградации почв, изменения структуры агроландшафтов.
- «Глубина залегания грунтовых вод» в сочетании с типами почв и рельефом позволяет локализовать зоны риска подтопления и переувлажнения, особенно на низких поймах.

Геопортал map.rgo.life, ориентированный на социокультурные и инфраструктурные аспекты развития региона, также содержит слои, из которых извлекаются данные и знания о рисках институционального и антропогенного характера, в частности – риски потери идентичности, пространственной изоляции, деградации среды обитания. Рассмотрим ряд тематических слоев:

- «Национальный состав населенных пунктов» – позволяет фиксировать геозоны с уязвимостью этнокультурного баланса, особенно в районах резкого преобладания одной группы или фрагментации традиционных ареалов (например, эрзя, мокша).
- «Храмы, соборы, мечети» и «Объекты культуры» в том числе посредством атрибута «Состояние» позволяет идентифицировать зоны риска утраты культурного наследия и деградации смысловых центров социума.
- «Археологические объекты» – отражает риски деструкции памятников истории в случае отсутствия мер охраны или планируемой застройки.
- Слой «Многоквартирные дома» позволяет оценивать риски старения жилфонда, технической изношенности, диспропорций в обеспеченности жильём, особенно в периферийных районах, демонстрирует пространственную экспансию депопуляции и риски институционально обусловленного оттока населения, сопровождающегося снижением доступности базовых услуг.

Таким образом, множество R в обоих геопорталах охватывает не только природные, но и социально-пространственные риски, что позволяет реализовать многомерную картину уязвимостей региона и формировать привязанные к ним меры управления в соответствии с риск-ориентированным подходом.

2. Отображение множества целей и показателей эффективности K в геопорталах. Геопортал meta.rgo.life ориентирован на системный анализ природно-ресурсной устойчивости и

геоэкологическое сопровождение процессов развития региона. Соответственно, множество показателей эффективности K здесь связано с измерением целевых состояний природной среды, обеспеченности ресурсами и устойчивости территориальных структур. Конкретные КРІ фиксируются через следующие слои:

- «ООПТ» (особо охраняемые природные территории) – фиксирует долю охраняемой территории, степень её фрагментации и связанности.
- «Почвы» + «Эколого-геохимическая устойчивость» – определяют устойчивость агроферы к антропогенным нагрузкам.
- «Водоносные горизонты», «Класс вод», «Содержание загрязняющих веществ» – измеряют качество и доступность водных ресурсов, в том числе с позиции питьевых характеристик (по содержанию фторидов, железа, сульфатов).
- «Полезные ископаемые» (ГИС «Мордовия» и Госреестр) – формирует основу для оценки эффективности ресурсного использования и освоения участков.
- «Ландшафты», «Тип почв», «Гидрогеология» – позволяют строить КРІ ландшафтной устойчивости, биоклиматического потенциала, пригодности к освоению.

Геопортал map.rgo.life фокусируется на социокультурных и институциональных аспектах, поэтому соответствующие КРІ связаны с обеспеченностью социальной инфраструктурой, сохранением идентичности, состоянием жилфонда и доступом к культурному наследию:

- «Национальный состав населенных пунктов» – позволяет вычислить уровень этнокультурной гомогенности или разнообразия по районам на основе индекса этнической фрагментации.
- «Храмы, соборы, мечети» – фиксируют степень сохранности и доступности культовых объектов.
- «Объекты культуры», «Этнокультурные центры», «Археологические объекты» – позволяют оценивать институциональную насыщенность среды с позиции туристской отрасли, предоставляют базу для оценки сохранности объектов исторического наследия.

Разработка формализованной системы оценки эффективности управления развитием региона в рамках риск-ориентированного подхода требует перехода от дескриптивного пространственного описания к вычислимой метрике — системе целевых показателей эффективности (КРІ). В предлагаемой модели, основанной на геопортальных данных meta.rgo.life и map.rgo.life, КРІ трактуются как функции на множестве пространственных единиц, позволяющие не только локализовать целевые отклонения, но и агрегировать информацию в разрезе управляющих воздействий. Такая интерпретация КРІ как пространственных отображений согласуется с системным подходом, изложенным в [2] и ранее представленной графовой моделью управления, где вершины множества K служат целевыми ориентирами для мер U , направленных на подавление рисков R .

Формально КРІ задаётся как функция K , определяющая уровень достижения конкретных целей для территории. КРІ не является абстрактным числом, а представляет собой локальную функцию управляемости территории.

При формировании пространственно-функционального определения КРІ рассматривается дискретное множество пространственных единиц $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m\}$. Каждому показателю $k_i \in K$ сопоставляется отображение $k_i: \Pi \rightarrow R$, такое, что $k_i(\pi_j)$ фиксирует значение показателя эффективности на элементарной пространственной единице π_j . Эта функция может быть скалярной (например, уровень загрязнения), векторной (структура жилфонда) или категориальной (состояние ООПТ). Для обеспечения сопоставимости различных показателей может быть введено шкалирование.

Во многих случаях КРІ формируется не из одного слоя, а из композиции нескольких пространственных источников:

$$k_i(\pi_j) = f(L_1(\pi_j), L_2(\pi_j), \dots, L_q(\pi_j)) \quad (18)$$

где L_q – тематические слои (например, «Тип почвы», «Рельеф», «Глубина грунтовых вод»), а f – аналитическая или логическая функция. Именно такой подход реализуется при построении КРІ устойчивости агроландшафтов или риска подтоплений.

В контексте предложенной риск-ориентированной модели, каждый КРІ $k_i \in K$ может быть представлен как функция результирующего воздействия управляющих мер U на структуру рисков R в пространственном контексте:

$$k_i(\pi_j) = \phi_i(R(\pi_j), U(\pi_j)) \quad (19)$$

где ϕ_i – отображение, моделирующее сценарную чувствительность показателя к рисковому и управляющим воздействиям. Таким образом, КРІ выступают одновременно метрикой управляемости и целеориентированной функцией модели развития региона.

КРІ показывает, насколько успешно реализуется заданный вектор развития в конкретных точках пространства – от населённых пунктов до природных ландшафтов. Геопорталы Мордовии предоставляют необходимые слои для вычисления указанных пространственных КРІ устойчивого природопользования, оценки демографической и инфраструктурной сбалансированности. КРІ в данной модели перестаёт быть усреднённым показателем – он становится функцией, отображающей динамику и потенциал управляемости по территории региона, что и позволяет использовать его в итеративном процессе синтеза управляющих воздействий.

3. *Синтез управляющего воздействия* в территориально-иерархической модели региона осуществляется как пространственно-адаптивная функция, минимизирующая интегральную функцию риска и отклонение целевых показателей от эталона, с учётом институциональных и ресурсных ограничений конкретных территориальных единиц ω , с учётом допустимых управленческих ресурсов, институциональных ограничений и приоритетов развития.

Для каждой $\omega \in \Omega$ требуется выбрать $u_j \in U$ так, чтобы:

$$u_j^*(\omega) = \arg \min_{u \in \mathcal{U}(\omega)} [\alpha \cdot R_{agg}(\omega, u) + \beta \cdot |K(\omega, u) - K^{цель}(\omega)|], \quad (20)$$

где $\mathcal{U}(\omega) \subseteq U$ – множество допустимых воздействий в регионе ω ,

$R_{agg}(\omega, u)$ – агрегированный риск в регионе ω после применения воздействия u ,

$K(\omega, u)$ – вектор КРІ после воздействия u ,

$K^{цель}(\omega)$ – вектор целевых значений КРІ,

$\alpha, \beta \in R_+$ – весовые коэффициенты баланса безопасности и целевого эффекта.

Так как региональная система иерархична, синтез управляющего воздействия должен удовлетворять иерархическому принципу согласования, при котором воздействия нижнего уровня не должны противоречить стратегиям, заданным выше, и обязаны учитывать локальные риски и потенциалы.

5. Выводы

В статье представлена ориентированная взвешенная графовая модель, в которой риски, цели (КРІ) и управляющие воздействия представлены в виде вершин, а причинно-следственные, управляющие и транзитивные зависимости — в виде направленных рёбер. В отличие от табличных и стохастических моделей, данный подход позволяет моделировать сложную структуру опосредованных воздействий, поддерживать каскадный анализ и учитывать как прямые, так и структурно опосредованные связи между элементами системы.

Разработана многоуровневая атрибутивная модель узлов графа, включающая вероятностные характеристики, пространственно-временную локализацию, а также многомерную оценку ущерба с поддержкой числовых, интервальных, лингвистических и нечетких форм представления. Это обеспечивает универсальность модели и возможность совмещённой обработки разнородных источников данных, что недоступно в классических риск-моделях с жёстко заданным типом оценки.

Введены позитивные риски как особый тип вершин с отрицательным вектором ущерба, моделирующий пространственно локализованные возможности, а также блоки эквивалентного риска как агрегаты однородных угроз. Это расширяет применимость модели не только к задачам снижения потерь, но и к управлению развитием и поиску точек роста, что отличает предложенный подход от традиционно негативно ориентированных моделей угроз. Формализована пространственная структура модели, включающая типологию форм локализации (точечные, зональные, индексные, нечеткие и динамические), а также механизмы пространственной фильтрации и агрегации. Это позволяет интегрировать модель с ГИС и геопорталами, учитывать географические особенности при планировании мер, что отсутствует в большинстве существующих подходов к управлению рисками.

Разработана модульная архитектура программной реализации, основанная на инверсии зависимостей. Это обеспечивает адаптацию модели к различным сценариям функционирования без изменения кода базовых компонентов, отличается от монолитных реализаций жёстко заданной логики и обеспечивает расширяемость при изменении условий среды. Модель интегрирована с геопорталами Республики Мордовия, что позволяет пространственно соотносить риски, цели и управляющие воздействия с тематическими слоями региональной информации. Такая интеграция обеспечивает

сценарный анализ, визуализацию и поддержку пространственно-обоснованных решений, в отличие от абстрактных моделей без привязки к конкретной территориальной инфраструктуре.

Литература

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 500 с.
2. Управление развитием региона: моделирование возможностей / под ред. Д. А. Новикова. – М.: URSS; ИПУ РАН, 2023. – 432 с. – ISBN 978-5-9710-4270-9.
3. Чернов И. В. Сценарно-когнитивное моделирование сложных систем на основе событийной идентификации динамики факторов // Проблемы управления. – 2023. – № 3. – С. 65–76. – DOI 10.25728/ru.2023.3.5.
4. Peng G., Bang K. E., Markeset T. Country risk mapping in a changing world: Comparative survey on academic research and industrial practices // International Journal of System Assurance Engineering and Management. – 2023. – Vol. 14, № 6. – P. 2341–2357.
5. Yamashkin S. Risk-Oriented Geoportal Systems and the Internet of Things as a Tool for Managing Metageosystems / S. Yamashkin, A. Yamashkin, M. Radovanović [et al.] // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2023. – 71(11). – P. 159–170.
6. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска – Национальный стандарт Российской Федерации. Разработан НП «РусРиск», утверждён Приказом Росстандарта от 17.12.2019 № 1405-ст; введён в действие с 01.03.2020. – М.: Стандартиформ, 2020. – 19 с.
7. ГОСТ Р 70846.2-2023. Национальная система пространственных данных. Термины и определения – Национальный стандарт Российской Федерации. Утверждён Приказом Росстандарта от 22.11.2023 № 1454-ст; введён в действие с 01.03.2024. – М.: Стандартиформ, 2023. – 20 с.