

УДК 004.051:519.816
DOI 10.17513/snt.40577

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО АНАЛИЗА

**Счастливцев В.А., Смирнов А.С. ORCID ID 0000-0003-1661-9089,
Матвеев А.В. ORCID ID 0000-0002-0778-3218,
Билиятдинов К.З. ORCID ID 0000-0003-4027-1449**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева», Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: vlsch1004@mail.ru

В условиях роста частоты и масштабов чрезвычайных ситуаций лица, принимающие решения, сталкиваются с необходимостью оперативно действовать в обстановке высокой неопределенности, дефицита времени и неполной информации. Традиционные системы поддержки принятия решений, основанные на жестких правилах и априорных данных, часто оказываются неэффективными, поскольку не способны учитывать уникальность каждой новой кризисной ситуации. Целью данного исследования является обоснование путей повышения оперативности и адекватности управленческих решений при реагировании на чрезвычайные ситуации за счет разработки модели, основанной на методе прецедентного анализа. Этот подход позволяет использовать накопленный опыт прошлых инцидентов для поддержки принятия решений в новых, но схожих условиях. Методология исследования базируется на модифицированном методе k-ближайших соседей для поиска релевантных исторических сценариев. Для формализации описания чрезвычайных ситуаций была разработана многоуровневая модель, включающая шесть взаимосвязанных слоев: событие, сценарий, объект, фактор, меры реагирования и оценка. Предложены процедуры нормализации и взвешивания разнородных факторов, а также алгоритм адаптации найденных решений путем удаления, дополнения и модификации действий из исторических сценариев. Основные результаты включают формализованную метрику для оценки сходства сценариев, учитывающую как количественные, так и качественные (в том числе нечеткие) данные, и механизм формирования оптимального плана реагирования на основе интегральной оценки эффективности альтернатив. Разработанная модель обеспечивает интеграцию накопленного опыта в процессы реагирования на чрезвычайные ситуации, сокращает время поиска решений и повышает точность управленческих действий.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, прецедентный анализ, модель принятия решений, сценарный подход, поддержка принятия решений

A DECISION-MAKING MODEL FOR EMERGENCY SITUATIONS BASED ON PRECEDENT ANALYSIS

**Schastlvtsev V.A., Smirnov A.S. ORCID ID 0000-0003-1661-9089,
Matveev A.V. ORCID ID 0000-0002-0778-3218,
Bilyatdinov K.Z. ORCID ID 0000-0003-4027-1449**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev", Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: vlsch1004@mail.ru

As emergency situations increase in frequency and scale, decision makers are faced with the need to act quickly in an environment of high uncertainty, time pressure, and incomplete information. Traditional decision support systems based on rigid rules and a priori data are often ineffective because they fail to account for the unique nature of each new crisis situation. The purpose of this study is to substantiate ways to improve the efficiency and adequacy of management decisions in response to emergency situations by developing a model based on the method of case analysis. This approach leverages the accumulated experience of past incidents to support decision making in new but similar situations. The research methodology is based on a modified k-nearest neighbors method to search for relevant historical scenarios. To formalize the description of emergency situations, a multilevel model was developed, comprising six interconnected layers: event, scenario, object, factor, response measures, and assessment. Procedures for normalizing and weighting heterogeneous factors are proposed, as well as an algorithm for adapting the identified solutions by removing, adding, and modifying actions from historical scenarios. The main results include a formalized metric for assessing the similarity of scenarios, taking into account both quantitative and qualitative (including fuzzy) data, and a mechanism for generating an optimal response plan based on an integrated assessment of the effectiveness of alternatives. The developed model ensures the integration of accumulated experience into emergency response processes, reduces the time required to find solutions, and improves the accuracy of management actions.

Keywords: emergency situations, precedent analysis, decision-making model, scenario approach, decision support

Введение

Возрастающая урбанизация, рост сложности технических систем, развитие масштабов критической инфраструктуры, климатические изменения и рост интенсивности антропогенных нагрузок существенно увеличивают частоту и потенциальные последствия чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), реализация которых требует принятия оперативных, обоснованных и адекватных управленческих решений [1]. При этом лицо, принимающее решения (далее – ЛПР), в условиях ЧС сталкивается с проблемами, которые характеризуются: острым дефицитом времени на принятие решений; высокой степенью неопределенности знания о масштабах, причинах и динамике развития ЧС, когнитивной и психологической перегрузкой, уникальностью каждой ситуации.

Безусловно, в академической среде активно развиваются методы поддержки принятия решений (теория перспектив, экспертные оценки и др. [2, 3]), но их применение к задачам в условиях ЧС остается ограниченным [4].

Традиционные системы поддержки принятия решений (далее – СППР), построенные на априорных знаниях, сталкиваются с фундаментальными ограничениями. Экспертные системы, основанные на правилах «ЕСЛИ-ТО», не способны обрабатывать ситуации, не предусмотренные базой правил [5]. Оптимизационные модели (например, задачи распределения ресурсов) требуют точных входных данных, которые в первые минуты ЧС зачастую отсутствуют.

Одним из перспективных направлений совершенствования принятия решений при ЧС является использование опыта реагирования на прошлые инциденты. Формализованные знания о том, как подобные (хотя и не идентичные) проблемы решались в прошлом, важны в условиях кризисных ситуаций [6]. Прецедентный анализ предполагает, что решения для текущих задач могут быть найдены либо адаптированы на основе анализа схожих прецедентов, аккумулированных в виде базы знаний. В условиях ЧС такая модель предоставляет возможность быстро получить практические рекомендации, опираясь на уже реализованные успешные (или неудачные) решения, тем самым уменьшая время реакции и повышая вероятность адекватного управленческого решения.

Несмотря на интуитивную привлекательность прецедентных подходов, их применение в области управления ЧС требует системной научной проработки. Проблема заключается в отсутствии эффективного механизма для оперативной актуализации, адаптации и применения этого прошлого опыта к новой, уникальной проблеме. Не-

обходимы формальные методы описания прецедентов, критерии сопоставимости событий, механизмы адаптации решений к новым ситуациям, а также способы учета неопределенности при возникновении ЧС.

Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимостью разработки и внедрения интеллектуальных инструментов, способных обеспечить ЛПР быстрое, обоснованное и эффективное принятие решений при ЧС на основе накопленного опыта, даже в условиях неполной информации и высокой неопределенности.

Целью исследования является обоснование путей повышения оперативности и адекватности управленческих решений при реагировании на ЧС за счет интеллектуального поиска, адаптации и оценки релевантных исторических сценариев. Основная задача исследования состоит в разработке модели принятия решений при ЧС, основанной на методе прецедентного анализа.

Материалы и методы исследования

Исследование реализует междисциплинарный подход, объединяющий методы теории принятия решений, управления рисками, машинного обучения и организационного поведения. В рамках предлагаемого в статье подхода прецедентный анализ выступает инструментом, позволяющим формализовать и повторно использовать опыт прошлых решений [7]. Его ключевое достоинство состоит в способности «учиться из опыта» без необходимости явного моделирования всех зависимостей и причинно-следственных связей, что особенно важно при высокой неопределенности и динамичности ЧС [8].

Для адаптации метода прецедентного анализа к специфике ЧС требуется формализация структуры прецедента (события), метрик сходства и процедур адаптации решений [9, 10].

Для описания и анализа ЧС предлагается многомерная модель сценарного пространства. Эта модель позволяет систематизировать информацию и структурировать развитие ЧС как процесс, состоящий из последовательности или совокупности сценариев. Она служит теоретической основой для построения модели принятия решений ЛПР, обеспечивая структурированный подход к анализу ситуации.

Результаты исследования и их обсуждение

Структура модели представляется шестью взаимосвязанными слоями (уровнями), образующими единую цепочку: Событие → Сценарий → Объект → Фактор → Меры реагирования → Оценка (рис. 1).

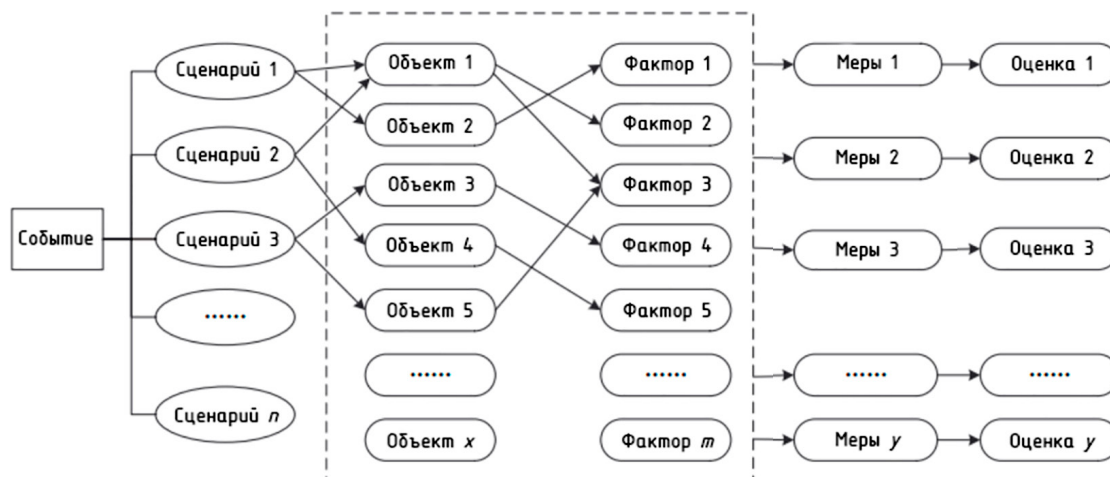


Рис. 1. Структура многомерного представления пространства сценариев
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

1. Событие – это полный цикл ЧС: от момента возникновения до полной ликвидации последствий. Каждое событие состоит из одного или нескольких возможных сценариев, которые отражают конкретные этапы или аспекты развития событий.

2. Сценарий – это описание текущей ситуации в конкретный момент времени и в определенном месте.

3. Объект – это материальный элемент, который либо является источником угрозы, либо объектом воздействия.

4. Фактор – это количественная или качественная характеристика, описывающая состояние объекта или сценария в целом. Значения факторов меняются во времени, что и отражает динамику развития ЧС.

5. Меры реагирования – это действия сил и средств МЧС и других ведомств, направленные на локализацию и ликвидацию ЧС.

6. Оценка – результат анализа эффективности принятых мер. Этот этап критически

важен, так как позволяет накапливать опыт, корректировать планы и пополнять базу данных исторических прецедентов для будущего использования.

Для представления развития сценариев каждый из них можно представить как точку в многомерном фазовом пространстве, где каждая ось – это один из факторов, характеризующий данный сценарий (рис. 2).

Развитие ЧС может происходить двумя основными путями:

1. Развитие внутри одного сценария (рис. 3, а). Характеристики сценария меняются, но его суть остается прежней.

2. Развитие через смену сценариев (рис. 3, б), когда реализуется каскадное развитие ЧС. Один сценарий сменяется другим, более сложным или масштабным. Возникает цепная реакция, когда одно событие вызывает другое, а совокупность этих событий формирует сложную, многокомпонентную кризисную ситуацию.

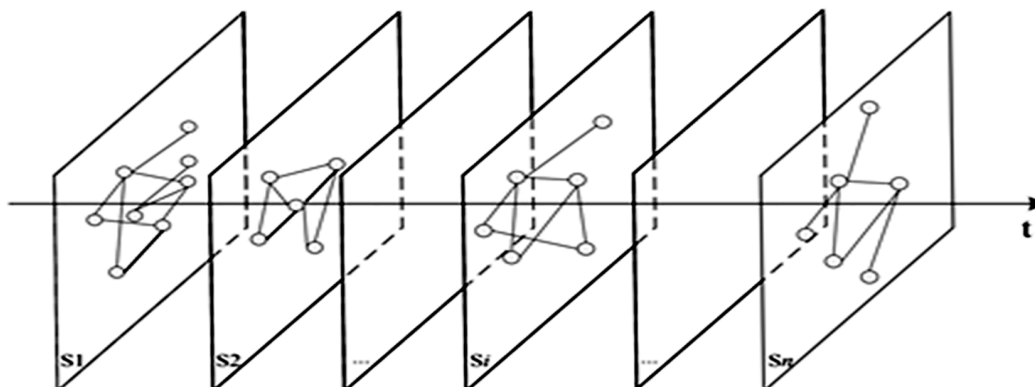


Рис. 2. Модель развития сценария
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

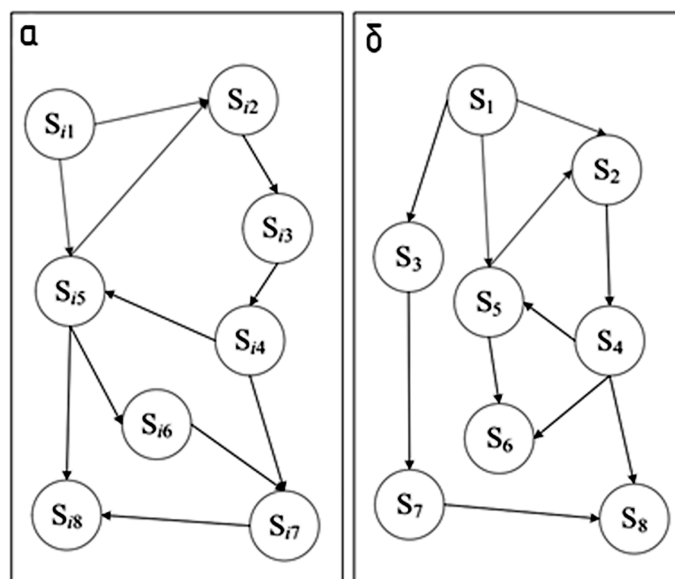


Рис. 3. (а) модель развития одного сценария;
(б) модель каскадного развития нескольких сценариев
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Каждый новый сценарий характеризуется уже новой точкой фазового пространства, со своим набором объектов и факторов. Учет этих связей позволяет ЛПР не просто реагировать на текущую угрозу, но и прогнозировать возможные сценарии развития событий, заблаговременно принимая превентивные меры.

Для эффективного принятия решений в условиях ЧС необходимо не просто фиксировать факт ее возникновения, а понимать причины и условия ее развития. В основе этого понимания лежит выделение факторов, то есть тех элементов, которые определяют динамику сценария, его масштаб и потенциальную опасность. Именно эти факторы становятся основой для принятия решений ЛПР.

В данном исследовании предлагается системный подход к выделению факторов, основанный на анализе структуры самого сценария. Каждый отдельный сценарий ЧС можно представить как совокупность взаимосвязанных характеристик. Эти характеристики (факторы) описывают состояние объектов, условия окружающей среды и действия сил и средств реагирующих подразделений. От того, насколько точно и в полной мере они выделены, зависит как качество всей последующей аналитики, так и эффективность принимаемых управленческих решений.

Важно учитывать, что сценарий динамично меняется под влиянием внешних условий и действий сил и средств реагирующих подразделений. То есть действия МЧС и дру-

гих служб являются активными факторами, влияющими на развитие сценария, и должны быть включены в его описание наравне с природными и техногенными условиями.

В основе описания лежит четырехкомпонентная модель (рис. 4), которая охватывает основные аспекты ЧС:

$$S(E) = \{X, Y, T, D\},$$

где X – факторы – источники ЧС. Они делятся на две основные категории: природные факторы, антропогенные (техногенные) факторы;

Y – объекты – носители угрозы. Это материальные объекты или элементы, которые подвергаются воздействию источника ЧС или сами становятся источниками вторичной угрозы;

T – условия среды. Это внешние факторы, которые влияют на скорость и масштаб развития ЧС;

D – действия сил и средств реагирующих подразделений. Это комплекс мер, предпринимаемых МЧС России и другими ведомствами, предприятиями для локализации и ликвидации ЧС.

Анализ развития ЧС показывает, что сложившийся определенный сценарий является основным элементом в принятии решений. Исходя из этого, предлагается трансформация классического подхода «рассуждение по прецедентам» в «рассуждение по сценариям». Это позволяет значительно ускорить поиск оптимального плана действий и повысить точность принятия решений.

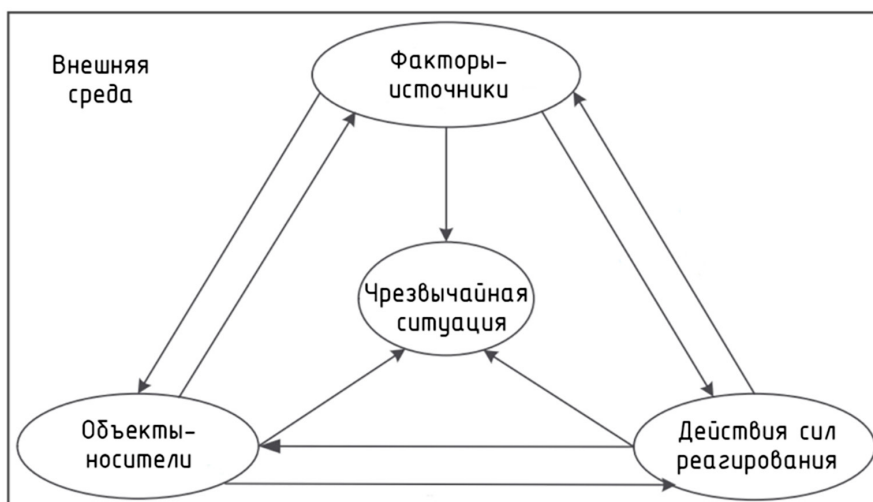


Рис. 4. Факторы ЧС и их взаимосвязь

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

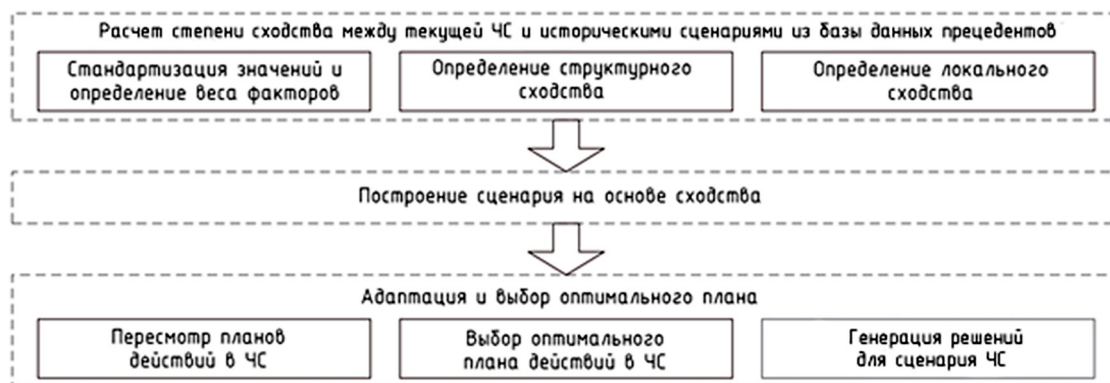


Рис. 5. Схема модели принятия решений при ЧС

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Схема модели принятия решений при ЧС представлена на рис. 5.

Для количественной оценки сходства используется взвешенная формула, основанная на методе k -ближайших соседей (KNN) [11, 12].

Общая мера сходства $L(S_0, S_i)$ между текущим сценарием S_0 и историческим сценарием S_i (прецедентом) рассчитывается следующим образом:

$$L(S_0, S_i) = e_i \cdot \sum_{k=1}^m w_k \cdot L_k(S_0, S_i),$$

где $L_k(S_0, S_i)$ – локальное сходство по k -му фактору сценария (показывает, насколько близки значения определенного фактора в текущем и историческом сценариях);

w_k – вес k -го фактора (отражает его значимость для развития ЧС, определяет-

ся экспертами с помощью метода анализа иерархий);

e_i – структурное сходство (показывает, насколько полно описаны сценарии);

m – общее количество факторов, описывающих сценарий.

Чем ближе значение $L(S_0, S_i)$ к 1, тем выше сходство между сценариями и тем более релевантным является данный прецедент для текущей ситуации.

Для возможности сравнения факторов их значения необходимо нормировать (привести к единому масштабу от 0 до 1) с помощью метода диапазона [13, 14]:

– для положительных факторов (чем больше значение, тем хуже ситуация):

$$f_{ik} = \frac{a_{ik} - (a_k)_{\min}}{(a_k)_{\max} - (a_k)_{\min}};$$

– для отрицательных факторов (чем больше значение, тем лучше):

$$f_{ik} = \frac{(a_k)_{\max} - a_{ik}}{(a_k)_{\max} - (a_k)_{\min}}.$$

Здесь a_{ik} – значение k -го фактора в i -м сценарии, а $(a_k)_{\max}$ и $(a_k)_{\min}$ – максимальное и минимальное значения этого фактора по всей базе сценариев.

Поскольку факторы могут быть представлены в разных форматах, для каждого типа данных используется своя процедура расчета локального сходства $L_k(S_0, S_i)$:

$$L_k(S_0, S_i) = \exp \left(- \frac{\sqrt{(f_{ik}^x - f_{0k}^x)^2 + (f_{ik}^y - f_{0k}^y)^2 + (f_{ik}^z - f_{0k}^z)^2}}{\max \left(\sqrt{(f_{ik}^x - f_{0k}^x)^2 + (f_{ik}^y - f_{0k}^y)^2 + (f_{ik}^z - f_{0k}^z)^2} \right)} \right).$$

Здесь $[f_{ik}^x, f_{ik}^y, f_{ik}^z]$ – треугольное нечеткое число, описывающее значение фактора в историческом сценарии, а $[f_{0k}^x, f_{0k}^y, f_{0k}^z]$ – в текущем сценарии.

3) Для категориальных данных сходство определяется простым совпадением:

$$L_k(S_0, S_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } f_{ik} = f_{0k} \\ 0, & \text{если } f_{ik} \neq f_{0k} \end{cases}.$$

Структурное сходство e_i рассчитывается в несколько шагов:

1. Определяется множество всех заполненных факторов текущего сценария S_0 (обозначим его как A).

2. Определяется множество всех заполненных факторов исторического сценария S_i (обозначим его как B).

3. Находится пересечение этих множеств $I = A \cap B$ и их объединение $U = A \cup B$.

4. Рассчитывается сумма весов всех факторов в пересечении:

$$w_1 = \sum_{k \in I} w_k.$$

5. Рассчитывается сумма весов всех факторов в объединении:

$$w_2 = \sum_{k \in U} w_k.$$

6. Структурное сходство определяется как отношение

$$e_i = \frac{w_1}{w_2}.$$

Значение e_i находится в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение e_i к 1, тем больше общих факторов заполнено в обоих

1) Для точных числовых данных используется экспоненциальная функция на основе расстояния между нормированными значениями:

$$L_k(S_0, S_i) = \exp \left(- \frac{\sqrt{(f_{ik} - f_{0k})^2}}{\max \left(\sqrt{(f_{ik} - f_{0k})^2} \right)} \right).$$

Эта формула обеспечивает плавное уменьшение сходства с ростом различий в значениях.

2) Для нечетких данных могут применяться треугольные нечеткие числа [15]:

сценариях, тем, соответственно, надежнее сравнение.

После расчета степени сходства для всех исторических сценариев (прецедентов), отбираются те, для которых $\text{SIM}(S_0, S_i) > \delta$, где δ – заданный порог сходства. Он может быть задан фиксированно или рассчитан динамически, например, по принципу «простого большинства»:

$$\delta = \frac{L_{\min} + L_{\max} + L_{\text{med}}}{3},$$

где $L_{\min}$, $L_{\max}$, L_{med} – минимальное, максимальное и медианное значения сходства по всем прецедентам.

Все отобранные сценарии формируют множество схожих сценариев $S_L = \{S_i; L(S_0, S_i) > \delta\}$, которые могут быть использованы при принятии решений по формированию плана реагирования.

Поскольку каждая ЧС сама по себе уникальна, зависит от конкретных условий, обстоятельств, то простое копирование решений даже из наиболее похожего прецедента едва ли может быть реализуемо. Поэтому предлагается следующая процедура корректировки решений на основе анализа прецедентов с использованием экспертного оценивания:

1. Удаление. Если часть плана реагирования из прецедента (исторического сценария) объективно не может быть реализована в текущих условиях, то она исключается.

2. Адаптация. Если некоторые составляющие плана реагирования или решения

прецедента не подходят в полной мере к ЧС, но содержат полезную информацию для текущего сценария ЧС, то ЛПР могут адаптировать ее под текущую ситуацию, сделав их применимыми.

3. Дополнение. Если план действий при похожем прецеденте слишком прост или неполон по сравнению с текущим сценарием, то ЛПР могут его модифицировать добавлением дополнительных мер для соответствия требованиям текущей ситуации.

В результате формируется множество допустимых альтернативных решений $r = \{r_i, i \in S_L\}$. Так как количество альтернативных решений r_i может быть довольно велико, необходимо их оценить с целью выбора оптимального.

Формируется вектор атрибутов $R = (R_1, R_2, \dots, R_m)$, характеризующих эффективность реализации плана. Каждый атрибут R_j ($j = 1 \dots m$) соответствует конкретному показателю эффективности (например, снижение размера материального, социального или экологического ущерба).

Так как показатели эффективности имеют разную размерность, то при формировании интегральной оценки эффективности требуется их нормировка:

$$g_{ij} = \frac{r_{ij} - (r_j)_{\min}}{(r_j)_{\max} - (r_j)_{\min}},$$

где r_{ij} – значение оценки показателя R_j для плана r_i ;

$(r_j)_{\max}$ – максимальное значение оценки показателя R_j ;

$(r_j)_{\min}$ – минимальное значение оценки показателя R_j ;

Интегральная оценка эффективности плана $Z(r_i)$ рассчитывается как взвешенная сумма:

$$Z(r_i) = g_{i1} \cdot w_1^p + g_{i2} \cdot w_2^p + \dots + g_{im} \cdot w_m^p,$$

где $w_1^p, w_2^p, \dots, w_m^p$ – веса критериев R_j ($j = 1 \dots m$), определяемые экспертами на основе метода анализа иерархий.

Необходимо отметить, что, поскольку природа частных показателей эффективности различна, веса критериев должны адаптироваться к виду ЧС. Таким образом, веса критериев должны отражать приоритетные последствия, присущие каждому конкретному виду ЧС, и фокус управления при реагировании. Например, в случае техногенной аварии (с выбросом опасных химических веществ) вес критерия экологической эффективности должен быть значительно выше, чем при пожаре в жилом массиве, где приоритетом являются социальный и материальный ущерб.

Планы ранжируются по убыванию значения показателя $Z(r_i)$, и ЛПР выбирает вариант с максимальным значением показателя как оптимальное решение для целевого сценария. Этот подход обеспечивает не только быстрый подбор решения, но и его оптимизацию в рамках произошедшей ЧС и приоритеты МЧС России.

Внедрение модели принятия решений, основанной на прецедентном анализе, оказывает существенное влияние в целом на всю систему управления в ЧС. Внедрение прецедентного анализа расширяет функциональные возможности центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС), дополняя традиционные задачи мониторинга и координации функциями интеллектуальной поддержки принятия решений за счет:

- оперативного доступа к базе прецедентов (оперативные дежурные ЦУКС получают возможность в режиме реального времени запрашивать рекомендации, основанные на опыте аналогичных ситуаций);
- поддержки планирования операций (использование прецедентов для разработки планов реагирования и оценки потребности в ресурсах);
- координации на основе проверенных сценариев (применение паттернов межведомственного взаимодействия из успешных прецедентов).

Применение прецедентного анализа способствует развитию горизонтальной координации за счет создания единого информационного пространства, так как база данных прецедентов становится общим ресурсом для всех подразделений и служб, участвующих в управлении ЧС. Совместная работа над пополнением и совершенствованием базы прецедентов стимулирует межведомственное взаимодействие, а единые стандарты представления знаний облегчают коммуникацию между различными службами.

Одним из критических факторов эффективности реагирования на чрезвычайные ситуации является скорость принятия адекватных решений. Использование прецедентного анализа способствует ускорению этого процесса. Для часто встречающихся типов ЧС предлагаемая модель предоставляет готовые, проверенные решения, что устраняет необходимость разработки решения с нуля, экономя критически важное время, особенно в первые минуты реагирования, а также снижая риск неоптимальных решений, вызванных стрессом и временным давлением на ЛПР.

Заключение

При реагировании на ЧС временной ресурс является критическим и невоспол-

нимым, задержка в принятии ключевого решения может привести к катастрофическому росту количества жертв и материального ущерба. Классические детерминированные модели принятия управленческих решений, основанные на полном сборе информации, ее всестороннем анализе и построении дерева решений, в условиях ограниченного времени и неполноты исходных данных часто оказываются неприменимы. Управление в ЧС происходит в условиях неопределенности и ограниченности информации. На начальных этапах развития события данные, поступающие от различных источников, часто являются фрагментарными, противоречивыми и недостоверными. В такой ситуации резко возрастает роль когнитивных факторов: психологического давления, стресса у ЛПР, которые могут привести к выбору неоптимальной или даже ошибочной стратегии.

Сложившееся противоречие между необходимостью быстрых и точных решений и объективной невозможностью их выработки традиционными методами в условиях дефицита времени и информации диктует потребность в поиске новых, адаптивных и интеллектуальных подходов к управлению.

Предложенная модель принятия решений, основанная на методе прецедентного анализа, потенциально обеспечивает интеграцию накопленного организационного опыта ЛПР в процессы оперативного реагирования и управления рисками в ЧС.

Показано, что метод прецедентного анализа обладает рядом свойств, обеспечивающих высокую адаптивность решений в условиях неопределенности, ограниченности данных и времени. В отличие от детерминированных моделей, прецедентный подход допускает использование как формальных, так и эвристических знаний.

Сформулированы метрики сходства прецедентов, позволяющие вычислять интегральную степень релевантности между текущим инцидентом и историческими случаями с учетом весовых коэффициентов и иерархии признаков.

Предложен алгоритм адаптации решений, основанный на формальных правилах корректировки решений на основе экспертного оценивания.

Научная новизна модели заключается в принципиально новом подходе – методе прецедентного анализа, адаптированного на поиск оптимального решения при ЧС. Это потенциально позволяет значительно сократить время поиска релевантного опыта и повысить точность принятия управленческих решений.

Предложенный подход создает надежную практическую основу для сравнения

даже неполных и неструктурированных данных, что является актуальным в особенности на начальных этапах ЧС.

Несмотря на значительные преимущества, применение прецедентного анализа в управлении при ЧС сталкивается с рядом сложностей и ограничений, которые необходимо учитывать. В первую очередь эффективность системы критически зависит от качества и полноты данных в базе прецедентов. Источники информации в ЧС многообразны: от официальных докладов экстренных служб и данных дистанционного зондирования Земли до сообщений в социальных сетях. Основная проблема заключается в гетерогенности источников данных: информация о ЧС поступает из различных ведомств, имеет разный формат, степень детализации и достоверности. Существенную трудность вызывает недостаточная структурированность ретроспективных данных – многие сведения о ЧС представлены в виде текстовых отчетов, что требует применения методов семантического анализа для извлечения признаков, характеризующих данные из прецедентов. Кроме того, неполнота и фрагментарность данных нередко осложняет точное описание параметров ситуации. Важной проблемой является и обеспечение репрезентативности и сбалансированности обучающего набора данных, поскольку распределение случаев по типам и масштабам ЧС, как правило, неравномерно. Интеграция этих разнородных, неструктурированных данных в единый датасет, пригодный для анализа и обучения модели, представляет собой отдельную сложную задачу, решению которой будут посвящены дальнейшие исследования авторов. Решение данной задачи позволит провести апробацию применения предложенной модели принятия решений при ЧС на основе прецедентного анализа.

Интегральная оценка эффективности плана реагирования во многом определяется значениями весовых критериев частных показателей эффективности, которые формируют относительную значимость отдельных направлений деятельности при ликвидации последствий ЧС. Поэтому вопрос о выборе и интерпретации весов приобретает фундаментальное значение, особенно в контексте оценки сбалансированности системы реагирования и приоритизации управленческих решений. Одним из инструментов проверки обоснованности весов является анализ чувствительности интегрального показателя к их значениям для различных видов ЧС. Решение данной задачи является еще одним направлением дальнейших исследований, реализуемых

при формировании качественного датасета, пригодного для анализа и обучения предлагаемой в статье модели.

Список литературы

1. Максимов А.В. Методы поддержки принятия решений в оперативном управлении при чрезвычайных ситуациях: обзор исследований // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 2 (42). С. 91–102. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-91-102. EDN: CJCPWN.
2. Шюфеев Т.Г. Модель принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации в условиях неопределенности // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2023. № 1. С. 190–203. EDN: HCRSUA.
3. Шюфеев Т.Г., Сафарова С.Ю., Матвеев А.В. Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2023. № 2. С. 125–133. EDN: NBPXIL.
4. Шмыткина Е.М. Архитектура системы поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации на транспорте // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 4 (44). С. 68–77. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-4-68-77. EDN: GAYIOA.
5. Максимов А.В., Игошин Д.Д. Методика принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации на основе анализа дерева отказов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2024. № 2 (46). С. 75–84. DOI: 10.37468/2307-1400-2024-2-75-84. EDN: CCFSSL.
6. Богданова Е.М., Матвеев А.В. Формализация модели интеллектуальной поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации на транспорте // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2021. № 2. С. 100–107. EDN: XFPPAA.
7. Bannour W., Maalel A., Ben Ghezala H.H. Emergency management case-based reasoning systems: a survey of recent developments // Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence. 2023. Vol. 35. Is. 1. P. 35–58. DOI: 10.1080/0952813X.2021.1952654.
8. Duan J., Jiao F. Novel case-based reasoning system for public health emergencies // Risk Management and Healthcare Policy. 2021. P. 541–553. DOI: 10.2147/RMHP.S291441.
9. Беляков С.Л., Белякова М.Л., Савельева М.Н. Прецедентный анализ образов в интеллектуальных геоинформационных системах // Информационные технологии. 2013. № 7. С. 22–25. EDN: QJGKWL.
10. Matveev A., Maximov A., Bogdanova E. Intelligent decision support system for transportation emergency response // Transportation Research Procedia: 14, Saint Petersburg, 21–24 October 2020. P. 444–450. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.058. EDN: FACOLJ.
11. Portinale L. Integrating KNN retrieval with inference on graphical models in case-based reasoning // International Conference on Case-Based Reasoning. Cham: Springer Nature Switzerland. 2024. P. 1–16. DOI: 10.1007/978-3-031-63646-2_1.
12. Halder R.K., Uddin M.N., Uddin Md.A., Aryal S., Khraisat A. Enhancing K-nearest neighbor algorithm: a comprehensive review and performance analysis of modifications // Journal of Big Data. 2024. Vol. 11. Is. 1. P. 113. DOI: 10.1186/s40537-024-00973-y.
13. Соловьев Д.С. Формализация задачи и разработка алгоритма выбора метода нормализации данных для принятия решений // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2024. Т. 30. № 1. С. 17–27. DOI: 10.17277/vestnik.2024.01.pp.017-027. EDN: JCXRBV.
14. Lubis A.R., Lubis M., Al-Khowarizmi. Optimization of distance formula in K-Nearest Neighbor method // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 2020. Vol. 9. Is. 1. P. 326–338. DOI: 10.11591/eei.v9i1.1464.
15. Dayang P., Petsou C.S., Sambo D.W. Combining fuzzy logic and k-nearest neighbor algorithm for recommendation systems // International Journal of Information Technology and Computer Science. 2021. Vol. 13. Is. 4. P. 1–16. DOI: 10.5815/ijits.2021.04.01.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.