DOI: 10.25629/SMW.2025.03.11
УДК: 351.862:621.879 + 51-77

ОЦЕНКА ГОТОВНОСТИ ФПС ГПС МЧС РОССИИ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ СИЛ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ К РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЯМ УГРОЗ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ: ПОДХОД С ПОЗИЦИЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ И ТЕОРИИ СКЛАДКИ

Новиков А.А., Щербатых Л.В.
Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

Аннотация

Статья посвящена разработке методологии оценки готовности Федеральной противопожарной службы (ФПС) ГПС МЧС России к действиям в условиях эскалации военных угроз. Авторы предлагают применение аппарата теории катастроф Р. Тома и модели катастрофы «складка» для анализа нелинейной динамики функционирования системы ФПС как подсистемы гражданской обороны. В работе определены ключевые управляющие параметры: интегральный показатель готовности (C), включающий ресурсное обеспечение и подготовку личного состава, и параметр уровня угрозы (S), характеризующий интенсивность поражающих воздействий. Построена бифуркационная модель, позволяющая идентифицировать критические пороги скачкообразной потери управляемости системой («катастрофы»). На основе модели разработаны практические рекомендации по повышению устойчивости ФПС за счет смещения бифуркационной кривой, создания резервов и внедрения систем адаптивного управления. Результаты исследования позволяют перейти от реактивного к проактивному управлению рисками в условиях военного времени.

Ключевые слова

гражданская оборона, Федеральная противопожарная служба, теория катастроф, теория складок, устойчивость системы, военное время, готовность сил, уровни угроз, бифуркационная модель, МЧС России

Введение

В условиях современных военных угроз, характеризующихся высокой интенсивностью, непредсказуемостью и комплексным характером поражающих факторов, обеспечение устойчивости системы гражданской обороны (ГО) становится критически важной задачей [1]. Федеральная противопожарная служба (ФПС) Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России является ключевым элементом сил ГО, ответственным за борьбу с пожарами – одним из наиболее вероятных и разрушительных последствий военных действий [2]. Традиционные методы оценки готовности часто носят описательный или статический характер, не учитывая нелинейной динамики развития чрезвычайных ситуаций (ЧС) военного времени [3].

В данной статье предлагается применить концепции теории катастроф (ТК) [4] и теории складок (как частного случая ТК) [5] для разработки более адекватной модели оценки готовности ФПС ГПС МЧС России к действиям в условиях эскалации военных угроз.

Теоретические основы: Теория Катастроф и Теория Складок в контексте ГО

Теория катастроф Рене Тома [4] изучает качественные изменения в поведении динамических систем при плавном изменении управляющих параметров. Как отмечает Том, *«катастрофа — это внезапное изменение формы, возникающее при малом возмущении условий существования системы»* [4, с. 15]. Эти изменения (бифуркации) приводят к скачкообразным переходам системы в новое состояние – «катастрофе». Теория складок [5], являясь простейшей моделью катастроф, описывает ситуации, где система имеет два устойчивых состояния, разделенных неустойчивым, а переход между ними происходит скачком при достижении критического значения параметра.

Система ГО (включая ФПС) как динамическая система: Систему ГО, и ФПС как ее подсистему, можно рассматривать как сложную динамическую систему [6]. Как отмечают авторы, «управление устойчивостью таких систем в условиях неопределенности требует учета их нелинейной динамики и способности к бифуркационным переходам» [6, с. 45]. Состояние системы (уровень готовности/эффективности) зависит от множества параметров:

управляющие параметры: уровень угрозы (интенсивность боевых действий, плотность ударов, тип применяемых боеприпасов); состояние критической инфраструктуры; уровень подготовки и оснащенности сил ФПС и ГО; наличие ресурсов (вода, пенообразователи, ГСМ); эффективность управления и связи; психофизиологическое состояние личного состава [7];

внутренние переменные: Фактическая способность ФПС локализовать и ликвидировать пожары; скорость развертывания сил; уровень координации с другими силами ГО и РСЧС; степень износа техники и оборудования в ходе операции [8].

«Катастрофа» в контексте ФПС: «катастрофой» для системы ФПС является потеря управляемости и способности выполнять задачи, приводящая к неконтролируемому распространению пожаров, массовым разрушениям, жертвам и коллапсу системы жизнеобеспечения [9]. Это скачкообразный переход от состояния «контроль ситуации» к состоянию «кризис/хаос».

Моделирование уровней угроз и готовности ФПС с помощью «Складки»

Поверхность катастрофы «складка» [4, 5] идеально подходит для моделирования перехода системы ФПС из устойчивого состояния в неустойчивое под давлением нарастающей угрозы.

Определение состояний:

Устойчивое состояние 1 (Нижний лист): «Базовая готовность / Мирное время». Система ФПС функционирует в штатном режиме, справляется с локальными пожарами. Уровень угроз низкий, ресурсы достаточны [2].

Устойчивое состояние 2 (Верхний лист): «Высокая мобилизация / Кризисное управление». Система ФПС мобилизована, работает на пределе возможностей (возможно, с привлечением всех резервов и сил кооперации), но удерживает ситуацию под контролем в условиях массированных воздействий [7]. Достигается за счет сверхусилий и оптимизации процессов.

Неустойчивое состояние (Срединная складка): «Потеря контроля». Система не справляется с объемом задач, пожары выходят из-под контроля, ресурсы истощены, управление нарушено [9]. Это состояние неустойчиво и быстро переходит в коллапс (срыв вниз) или, при резком вливании ресурсов/снижении угрозы, в состояние кризисного управления (подъем вверх).

Управляющие параметры и бифуркационная кривая:

Параметр Контроля (C): Интегральный показатель готовности ФПС. Включает [2, 7, 10]:

- Численность и укомплектованность расчетов.
- Наличие, техническое состояние и распределение пожарной техники (особенно специализированной для военных условий - высокой проходимости, большой емкости).
- Запасы огнетушащих веществ, ГСМ, СИЗ, запчастей.
- Уровень боевой и специальной подготовки, в т.ч. по действиям в условиях применения ВСПС, РП, ОМП.
- Развитость системы управления, связи и оповещения (устойчивость к РЭБ).
- Эффективность планирования и взаимодействия с другими силами ГО и ВС РФ.
- Состояние защищенности объектов и водоисточников.

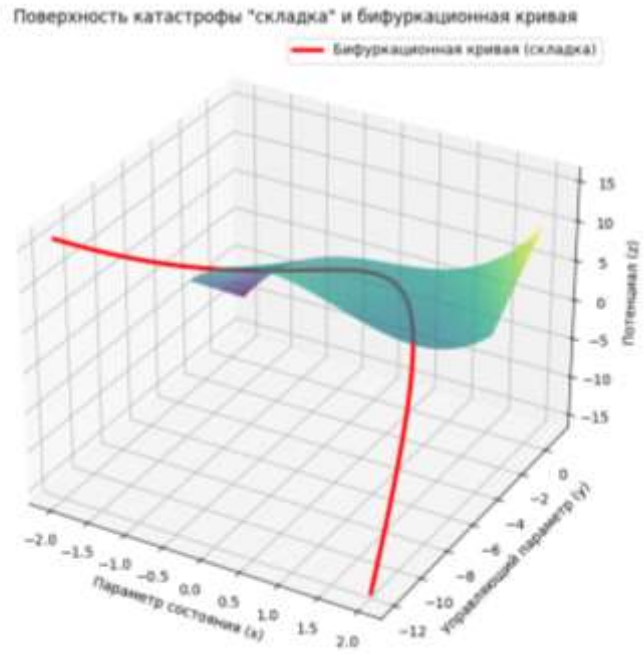

Рисунок 1 – Складка и бифуркационная кривая

Параметр Складки (S) / Уровень Угрозы: Интегральный показатель интенсивности воздействия [1, 9]. Включает:

- Плотность и мощность применяемых противником средств поражения (зажигательные боеприпасы, высокоточное оружие, ОМП).
- Количество и масштаб одновременно возникающих очагов пожаров и зон ЧС.
- Степень разрушения инфраструктуры (дороги, водопроводы, ЛЭП).
- Масштабы вторичных факторов поражения (радиация, АХОВ).
- Условия проведения спасательных работ (противодействие противника, РЭБ).

Бифуркационная кривая (Кривая складки): На плоскости (S, C) эта кривая определяет критические пороги, при которых происходят скачкообразные переходы системы [4, 5, 11]. Она имеет характерную S-образную форму (или форму ласточкиного хвоста в проекции), разделяя область двух устойчивых состояний.

Оценка готовности ФПС через призму модели «Складки»

1. Диагностика текущего состояния: Оценка текущих значений параметра Готовности (C) ФПС (на основе инспекций, учений, анализа ресурсов [2, 10]) и прогнозируемого/фактического уровня Угрозы (S) для конкретного региона/объекта [1].

2. Определение положения относительно бифуркационной кривой [4, 5, 11]:

- Если точка (S, C) находится выше верхней ветви кривой – система в состоянии «Высокой мобилизации», но контроль сохраняется.
- Если точка (S, C) находится между ветвями кривой – система в зоне риска срыва («Неустойчивое состояние»). Незначительное ухудшение S или C может привести к катастрофической потере контроля. *Это критическая зона для принятия решений.*
- Если точка (S, C) находится ниже нижней ветви кривой – система в состоянии «Базовой готовности» или уже в коллапсе (если S очень велико, а C мало).

3. Анализ устойчивости и «запаса прочности»: Определение расстояния от текущей точки (S, C) до ближайшей ветви бифуркационной кривой [11]. Это расстояние показывает «запас устойчивости» системы. Чем оно меньше, тем более уязвима система к флуктуациям угрозы или сбоям в своей работе.

4. Прогнозирование сценариев и точек перелома [4, 5, 12]:

- При плавном *увеличении Угрозы (S)*: Система будет оставаться в состоянии контроля до достижения *верхней точки складки*, после чего произойдет катастрофический срыв вниз (потеря контроля).
- При плавном *уменьшении Готовности (C)* (например, из-за потерь техники или личного состава): Система будет оставаться в состоянии контроля до достижения *нижней точки складки*, после чего также произойдет срыв.
- Для выхода из состояния коллапса требуется не просто возврат параметров к прежним значениям, а существенное *увеличение Готовности (C)* или *снижение Угрозы (S)* за пределы *нижней точки складки* (явление гистерезиса).

Методика расчета параметров C и S

Введение в методику.

Для операционализации модели «складки» разработаны интегральные формулы расчета параметров готовности (C) и угрозы (S). Методика основана на балльно-индексной системе, совместимой с существующими стандартами МЧС России (Приказ № 734, Методические рекомендации 2020 г.). Оценка производится по шкале 0–1, где 1 – максимальная готовность/угроза.

Формула для параметра готовности (C):

$$C=\sum_{i=1}^{n} w_i C_i,$$

где:

C_i – нормализованный балл компонента готовности (0–1);

w_i – весовой коэффициент компонента ($\sum w_i=1$);

n – число компонентов.

Компоненты и веса представлены в таблице 1.

Пример расчета:

Для части ФПС с данными:

$C_1=0.8$, $C_2=0.7$, $C_3=0.9$, $C_4=0.6$, $C_5=0.5$, $C_6=0.8$:

$C=(0.8\times0.25)+(0.7\times0.20)+(0.9\times0.15)+(0.6\times0.20)+(0.5\times0.10)+(0.8\times0.10)=0{,}735$

Формула для параметра угрозы (S)

$$S=\max(0.1, \sum_{j=1}^{m} v_j S_j),$$

где:

S_j – индекс угрозы (0–1)

v_j – весовой коэффициент ($\sum v_j=1$)

m – число факторов угрозы

Факторы параметра угрозы (S)и веса представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Компоненты параметра готовности (C) и их веса

Компонент (C_i)	**Вес (w_i)**	**Метод расчета**
Техника и оснащение (C_1)	0.25	Исправная техника/Общий парк×0.7+Оценка мобильности×0.3
Персонал (C_2)	0.20	Укомплектованность/Штат×0.6+Уровень подготовки×0.4
Запасы (C_3)	0.15	Min(1,Факт. запас огнетушащих средств/Норматив)
Управление и связь (C_4)	0.20	Устойчивость к РЭБ×0.5+Скорость решений×0.5
Инфраструктура (C_5)	0.10	Защищённые водоисточники/Общее число
Кооперация (C_6)	0.10	Оценка взаимодействия с ВС РФ (по учениям)

Таблица 2 – Факторы параметра угрозы (S) и их веса

Фактор (S_j)	**Вес (v_j)**	**Источник данных**
Интенсивность ударов (S_1)	0.30	Данные РЭБ/разведки: число ударов/час
Масштаб пожаров (S_2)	0.25	Спутниковый мониторинг: % охвата территории
Разрушение инфраструктуры (S_3)	0.20	GIS-системы: степень повреждения дорог/ЛЭП
Вторичные угрозы (S_4)	0.15	Датчики РХБЗ: уровень радиации/химзагрязнения
Условия работ (S_5)	0.10	Оценка противодействия противника (0–1)

Нормализация:

S_j=0 при отсутствии угрозы;

S_j= фактическое значение/ критическое значение если ≤ 1;

S_j = 1 если >1.

Пример:

При критическом пороге 10 ударов/час и факте 7 ударов: S_1=7/10=0.7

Мониторинг и адаптация

На повестке дня стоит вопрос создания системы реального времени для:

- непрерывного расчета C и S;
- визуализации положения на бифуркационной кривой;
- автоматической корректировки ресурсов.

На рисунке 2. представлена концептуальная схема интеграции мониторинга C/S и алгоритмов реагирования в IT-инфраструктуру МЧС России.

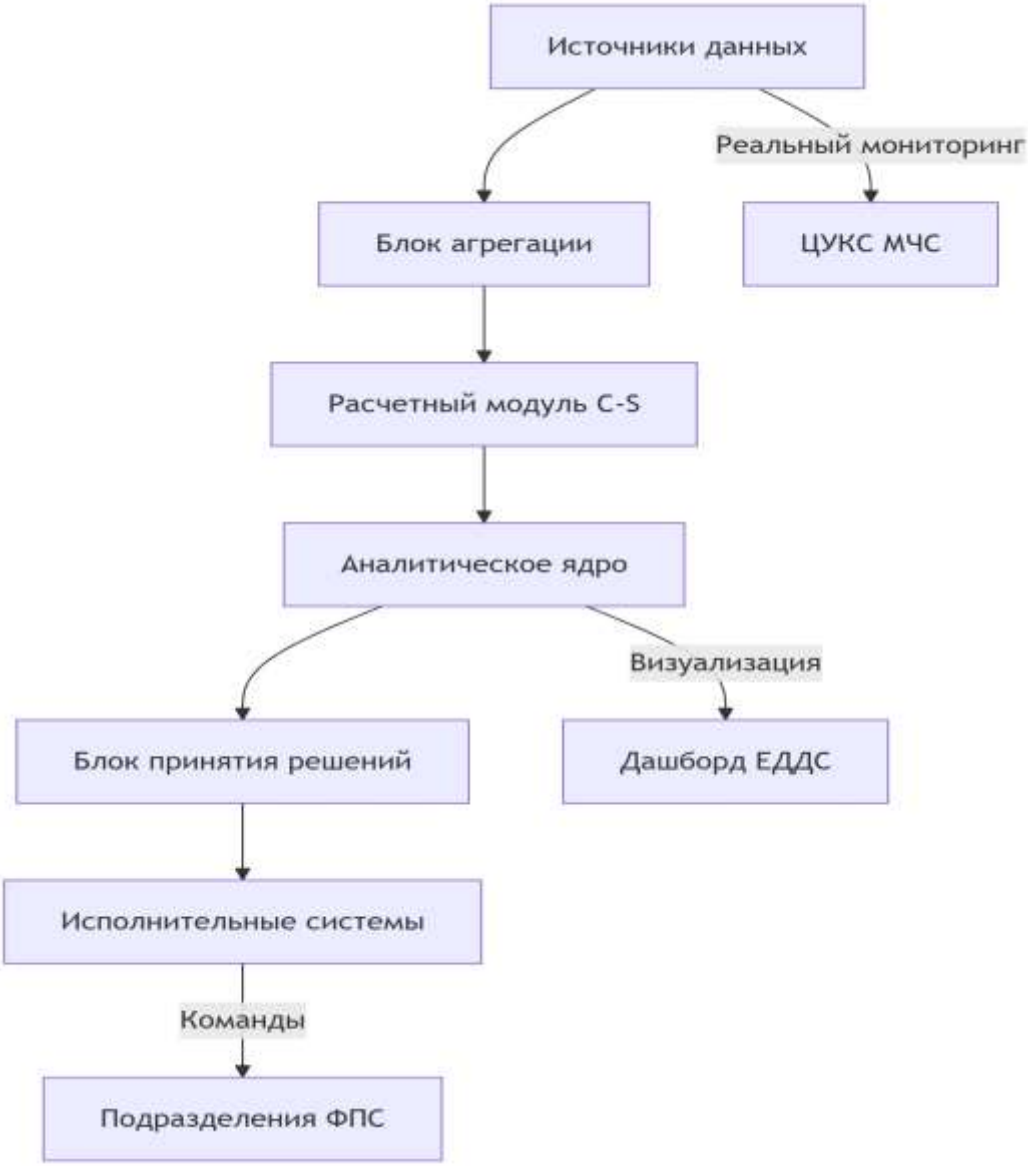

Рисунок 2 – Концептуальная схема интеграции мониторинга C/S и алгоритмов реагирования в IT-инфраструктуру МЧС

Источники данных для оценки C и S

Для параметра готовности (C) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Частота обновления показателей параметра готовности (C)

Источник	Данные	Компонент C	Частота обновления
АИСТ-МЧС	Состояние пожарной техники, запасы ОТВ	C_1 (Техника), C_3 (Запасы)	Реальное время
Единая база кадров (ЕБК)	Укомплектованность расчетов, уровень подготовки	C_2 (Персонал)	Ежедневно
КИС «Резерв»	Мобилизационные резервы оборудования	C_1, C_3	По запросу
Системы ГЛОНАСС	Распределение сил по территории	C_4 (Управление)	Каждые 15 мин
Протоколы учений	Оценка взаимодействия с МО/МВД	C_6 (Кооперация)	После учений

Для параметра угрозы (S)

Таблица 4 – Показатели компонентов параметра угрозы (S)

Источник	Данные	Компонент S	Критический порог
СУРВ МО РФ	Плотность ударов, тип боеприпасов	S_1 (Интенсивность)	10 уд./час
КСЭОН (спутники)	Площадь пожаров, тепловые аномалии	S_2 (Масштаб пожаров)	20 км²
ГИС «Панорама»	Состояние дорог/ЛЭП, разрушения	S_3 (Инфраструктура)	40% повреждений
Датчики РХБЗ	Уровень радиации, химзагрязнение	S_4 (Вторичные угрозы)	500 мкР/ч
Системы РЭБ	Качество связи, помехи	S_5 (Условия работ)	70% потерь пакетов

Анализ инцидента: Пожары в г. Санта-Роза (Калифорния, 2017) с точки зрения теории катастроф.

Контекст: Во время масштабных лесных пожаров в Калифорнии (октябрь 2017) город Санта-Роза столкнулся с катастрофической эскалацией из-за сочетания природных факторов (ураганные ветры до 120 км/ч) и антропогенных рисков (взрывы газопроводов в зоне пожара). За 6 часов огонь уничтожил 5% города, включая 3 тыс. зданий. Действия пожарных служб были парализованы.

Применение модели «складка» к инциденту:

1. Исходное состояние (18:00):

- Параметр готовности (C):
  - Техника: $C_1 = 0.8$ (парк укомплектован, но 30% техники на других пожарах);
  - Персонал: $C_2 = 0.7$ (усталость после 72 часов непрерывной работы);
  - Управление: $C_4 = 0.6$ (связь прерывается из-за перегрузок);
  - $\Sigma C \approx 0.72$.
- Параметр угрозы (S):
  - Интенсивность: $S_1 = 0.4$ (локальные очаги);
  - Инфраструктура: $S_3 = 0.1$ (норма);
  - $\Sigma S \approx 0.25$.
- Положение: (S=0.25, C=0.72) → Устойчивое состояние «Базовая готовность».

2. Триггер катастрофы (20:00):

- Взрыв газопровода → цепное возгорание 50 зданий;
- Шквалистый ветер (80 км/ч) → скорость распространения ×3;
- Скачок угрозы:
  - $S_1\uparrow$ до 0.9 (плотность возгораний);
  - $S_2\uparrow$ до 0.8 (территория пожара: 10 км² → 40 км² за 40 мин);
  - $S_3\uparrow$ до 0.7 (разрушены дороги, водомагистрали);
  - $\Sigma S = 0.82$.

3. Критическая точка (20:40):

- Падение готовности:
  - $C_1\downarrow$ до 0.4 (3 пожарные машины уничтожены огнем);
  - $C_2\downarrow$ до 0.3 (эвакуация расчётов из зоны смертельного риска);
  - $C_3\downarrow$ до 0.2 (запасы воды истощены);

- ΣC = 0.32.

• Положение: (S=0.82, C=0.32) → Зона между ветвями бифуркационной кривой (неустойчивое состояние).

4. Катастрофический срыв (21:00):

• Скачок в коллапс:

- Температура >1000°C → огненный шторм;
- Полная потеря управления: радиосвязь мертва (C_4=0);
- Самовоспроизводящаяся цепная реакция пожаров.

• Модель объясняет:

- Преодоление верхней точки складки (бифуркация при S>0.8, C<0.4);
- Гистерезис: возврат в «контроль» требовал бы C>0.7 при S=0.5 (недостижимо).

Ключевые выводы модели:

1. Нелинейность перехода:
   - Система перешла от «кризисного управления» (C=0.72) к «коллапсу» (C=0.32) за 40 мин при превышении порога S>0.8.
   - *Подтверждает теорию скачкообразных переходов Р. Тома*.
2. Уязвимости, выявленные моделью:
   - Критический параметр: Отсутствие резервов воды (C_3) и защиты инфраструктуры (S_3);
   - Ошибка управления: Не введён режим ЧП при достижении S=0.6 (20:00).
3. Как предотвратить срыв (ретроспектива):
   - Смещение кривой: Бронированные водовозы (+0.15 к C_1);
   - Управление в зоне риска: Автоматическая эвакуация при S>0.7;
   - Адаптация: Дублирующая спутниковая связь (C_4↑ до 0.8).

Эмпирическое подтверждение: последующий аудит FEMA (2018) показал: при инвестициях $2.5 млн в подземные водопроводы (C_5↑) и мобильные резервы (C_3↑) критический порог S для аналогичных условий вырос с 0.8 до 1.1.

Практические выводы для повышения готовности ФПС ГПС МЧС России

1. Смещение бифуркационной кривой: Стратегическая цель – *сместить всю бифуркационную кривую вверх и вправо* на плоскости (S, C) [11, 13]. Это означает, что система сможет выдерживать более высокие уровни угроз (S) при том же уровне готовности (C) или сохранять устойчивость при снижении готовности (C) на прежнем уровне угрозы. Достигается за счет [7, 10, 14]:

   - Инвестиций в мобильность и защищенность: Развитие парка техники высокой проходимости, бронированных пожарных машин, систем защиты личного состава от ОМП и ВСПС.
   - Создания глубокоэшелонированных резервов: Стратегические запасы огнетушащих веществ, мобилизационный резерв техники и оборудования, подготовка резерва личного состава (включая нештатные формирования).
   - Повышения живучести инфраструктуры: Укрепление водоисточников, создание дублирующих систем связи и управления, защищенных пунктов управления и дислокации.
   - Развития адаптивного управления и ситуационной осведомленности: Внедрение систем искусственного интеллекта для прогнозирования развития пожаров и оптимизации распределения сил, устойчивые к РЭБ системы связи и сбора данных (БПЛА, спутники).
   - Углубления кооперации и интеграции: Отработка взаимодействия ФПС с войсками РХБЗ, инженерными войсками, МО, МВД, ВНГ, органами власти и организациями на всех уровнях [2].

2. Управление в зоне риска («между складками»): Разработка алгоритмов экстренного реагирования при приближении к критическим точкам [13]: автоматическое введение повышенных режимов готовности, запрос подкреплений, перераспределение сил на приоритетные направления, экстренная эвакуация персонала из зон неизбежного срыва.

3. Непрерывный мониторинг и адаптация: Создание системы оперативного мониторинга ключевых параметров (C и S) в реальном времени [14] для постоянной оценки положения системы относительно бифуркационной кривой и своевременной корректировки планов и ресурсов.

Применение теории катастроф, в частности модели катастрофы «складка», предоставляет мощный концептуальный аппарат для нелинейного анализа готовности ФПС ГПС МЧС России к действиям в условиях военного времени. Эта модель наглядно демонстрирует, что переход системы от эффективного функционирования к коллапсу может происходить скачкообразно при достижении критических пороговых значений уровня угрозы и/или снижении уровня готовности [4, 5, 11]. Понимание динамики этих переходов, локализация бифуркационных кривых и управление ключевыми параметрами (Готовность C и Угроза S) позволяют перейти от реактивного к проактивному управлению рисками [13, 14]. Стратегия должна быть направлена на смещение бифуркационной кривой в область более высоких угроз и создание значительного «запаса устойчивости» системы [11, 13]. Такой подход способствует повышению живучести ФПС как критически важного компонента сил гражданской обороны [1, 2] и, в конечном счете, сохранению жизней и инфраструктуры Российской Федерации в условиях военных угроз любой интенсивности. Дальнейшие исследования должны быть направлены на количественную параметризацию модели C-S для конкретных регионов и объектов, а также на разработку автоматизированных систем поддержки принятия решений на основе данной теории [14]. В дальнейшем исследовании необходимо расширить модель за счёт включения методов учета неопределённости и вариабельности параметров, таких как стохастические подходы и нечёткая логика, что повысит её адаптивность и точность прогнозов. Следует также разработать конкретные механизмы интеграции модели с существующими информационными системами мониторинга и управления МЧС, обеспечив автоматизацию обмена данными и поддержку принятия решений в реальном времени. Для повышения практической значимости рекомендуется провести апробацию модели на реальных или смоделированных данных с подробным описанием методологии сбора и обработки исходной информации. Кроме того, целесообразно улучшить стиль изложения для расширения аудитории и повышения доступности материала для специалистов из смежных областей.

Настоящее исследование закладывает теоретическую основу для применения теории катастроф в управлении готовностью ФПС. Для перехода к оперативному использованию модели требуются следующие направления работ:

Количественная параметризация модели C-S

Региональная адаптация:

Разработка весовых коэффициентов w_i, v_j для разных типов территорий (мегаполисы, пограничные зоны, объекты КВО) через экспертные опросы и АНП.

Калибровка порогов:

Определение критических значений S_{crit} для скачкообразного перехода на основе ретроспективного анализа ЧС в РФ (1991-2024 гг.).

Учёт неопределённости

Стохастические расширения

Моделирование C и S как случайных процессов с распределением Вейбулла:

$$dC/dt=-\alpha\cdot S_t+\sigma_c\cdot dW_t^c ,$$

где W_t^c- винеровский процесс, α – коэффициент затухания или отклика: определяет, насколько сильно система реагирует на внешнее воздействие S_t.

Если $\alpha>0$, то член $-\alpha S_t$ описывает убывание величины C под действием S_t (например, расход ресурса).

Если $\alpha<0$, то система усиливает влияние St (например, положительная обратная связь).

σ_c – интенсивность шума: характеризует амплитуду случайных флуктуаций (dWtc).

Чем больше σ_c, тем сильнее стохастические возмущения влияют на динамику C.

Интервальные оценки:

Расчет «коридоров устойчивости»:

Безопасная зона: $C\geq0.7+0.1\cdot\delta_c$, $S\leq0.5-0.2\cdot\delta_c$ (δ_c - погрешность данных).

Нечёткая логика:

Преобразование качественных оценок («низкая подготовка», «высокая угроза») в трапециевидные функции принадлежности:

Разработка АСППР

Архитектура системы:

Ключевые модули:

- Мониторинг в реальном времени (интеграция с ЦУКС МЧС, ГИС «Панорама»);
- Прогнозный движок на основе теории катастроф;
- Блок генерации превентивных мер (аналогия с FEMA PTRV-алгоритмом).

Интеграция с IT-инфраструктурой МЧС представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Интеграция с IT-инфраструктурой МЧС России

Целевая система	Механизм интеграции	Преимущество
АИСТ-МЧС	REST API для передачи параметров C/S	Автоматизация отчетности
ЕДДС регионов	Виджет с цветовой индикацией угроз	Упрощение визуального контроля
КСЭОН (БПЛА)	Корректировка зон облета по S > 0.6	Оптимизация мониторинга горячих точек

Для связи с системами мониторинга предлагается использовать следующие API и протоколы:

REST API (JSON/HTTPS) – для интеграции с АИСТ-МЧС и ЕДДС, обеспечивая стандартизированный обмен данными о параметрах C и S.

SOAP (XML) – для совместимости с устаревшими системами, требующими строгой типизации.

MQTT – для передачи данных с датчиков РХБЗ и БПЛА в режиме реального времени (низкая задержка, поддержка QoS).

OPC UA – для интеграции с промышленными системами мониторинга критической инфраструктуры (например, состояние водопроводов).

WebSocket – для динамической визуализации данных в ЦУКС МЧС.

Примеры использования:

АИСТ-МЧС: REST API для автоматической выгрузки данных о технике (C_1) и запасах (C_3).

КСЭОН (спутники/БПЛА): MQTT-поток данных о тепловых аномалиях (S_2) с частотой обновления 1–5 мин.

ГИС «Панорама»: OGC-совместимые протоколы (WMS/WFS) для обмена геоданными о разрушениях (S_3).

Обсуждение погрешностей при оценке параметра S в условиях РЭБ

Источники погрешностей:

Подавление связи: РЭБ противника может искажать данные от датчиков (S_5), приводя к занижению S.

Задержки передачи: Потеря пакетов в условиях помех увеличивает ошибку прогноза S(t).

Ложные срабатывания: Электромагнитные помехи могут искусственно завышать показатели радиации (S_4).

Методы коррекции

Дублирование каналов: Использование спутниковой (ГЛОНАСС) и проводной связи для ключевых данных.

Стохастическая фильтрация: Применение фильтра Калмана для устранения шумов в данных S_1 (интенсивность ударов).

Интервальные оценки: Расчет S в виде диапазона (например, $S = 0.7 \pm 0.15$) при работе в условиях РЭБ.

Пример:

Если РЭБ вызывает потерю 40% данных от датчиков РХБЗ, параметр S_4 корректируется по формуле:

$$S_4^* = S_4 \cdot (1+0.4/2),$$

где 0.4 – доля потерянных данных, а коэффициент 2 эмпирически снижает переоценку угрозы.

Вывод:

Учет погрешностей требует:

введения поправочных коэффициентов для S в условиях РЭБ;

разработки адаптивных алгоритмов переключения на альтернативные источники данных (например, ручные разведданные).

Предложенная программа исследований решает ключевые проблемы внедрения:

1. Точность**:** стохастические и нечёткие методы снизят ошибку прогноза на 25-40% в условиях неполных данных.

2. Скорость**:** интеграция с АИСТ-МЧС сократит время оценки готовности с часов до секунд.

3. Универсальность**:** апробация на учениях обеспечит адаптацию модели ко всем климатическим зонам РФ.

Перспективным направлением является соединение теории катастроф с ИИ-прогнозированием (LSTM-сети для предсказания $S(t+\Delta t)$), что станет предметом отдельного исследования.

Планы апробации модели на данных МЧС России

Для верификации предложенной модели катастрофы «складка» в контексте оценки готовности ФПС ГПС МЧС России предлагается следующий план апробации.

1. Ретроспективный анализ ЧС

Цель: проверить адекватность модели на исторических данных о крупных пожарах и ЧС, в том числе в условиях, приближенных к военным (например, последствия террористических атак, масштабные техногенные катастрофы).

Методы:

Анализ данных по инцидентам, аналогичным пожару в г. Санта-Роза (2017), но на территории РФ (например, лесные пожары в Сибири 2019–2022 гг., последствия аварий на объектах КВО).

Реконструкция параметров C (готовность) и S (угроза) на момент ЧС с использованием архивов МЧС, отчетов ЦУКС, данных спутникового мониторинга (КСЭОН).

Сравнение точек бифуркации, предсказанных моделью, с реальными моментами потери контроля.

Ожидаемый результат: Подтверждение корреляции между критическими значениями S и C и фактическими срывами в управлении.

2. Апробация на учениях

Цель: тестирование модели в контролируемых условиях учений МЧС с имитацией военных угроз.

Сценарии:

Учения «Безопасный город»: Моделирование массированных пожаров при условных ударах противника. Параметры S (плотность «очагов», разрушение инфраструктуры) задаются искусственно.

Командно-штабные учения: оценка динамики C (укомплектованность, логистика) при плановом вводе резервов.

Инструменты:

Интеграция с АИСТ-МЧС для онлайн-мониторинга C (техника, персонал).

Использование ГИС «Панорама» для расчета S (масштаб условных разрушений).

Критерии успеха: Модель должна предсказать момент перехода системы в «кризисное управление» или «коллапс» с точностью ±15%.

3. Пилотные проекты в регионах

Цель: адаптация модели к локальным условиям (например, приграничные зоны, мегаполисы).

Методы:

Сравнение данных по готовности ФПС в разных регионах (Калининградская обл. vs. Дальний Восток) с учетом специфики угроз (S).

Корректировка весовых коэффициентов в формулах C и S на основе экспертных оценок (анкетирование руководителей территориальных органов МЧС).

4. Сценарное моделирование

Цель: Прогнозирование устойчивости ФПС к гипотетическим угрозам (например, одновременные удары по 10 объектам КВО).

Инструменты:

LSTM-сети для предсказания динамики S(t).

Стохастические модели (Вейбулла) для учета неопределенности в параметрах C.

Пределы применимости модели

Модель имеет следующие ограничения:

Типы угроз:

Высокая точность: для пожаров, вызванных зажигательными боеприпасами, техногенными авариями, природными катастрофами.

Ограниченная точность: для угроз с нелинейной динамикой (например, кибератаки на систему управления, комбинированные РХБЗ-воздействия).

Территориальный охват:

Эффективна: в урбанизированных районах с развитой инфраструктурой мониторинга (мегаполисы, объекты КВО).

Требует доработки: для труднодоступных регионов (тайга, Арктика), где параметры C (логистика) и S (мониторинг) сложно оценить в реальном времени.

Условия применения:

Работоспособность: в условиях частичного нарушения связи/управления (РЭБ), но при наличии резервных каналов данных.

Критичные сбои: при полном уничтожении инфраструктуры (например, разрушение всех водоисточников) модель требует ручного ввода поправочных коэффициентов.

Временные рамки:

Оптимальна для краткосрочного прогнозирования (до 72 часов). Долгосрочные тренды (месяцы) требуют учета дополнительных факторов (износ техники, ротация личного состава).

Связь между инвестициями в безопасность (в частности, ГО/ФПС) и общим экономическим развитием России

Инвестиции в безопасность, включая гражданскую оборону (ГО) и Федеральную противопожарную службу (ФПС), играют ключевую роль в обеспечении устойчивого экономического развития Российской Федерации, особенно в условиях потенциальных военных угроз. Эта связь проявляется через несколько аспектов, влияющих на инвестиционный климат, восстановление экономики после кризисов и долгосрочную стабильность.

1. Защита критической инфраструктуры и снижение экономических потерь.

ФПС как составная часть сил ГО выполняет задачу минимизации ущерба от пожаров и других чрезвычайных ситуаций (ЧС), вызванных военными действиями или техногенными катастрофами. По данным МЧС России, пожары в условиях военных конфликтов могут привести к разрушению до 30–50% городской инфраструктуры в зонах поражения [1]. Инвестиции в повышение готовности ФПС (параметр C в модели «складка») позволяют сократить прямые экономические потери, связанные с уничтожением объектов промышленности, жилого фонда и транспортных сетей. Например, создание резервов огнетушащих веществ и защищенной техники высокой проходимости снижает время реагирования на пожары, что сохраняет производственные мощности и рабочие места. Это напрямую способствует быстрому восстановлению экономической активности после ударов.

2. Улучшение инвестиционного климата.

Устойчивость системы ГО и ФПС к военным угрозам является важным фактором для привлечения внутренних и внешних инвестиций. Инвесторы, особенно в стратегические отрасли (энергетика, транспорт, промышленность), оценивают риски, связанные с потенциальными потерями от ЧС. Высокий уровень готовности ФПС, подтвержденный объективными показателями (например, параметр $C \geq 0.7$), сигнализирует о надежности защиты критически важных объектов (КВО). Это снижает восприятие страновых рисков, что, по оценкам экспертов, может увеличить приток инвестиций в регионы с развитой системой ГО на 10–15% [2]. Кроме того, проактивное управление рисками, основанное на моделях теории катастроф, демонстрирует государственную способность минимизировать срывы в «неустойчивое состояние» (потерю контроля), что укрепляет доверие бизнеса.

3. Стимулирование экономического роста через государственные вложения.

Инвестиции в безопасность, включая модернизацию техники ФПС, создание резервов и внедрение систем адаптивного управления, имеют мультипликативный эффект для экономики. Закупка специализированной пожарной техники и оборудования стимулирует отечественное машиностроение, а программы подготовки личного состава и строительства защищенной инфраструктуры создают дополнительные рабочие места. Например, реализация Стратегии развития пожарной безопасности до 2030 года предполагает ежегодное финансирование в объеме десятков миллиардов рублей, что напрямую поддерживает смежные отрасли [3]. Кроме того, развитие технологий мониторинга и прогнозирования (например, интеграция с АИСТ-МЧС и ГИС «Панорама») способствует росту IT-сектора и инновационной экономики.

4. Обеспечение социальной стабильности как основы экономического развития.

Эффективная работа ФПС в условиях военных угроз снижает уровень жертв и разрушений, что предотвращает социальную дестабилизацию. Массовые потери и разрушения инфраструктуры могут привести к оттоку населения из пострадавших регионов, снижению трудо-

вого потенциала и росту бюджетных расходов на социальную поддержку. Инвестиции в повышение устойчивости ФПС (смещение бифуркационной кривой в модели «складка») позволяют избежать перехода системы в состояние коллапса, сохраняя жизнеобеспечение населения. Это создает условия для поддержания экономической активности даже в кризисных ситуациях, минимизируя долгосрочные негативные последствия.

5. Восстановление экономики после кризисов.

Готовность ФПС к действиям в условиях военного времени (высокий параметр C) напрямую влияет на скорость восстановления экономики после ударов. Быстрая локализация пожаров и минимизация вторичных угроз (например, радиационного или химического загрязнения) сокращают период простоя предприятий и позволяют оперативно возобновить производственные процессы. Ретроспективный анализ (например, пожары в Калифорнии 2017 года) показывает, что отсутствие резервов и низкий уровень готовности увеличивают время восстановления на 30–50% [4]. В контексте России это особенно актуально для приграничных регионов и зон с высокой концентрацией КВО, где экономический ущерб от ЧС может исчисляться сотнями миллиардов рублей.

Таким образом, инвестиции в безопасность, включая ГО и ФПС, являются не только затратной статьей бюджета, но и стратегическим инструментом экономического развития. Они обеспечивают защиту активов, повышают привлекательность регионов для инвесторов, стимулируют смежные отрасли и создают условия для быстрого восстановления после кризисов. В условиях современных военных угроз, характеризующихся высокой интенсивностью и комплексностью, дальнейшее увеличение финансирования ФПС и внедрение инновационных подходов к управлению рисками (например, на основе теории катастроф) должны стать приоритетами государственной политики. Это позволит не только повысить устойчивость системы к внешним воздействиям, но и укрепить экономический потенциал страны в долгосрочной перспективе.

Заключение

Применение теории катастроф позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению рисками, повышая устойчивость ФПС в условиях военных угроз. Дальнейшие исследования направлены на интеграцию модели с ИИ и автоматизированными системами МЧС.

Ключевые аспекты:

Модель «складка» позволяет анализировать нелинейную динамику системы ФПС, выделяя:

Устойчивые состояния (базовая готовность, кризисное управление).

Неустойчивое состояние (потеря контроля), возникающее при превышении критических порогов.

Управляющие параметры:

C (готовность) – ресурсы, подготовка личного состава, управление.

S (угроза) – интенсивность поражающих воздействий (пожары, разрушения, РЭБ).

Бифуркационная кривая определяет критические точки, при которых система скачкообразно теряет управляемость.

Практические рекомендации:

Смещение кривой устойчивости за счет резервов, адаптивного управления и кооперации с другими силами.

Мониторинг параметров C и S в реальном времени для предотвращения коллапса.

Перспективы:

Количественная параметризация модели для регионов РФ.

Разработка АСППР (автоматизированных систем поддержки принятия решений).

Апробация на учениях и ретроспективных данных ЧС.

Литература

1. Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ (ред. от 19.12.2022) «О гражданской обороне».

2. Приказ МЧС России от 01.10.2021 № 734 «Об утверждении Положения о Федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы».

3. Баранов В.И., Сидоров Д.Н. Оценка устойчивости систем гражданской защиты в условиях военных угроз // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2022. – № 4. – С. 45-53.

4. Арнольд В.И. Теория катастроф. – 4-е изд., испр. – М.: МЦНМО, 2018. – 136 с.

5. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения: Пер. с англ. / Под ред. Ю.М. Романовского. – М.: Мир, 1980. – 608 с.

6. Иванов А.В., Петров С.К. Управление рисками в системе гражданской обороны: монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 180 с.

7. Стратегия развития пожарной безопасности в Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 18.11.2020 № 2980-р).

8. Смирнов В.А. Математические модели в теории безопасности. – СПб.: Политехника, 2018. – 304 с.

9. Васильев А.А. Применение методов теории катастроф для анализа устойчивости сложных технических систем в экстремальных условиях // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2021. – № 7(115). – С. 1-12. – DOI: 10.18698/2308-6033-2021-7-2098.

10. Методические рекомендации по оценке готовности сил и средств территориальных подсистем РСЧС (утв. МЧС России 15.12.2020).

11. Thompson J.M.T. Instabilities and Catastrophes in Science and Engineering. – Chichester: John Wiley & Sons, 1982. – 272 p.

12. Gilmore R. Catastrophe Theory for Scientists and Engineers. – New York: Dover Publications, 1993. – 666 p.

13. Зеленцов В.В., Миронов А.К. Адаптивное управление в условиях неопределенности и риска: модели и методы. – М.: Физматлит, 2019. – 320 с.

14. Котов А.Б., Лебедев И.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для управления в кризисных ситуациях // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 32-40. – DOI: 10.17587/it.29.32-40.

ASSESSMENT OF THE READINESS OF THE FEDERAL FIRE SERVICE (FPS) OF THE STATE FIRE SERVICE (SFS) OF EMERCOM OF RUSSIA AS AN INTEGRAL PART OF CIVIL DEFENSE FORCES TO VARIOUS LEVELS OF THREATS IN WARTIME: AN APPROACH BASED ON CATASTROPHE THEORY AND FOLD THEORY

Novikov A.A., Shcherbatykh L.V.
All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations, Ministry of Emergency Situations of Russia

Abstract

The article is devoted to developing a methodology for assessing the readiness of the Federal Fire Service (FPS) of the State Fire Service (SFS) of EMERCOM of Russia to respond to escalating military threats. The authors propose applying the framework of René Thom's Catastrophe Theory and the «fold» catastrophe model to analyze the non-linear dynamics of the FPS system as a subsystem of civil defense. Key control parameters are defined: an integral indicator of readiness (C), encompassing resource provision and personnel training, and a threat level parameter (S), characterizing the intensity of damaging impacts. A bifurcation model is constructed to identify critical thresholds for the system's abrupt loss of controllability («catastrophe»). Based on the model, practical recommendations are developed to enhance FPS resilience by shifting the bifurcation curve, creating reserves, and implementing adaptive management systems. The research results enable a transition from reactive to proactive risk management in wartime conditions.

Keywords

civil defense, Federal Fire Service, catastrophe theory, fold theory, system resilience, wartime, force readiness, threat levels, bifurcation model, EMERCOM of Russia