

Систематизация перспектив развития пожаротушения через призму теории сложных организационных систем

В.Ю. Яровой, Я.В. Гребнев, А.А. Сержинмаа,

*Сибирский федеральный университет, Красноярск
Сибирская пожарно-спасательная академия, Железногорск*

Аннотация: В статье рассматриваются концептуальные основы трансформации системы управления пожаротушением на основе теории сложных организационных систем. Автором обоснована необходимость перехода от линейно-иерархических моделей к адаптивным и сетевым структурам, способным обеспечить высокую устойчивость и эффективность реагирования в условиях неопределенности и динамики чрезвычайных ситуаций. Проведен анализ соответствия системы пожаротушения признакам сложной организационной системы, выявлены противоречия между ее сложной природой и примитивными механизмами управления, обозначены причины и последствия этого парадокса. В качестве направления разрешения выявленных проблем предложены мультиагентные цифровые платформы, использование цифровых двойников, ситуационные центры, а также применение методов теории игр для оптимизации распределения ресурсов и поддержки принятия решений.

Ключевые слова: системный подход, организационная система, пожаротушение, сетевые структуры, управление, цифровизация, трансформация, теория игр, оптимизация, критерии.

Введение

Современные чрезвычайные ситуации, включая природные и техногенные пожары, приобретают всё более сложный и непредсказуемый характер. Их последствия могут быть катастрофическими не только с точки зрения материального ущерба, но и с позиций социальной и экологической безопасности. В этих условиях особенно актуальным становится пересмотр концептуальных подходов к управлению системой пожаротушения.

Цель данной статьи — представить систематизированный взгляд на перспективы развития пожаротушения с опорой на теоретико-методологические положения теории сложных организационных систем. Подобный подход позволяет переосмыслить природу взаимодействия между участниками ликвидации чрезвычайной ситуации, а также обосновать

переход от линейно-иерархических моделей управления к адаптивным, сетевым структурам.

Управление пожаротушением, как сложная организационная система

Научные исследования, проведённые авторами [1-3] посвящены исследованию критериев и характерных особенностей, позволяющих классифицировать систему как сложную и фиксирующих её специфические свойства в процессе функционирования. Понятие сложной организационной системы сформулировано Матиашвили В.М. [4], который рассматривает её как группу сознательно организованных участников или подсистем, связанных друг с другом и объединённых общими целями. Проанализировав научные публикации [6,7], авторы разработали структурированную схему поэтапного процесса пожаротушения, состоящего из трёх основных стадий (см. рисунок 1).

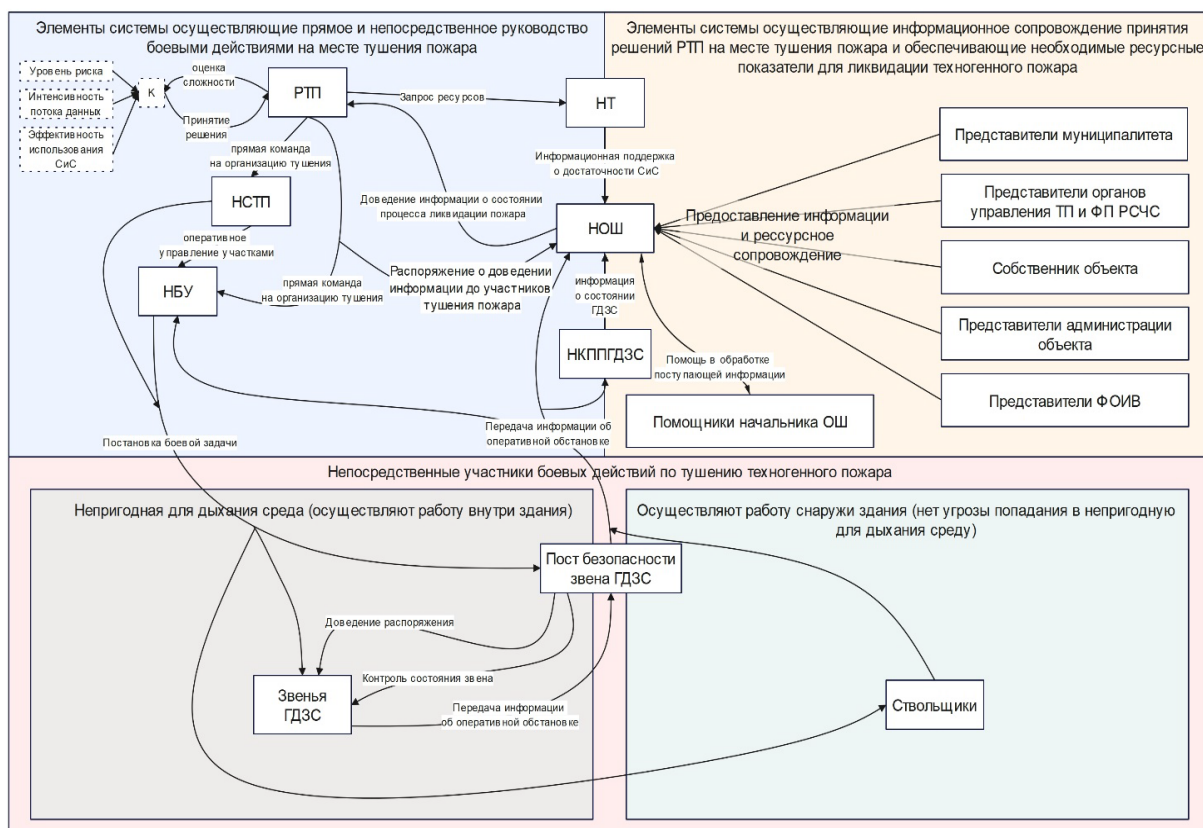


Рис. 1. – Процесс управления силами и средствами на пожаре

В таблице 1 отображены условные обозначения, используемые на рисунке 1.

Таблица № 1

Условные обозначения на рисунке 1

Сокращение	Расшифровка
РТП	Руководитель тушения пожара
НТ	Начальник тыла
НСТП	Начальник сектора тушения пожара
НБУ	Начальник боевого участка
НОШ	Начальник оперативного штаба
НКППГДЗС	Начальник контрольно-пропускного пункта газодымозащитной службы
ОШ	Оперативный штаб
ТП	Территориальная подсистема
ФП	Функциональная подсистема
РСЧС	Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
ФОИВ	Федеральный орган исполнительной власти
ГДЗС	Газодымозащитная службы

Несмотря на то, что процесс управления пожаротушением имеет все признаки сложной организационной системы (таблица 2), демонстрируя высокий уровень взаимозависимости компонентов, наличие иерархической структуры, широкий спектр целей и множественность агентов, принимающих решения, практика показывает значительное количество используемых линейно-иерархических моделей [5,7], что в свою очередь создает системный парадокс: сложная динамическая система пытается функционировать через примитивные механизмы контроля, что приводит к критическим дисфункциям. Данный парадокс напрямую влияет на ограниченность взаимодействия между различными звеньями системы, тем самым замедляя адаптацию к быстро меняющимся оперативной обстановке. Рассмотрим причины и последствия этого противоречия более детально.

Таблица № 2

Признаки сложной организационной системы

Признак организационной системы	Признак сложной организационной системы	Проявление в системе пожаротушения
Наличие структурированной совокупности участников	Структурное разнообразие элементов	Система включает расчеты пожарных, руководителя тушения пожара, связанных, службы жизнеобеспечения, ИИ-системы, беспилотники.
Коммуникационная связанность участников	Множественность неоднородных связей	Используются радиоканалы, цифровые платформы, визуальные сигналы; обмен данными происходит между всеми уровнями системы в условиях стресса.
Общая и разделяемая системная цель	Разнообразие и изменчивость решаемых задач	Цели изменяются по ходу операции: от спасения людей и локализации огня до минимизации вторичного ущерба, и анализа эффективности действий.
Правила функционирования системы	Адаптивность структуры и правил функционирования	Используются боевые уставы и инструкции, которые модифицируются на месте с учетом условий инцидента, типа пожара и ограничений ресурсов.
Взаимодействие с внешней средой	Открытость и чувствительность к внешним воздействиям	Система реагирует на погодные условия, плотность застройки, состояние транспортной сети; активно взаимодействует с другими службами.
Управление на основе иерархии	Гибридность организационных структур	Наряду с вертикальным управлением развиваются элементы горизонтального взаимодействия и автономного принятия решений на уровне боевых участков.
Реализация предсказуемых алгоритмов	Адаптивность и непредсказуемость поведения	Система может переходить к самоорганизации при разрушении цепей управления, агенты принимают решения на основе локального анализа и цифровых подсказок.

Причины доминирования линейно-иерархических моделей:

1. Простота управления и контроля. Ввиду использования принципа единоначалия на пожаре линейные структуры позволяют быстро передавать приказы сверху вниз и «распределять ответственность». Однако они не предполагают горизонтального обмена информацией между агентами, что критично при быстро меняющейся ситуации [9].

2. Недостаточная цифровая зрелость. Технологическая ограниченность в рассматриваемой сфере, отсутствие средств автоматического анализа рисков напрямую влияют на снижение возможности реализации адаптивных моделей управления [10,12].

3. Структурно-культурные барьеры. Психологическая установка при подготовке кадров направленная на «командование» и «исполнение» подавляет инициативу на местах и мешает развитию сетевого мышления у руководителей всех уровней [8,11].

Последствия наличия линейно-иерархических моделей в функционировании сложной организационной системы управления пожаротушением

Рассматриваемые причины сопровождаются следующими последствиями несоответствия моделей управления природе системы управления пожаротушением:

1. Потеря времени на согласование. С учетом постоянно меняющейся оперативной обстановки каждая минута в хронологии пожара, отдаляющая принятие решения, критична. Необходимость согласования действий по цепочке командования приводит к промедлениям, особенно при перегрузки каналов связи.

2. Ограниченная способность к самоорганизации и адаптации. Агенты системы не имеют возможности и права координироваться между собой без

указания вышестоящих элементов структуры, даже в том случае если обладают полной локальной информацией.

3. Снижение устойчивости при перегрузках. При сложной оперативной обстановке, сопровождающейся наличием нескольких очагов, необходимостью обеспечения безопасной массовой эвакуации или спасательных работ, сбоях инфраструктуры формирование боевых участков хоть и снижает нагрузку на руководителя тушения пожара, однако не предполагает одновременной мультиагентной обработки решений.

Разрешение системного парадокса между сложной природой пожаротушения и примитивными механизмами управления требует внедрения принципов, соответствующих теории сложных организационных систем. Определим основные направления разрешения рассматриваемого парадокса [12-13]:

1. Создание и внедрение мультиагентных платформ [14]. Создание цифровых экосистем, в которых каждый участник боевых действий по тушению пожара (человек, дрон, автомобиль, робот) представляет собой «агента» с определённой автономией и функцией. Такие платформы позволяют формировать сценарии распределённого реагирования на основе актуальных данных.

2. Использование цифровых двойников [15]. Моделирование текущей ситуации на основе данных со спутников, дронов и датчиков позволяет создать виртуальную копию места пожара, в которой можно прогнозировать поведение огня, выявлять узкие места и управлять ресурсами в реальном времени, однако при этом необходимы исходные цифровые двойники объектов защиты.

3. Ситуационные центры и цифровые панели управления. Интерфейсы нового поколения должны поддерживать не только отображение информации, но и автоматическое формирование рекомендаций на основе

анализа потоков данных, включая аналитику по эвакуации, прогнозу распространения огня, устойчивости зданий и доступности маршрутов.

Применения теории игр при функционировании органов единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в частности пожарно-спасательных гарнизонов

Рассматриваемые решения являются первоначальным этапом изменения общего вида пожаротушения и необходимы для реализации интеллектуального управления и применения теории игр при функционировании рассматриваемых органов:

1. Оптимизация распределения ресурсов. Применение моделей кооперативных игр позволяет находить компромиссы между подразделениями в случае ограниченных ресурсов. Например, в условиях одновременных пожаров в нескольких районах может применяться модель Шепли для справедливого распределения ресурсов пожарно-спасательного гарнизона.

2. Поддержка принятия решений на основе игр с неполной информацией [16-17]. Пожарные подразделения не всегда владеют полной информацией об оперативной обстановке. Применение вероятностных моделей и теории игр позволяет рассчитывать оптимальные действия в условиях риска и неопределённости.

3. Интеграция экосистем данных и интероперабельности между ведомствами [18]. Один из краеугольных камней в управлении ликвидацией чрезвычайной ситуацией — это замкнутость информационных потоков. Реализация СОС в рамках управления пожаротушением предполагает переход к открытому межведомственному обмену данными с службами жизнеобеспечения.

4. Развитие механизмов самокоординации и управляемой эмерджентности в мультиагентной среде. Одним из фундаментальных

признаков сложных организационных систем является эмерджентность — появление новых свойств и форм поведения, не присущих отдельным элементам системы, но возникающих в результате их взаимодействия. Для систем управления пожаротушением это означает возможность самокоординации участников (агентов) на месте происшествия без необходимости централизованного вмешательства в каждый элемент процесса.

Заключение

В совокупности рассмотренные подходы формируют основу для трансформации системы пожаротушения в адаптивную, распределённую и интеллектуально насыщенную сеть реагирования, способную эффективно справляться с вызовами современности. Пересмотр принципов управления через призму теории сложных организационных систем становится не просто научной задачей, но и стратегической необходимостью, определяющей устойчивость и безопасность городов и территорий Российской Федерации в XXI веке.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-20088, rscf.ru/project/25-21-20088/, гранта Красноярского краевого научного фонда.

Литература

1. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Промышленная наука и образование. 2014. №1(7). URL: cyberleninka.ru/article/n/mnogoaspektnost-rassmotreniya-slozhnyh-sistem.
2. Курочкин В.Н. Эффективность и надежность функционирования сложных организационных систем. Т.1. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2010. 494 с. ISBN 978-5-7509-0582-9. EDN UMKIXV.

3. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Сложные системы: параметрическая идентификация, мониторинг, управление // Региональная архитектура и строительство. 2021. №2(47). С. 133–137. EDN CMIXUK.
4. Матиашвили В.М. Управление в сложных организационных системах // Системный подход в управлении предприятиями. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. С. 11–25. EDN YUABEL.
5. Денисов А.Н., Шевцов М.В. Анализ существующей структуры управления силами и средствами на пожаре // Пожары и ЧС. 2009. №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyushey-struktury-upravleniya-silami-i-sredstvami-na-pozhare.
6. Данилов М.М., Денисов А.Н., Лаврущев В.М. Поддержка управления при обеспечении деятельности по тушению пожара с участием должностных лиц оперативной группы // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч.1. М.: АГПС МЧС России, 2022. С. 128–133. EDN PWIDDB.
7. Денисов А.Н. Методы, модели и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2018. 406 с. EDN UTNDHA.
8. Теребнёв В. В., Семёнов А. О., Тараканов Д. В. Эволюция структуры управления силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. 2008. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-struktury-upravleniya-silami-i-sredstvami-na-pozhare.
9. Мусиенко Т.В., Артамонов В.С. Управление пожарной безопасностью как частью национальной безопасности: история вопроса // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2022. №2. С. 38.
10. Полищук Е.Ю., Мешалкин Е.А., Болодьян Г.И. Противопожарное нормирование в Российской Федерации: проблемы и пути развития (в

порядке обсуждения) // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №7. С. 58–68.

11. Орсаяев А.Р. Организация пожарной безопасности в условиях риск-ориентированной модели деятельности // Молодой ученый. 2021. №9. С. 117–120.

12. Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Региональная безопасность: сценарный анализ эффективности управления в чрезвычайных ситуациях // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2016. 2016. С. 139–150.

13. Чурилина В.В., Билятдинов К.З. Комплекс методик и модель процесса получения данных для совершенствования управления организационными системами подразделений информационной безопасности МЧС России // Инженерный вестник Дона. 2025. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10142.

14. Herrera M., et al. Multi-agent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering // Processes. 2020. Т.8. №3. p. 312.

15. Beirne C. Analysis of Dublin Fire Brigade and FDNY Ambulance Responses: дис. Dublin: National College of Ireland, 2020.

16. Лабинский А.Ю., Моторыгин Ю.Д., Шестаков А.В. Поддержка принятия решений в условиях риска чрезвычайных ситуаций на основе анализа неструктурированных данных // Инженерный вестник Дона. 2024. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9560.

17. Weiser P.J. Communicating during emergencies: Toward interoperability and effective information management // Fed. Comm. LJ. 2006. Т.59. p. 547.

18. HoseinDoost S., et al. A model-driven framework for developing multi-agent systems in emergency response environments // Software & Systems Modeling. 2019. Т.18. №3. pp. 1985–2012.

References

1. Kudzh S.A. Promyshlennaya nauka i obrazovanie. 2014. №1 (7). URL: cyberleninka.ru/article/n/mnogoaspektnost-rassmotreniya-slozhnyh-sistem.
2. Kurochkin V.N. Effektivnost i nadezhnost funktsionirovaniya slozhnykh organizatsionnykh system [Efficiency and reliability of complex organizational systems]. Vol.1. Rostov-na-Donu: Rostizdat, 2010. 494 p.
3. Budylna E.A., Garkina I.A., Danilov A.M. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo. 2021. №2(47). Pp. 133–137.
4. Matiashvili V.M. Sistemnyj podkhod v upravlenii predpriyatiyami [Systems approach in enterprise management]. Nizhnij Novgorod: NGTU im. R.E. Alekseeva, 2018. Pp. 11–25.
5. Denisov A.N., Shevtsov M.V. Pozhary i ChS. 2009. №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyushey-struktury-upravleniya-silami-i-sredstvami-na-pozhare.
6. Danilov M.M., Denisov A.N., Lavrushchev V.M. Pozharotushenie: problemy, tekhnologii, innovatsii. Materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v 2 ch. Ch.1 [Fire extinguishing: problems, technologies, innovations. Proc. of the 8th Intern. Sci.-Pract. Conf. in 2 parts. Part 1]. Moskva: AGPS MChS Rossii, 2022. Pp. 128–133.
7. Denisov A.N. Metody, modeli i algoritmy podderzhki upravleniya pozharno-spasatelnyimi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Methods, models and algorithms for supporting fire and rescue units management during fire extinguishing: Dr. eng. sci. diss.]. Moskva, 2018. 406 p.
8. Terebnev V.V., Semenov A.O., Tarakanov D.V. Pozharovzryvobezопасnost. 2008. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-struktury-upravleniya-silami-i-sredstvami-na-pozhare.
9. Musienko T.V., Artamonov V.S. Natsionalnaya bezопасnost i strategicheskoe planirovanie. 2022. №2. P. 38.

10. Polishchuk E.Yu., Meshkalkin E.A., Bolodyan G.I. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. 2020. №7. Pp. 58–68.
11. Orsaev A.R. Molodoj uchenyj. 2021. №9. Pp. 117–120.
12. Kulba V.V., Shelkov A.B., Chernov I.V. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh system MLSD'2016 [Large-scale systems development management MLSD'2016]. 2016. Pp. 139–150.
13. Churilina V.V., Bilyatdinov K.Z. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10142.
14. Herrera M., et al. Multi-agent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering. Processes. 2020; 8(3):312.
15. Beirne C. Analysis of Dublin Fire Brigade and FDNY Ambulance Responses [Dissertation]. Dublin: National College of Ireland; 2020. 120 p.
16. Labinskij A.Yu., Motorygin Yu.D., Shestakov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9560.
17. Weiser P.J. Communicating during emergencies: Toward interoperability and effective information management. Federal Communications Law Journal. 2006; 59:547.
18. HoseinDoost S., et al. A model-driven framework for developing multi-agent systems in emergency response environments. Software & Systems Modeling. 2019; 18(3):1985–2012.

Дата поступления: 15.06.2025

Дата публикации: 25.09.2025