

ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СПАСАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Садыг-заде Ульви Адыль оглы

Старший преподаватель кафедры спортивной, физической и аварийно-спасательной подготовки Академии МЧС Азербайджана, майор

Tel: 994-55-865-89-05

E-mail: ulvi-sadixov@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы организации цифровой системы связи в спасательном центре и обеспечения взаимодействия между спасательными силами в процессе проведения аварийно-спасательных работ. Рассматриваются этапы организации связи, планирования, определения необходимых средств связи, выбора каналов связи и установления бесперебойного обмена информацией между подразделениями. Анализируется роль связи в управлении и особенности координации действий спасательных сил в зависимости от характера и масштаба чрезвычайной ситуации. В частности, показано влияние сложного рельефа местности, лесного покрова, удаленного расположения средств связи и других факторов на стабильность связи во время лесных пожаров. Предлагается применение современных цифровых технологий в единой системе наряду с традиционными средствами связи. Рассматривается совместное использование цифровой радиосвязи LTE/5G, TETRA и DMR, спутниковой связи, Starlink, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), географических информационных систем (ГИС) и самоорганизующихся сетей Mesh. Показано, что применение этих технологий позволяет обеспечить резервирование каналов связи, обмен информацией в реальном времени, повышение ситуационной осведомленности и непрерывность управления в условиях повреждения коммуникационной инфраструктуры. Для оценки надежности системы связи были проведены расчеты на основе использования параллельных каналов связи, и показано влияние увеличения количества каналов на общую надежность системы. Кроме того, были выявлены основные факторы, влияющие на деятельность пожарных и других спасательных служб, и оценено влияние сбоев или потери связи на управление силами, координацию действий и безопасность спасателей. В результате анализа было установлено, что традиционные системы связи нуждаются в дополнительных резервных и альтернативных каналах связи в современных чрезвычайных ситуациях. На основе анализа предложена интегрированная модель организации и планирования цифровой связи во время чрезвычайных ситуаций в спасательном центре. Модель основана на интеграции различных коммуникационных технологий в единую информационно-коммуникационную систему и позволяет своевременно передавать информацию, принимать более эффективные решения, эффективно управлять спасательными силами и повышать совместимость.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, спасательный центр, связь, поиск и спасение, авария, безопасность, радиоволна, пожары, эффективность, непрерывность.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях эффективность проведения аварийно-спасательных работ определяется качеством организации системы связи между органами и спасательными подразделениями. Независимо от масштаба и характера чрезвычайной ситуации своевременный обмен информацией,

управление силами, а также координация всех участников ликвидации последствий являются основными условиями успешного выполнения задач. Опыт ликвидации чрезвычайных ситуаций показывает, нарушение или потеря связи приводит к снижению эффективности управления. Поэтому организация надежной, устойчивой и резервируемой системы связи является одним из ключевых элементов функционирования спасательного центра. В данной статье рассматриваются основные принципы организации связи спасательного центра, этапы ее планирования и развертывания при ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также особенности обеспечения устойчивого управления спасательными формированиями в различных условиях оперативной обстановки [4].

Особую актуальность данная проблема приобретает при повреждении или полном разрушении традиционной телекоммуникационной инфраструктуры. При масштабных чрезвычайных ситуациях могут быть нарушены линии электропередачи, базовые станции мобильной связи, кабельные линии и другие элементы существующей сети. Дополнительные трудности возникают при работе в горной, лесистой, заболоченной и удаленной местности, где рельеф, растительность, большие расстояния между подразделениями и ограниченное количество дорог могут существенно осложнять установление устойчивой связи. При этом потеря или нестабильность связи способна привести к задержке передачи распоряжений, нарушению взаимодействия между подразделениями и снижению эффективности управления спасательными работами.

Научная проблема исследования заключается в необходимости совершенствования организации связи спасательного центра с учетом изменяющейся оперативной обстановки, возможного выхода из строя отдельных каналов и необходимости постоянного взаимодействия между органами управления и спасательными подразделениями. При этом важное значение имеет не только наличие нескольких средств связи, но и их объединение в единую систему с возможностью резервирования и переключения между различными каналами. Поэтому при проектировании такой системы необходимо учитывать надежность отдельных каналов, их взаимное резервирование, условия применения и возможность сохранения управления при отказе части коммуникационной инфраструктуры.

Целью исследования является разработка и обоснование интегрированной цифровой модели организации связи спасательного центра при ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечивающей устойчивый обмен информацией и непрерывность управления спасательными силами.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: проанализировать основные этапы организации связи при ликвидации чрезвычайных ситуаций; определить факторы, влияющие на устойчивость связи при работе спасательных подразделений; рассмотреть существующую структуру связи спасательного центра и требования к ее надежности; оценить влияние резервирования параллельных каналов на надежность системы; рассмотреть возможности совместного применения современных цифровых технологий;

сформировать структуру интегрированной системы связи для различных условий чрезвычайной ситуации.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Современные исследования показывают, что эффективность управления чрезвычайными ситуациями во многом связана с устойчивостью коммуникационных сетей и возможностью поддерживать взаимодействие между различными организациями и спасательными подразделениями. В систематическом обзоре Du и соавторов основными направлениями исследований названы структура сетей управления, их эффективность и факторы, влияющие на взаимодействие участников чрезвычайного реагирования. [13]

Отдельное направление связано с развитием технологий экстренной связи. Wang и соавторы рассматривают спутниковые, сотовые, самоорганизующиеся и частные беспроводные сети и отмечают тенденцию к интеграции различных технологий в единую систему экстренной связи. Авторы также рассматривают сочетание широкополосных и узкополосных сетей как перспективный подход для обеспечения устойчивого управления при крупных чрезвычайных ситуациях. [15]

В последние годы возрастает интерес к применению беспилотных летательных аппаратов и Mesh-сетей. Rabahi и соавторы рассматривают UAV как средство создания временной сетевой инфраструктуры в районах бедствий, где традиционные средства связи могут быть недоступны или повреждены. Такой подход расширяет возможности оперативного развертывания связи, однако требует дальнейшей проработки вопросов интеграции с существующими системами управления спасательными подразделениями. [14]

Таким образом, большинство рассмотренных работ посвящено отдельным технологиям или общим принципам построения аварийных сетей. Недостаточно внимания уделяется их комплексному объединению на уровне спасательного центра, резервированию различных каналов и оценке надежности интегрированной системы. В связи с этим настоящее исследование направлено на формирование модели цифровой системы связи спасательного центра, объединяющей наземные, радиорелейные, спутниковые и беспроводные технологии и обеспечивающей резервирование каналов и устойчивое управление спасательными силами.

МЕТОДОЛОГИЯ

Исследование имеет прикладной, аналитический и проектный характер:

На первом этапе проведён анализ научной и технической литературы по вопросам организации связи при чрезвычайных ситуациях.

На втором этапе выполнен структурно-функциональный анализ системы связи спасательного центра с определением основных направлений взаимодействия и каналов передачи информации.

На третьем этапе проведена оценка надёжности параллельных каналов

связи с применением математического расчёта.

Далее выполнен сравнительный анализ традиционных и современных цифровых технологий связи — LTE/5G, TETRA, DMR, спутниковой связи, UAV, GIS и Mesh-сетей. На заключительном этапе на основе результатов анализа сформирована концептуальная модель интегрированной цифровой системы связи спасательного центра.

Основными методами исследования являются анализ научной и технической литературы, системный и сравнительный анализ, структурно-функциональное моделирование, а также математическая оценка надёжности каналов связи.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Круг задач, решаемых МЧС, разнообразен и динамичен. Принимаемые решения в структурах управления МЧС являются экстренными и неординарными, но своевременность и правильность принимаемых решений во многом обуславливается наличием современной и устойчивой связи в звеньях управления МЧС. Связь является основным средством, обеспечивающим управление силами и средствами ГО [5].

Организация и поддержание надежной связи с вышестоящими, подчиненными и взаимодействующими органами управления ГО, а также войсковыми частями и подразделениями, ведущими аварийно-спасательные и другие неотложные работы в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС) и очагах поражения, являются важнейшими обязанностями соответствующих начальников МЧС и органов управления [10]. Потеря связи ведет к потере управления силами и средствами ГО.

При планировании, организации и поддержании связи основную роль играют вопросы определения надежности действующих или проектируемых схем (систем) связи.

В данной работе рассмотрен один из вариантов организации связи в спасательном центре МЧС при ликвидации ЧС.

При ликвидации ЧС организация связи осуществляется в 4 этапа:

1. Выдвижение сил и средств связи в зону ЧС.

Задачи связи:

- передача распоряжения на марш;
- передача распоряжений в ходе марша.

2. Развертывание узла связи в зоне ЧС.

Задачи связи - проведение рекогносцировки для развертывания для узла связи, с тем чтобы управление ликвидацией ЧС была устойчивой.

3. Обеспечение связи на начальном этапе ЧС.

Задачи связи:

- обеспечение связи сил ликвидации ЧС;
- обеспечение взаимодействия между силами ликвидации ЧС.

4. Развертывание узлов и станций связи в районах ЧС.

Задачи связи: - организация связи между всеми силами и средствами ликвидации ЧС.

Управление в зоне ЧС организуется в соответствии с масштабом ЧС, а также характером и зоной возникновения ЧС.

При ликвидации лесных пожаров при боевых действиях личному составу спасательного центра придется действовать в лесистой и лесисто-болотистой местности. При действиях в данной местности на силы могут оказывать влияние:

- закрытая местность;
- заболоченные участки;
- ограниченное количество дорог;
- возможность длительного застоя ядовитых веществ;
- непосредственно пожары лесные и торфяные, лесные завалы.

Как правило, в данных условиях силы действуют разобщенно на значительном удалении друг от друга и от органов управления [7]. Резко снижается дальность действия радиорелейной связи из-за поглощения стволами и кронами деревьев энергии радиоволн, а также их переотражения – явления интерференции радиоволн, вследствие чего создаются сложности в выборе мест для развертывания антенно-фидерных устройств, затрудняется прокладка и обслуживание полевых кабельных линий связи [6].

При организации связи необходимо учитывать:

- Создание КВ и УКВ радиосетей, и определение состава корреспондентов в них по количеству удаленных объектов работ с возможностью входа каждой из них в радионаправление.
- Оснащение отдельных формирований КВ радиостанциями Р-143А;
- Развертывание узлов связи, станций и аппаратных на просеках и вырубках, недопущение размещения радиосредств на границе леса и открытого пространства;
- Использование антенн направленного действия и размещение их выше уровня деревьев;
- Использование подвижных ретрансляционных пунктов для связи с наиболее удаленными объектами работ;
- Прокладку линий связи не ближе 50-100 метров от дорог и просек, обозначение трасс видимыми отметками;
- Создание запасов эксплуатируемых материалов и ГСМ для устройств электропитания и транспорта.

В спасательном центре, как и в отдельной спасательной бригаде проводится планирование организации связи на период повседневной деятельности и на особый период [8].

Планирование связи в спасательном центре включает:

- определение наиболее рационального построения системы связи (определение опорных и вспомогательных узлов, размещение и оборудование узлов связи пунктов управления и др.);
- распределение сил и средств связи по пунктам управления и направлениям их использования;
- определение резерва сил и средств связи;
- разработку мероприятий по обеспечению управления системой связи при выходе из строя пунктов управления;
- разработку мероприятий по материальному и техническому обеспечению узлов и подразделений связи.

Порядок и сроки планирования и методы работы начальника связи спасательного центра при организации связи в повседневной деятельности и на особый период определяется исходя из оперативной обстановки, принятой системы управления СЦ, характером поставленных задач и установленными сроками готовности связи. Организация связи в спасательном центре при тушении лесных пожаров осуществляется на основе решения Начальника СЦ на ликвидацию ЧС и распоряжении по связи начальника регионально центра.

При планировании связи на период повседневной деятельности в СЦ отрабатываются следующие документы:

- Схема связи;
- Пояснительная записка текстуально;
- Схема оповещения СЦ;
- Расчет сил и средств связи по ПУ и направлениям оповещения;
- Позывные лиц и узлов связи;
- Сведения по связи на потенциально опасных объектах;
- Телефонный справочник для работы в повседневной деятельности;
- Телефонный справочник для работы при ЧС;
- Схема вызова должностных лиц;
- Распоряжение по связи СЦ.

При тушении лесных пожаров начальник связи спасательного центра отрабатывает документы:

- Схему организации связи;
- Телефонный справочник для работы при ЧС;
- Расчет сил и средств, привлекаемых для обеспечения связи;
- Схема оповещения в районе ЧС.

Организационно спасательный центр включает:

- Управление;
- Отдельный спасательный отряд;
- Отдельный механизированный отряд;
- Отдельный отряд обеспечения действий спасателей;

- Подразделения обеспечения.

Среди подразделений обеспечения находится узел связи СЦ, который включает:

- Отделение средств связи (стационарных);
- Отделение средств связи (подвижных);
- Радио-взвод;
- Телефонно-телеграфный взвод.

При организации связи в ходе тушения лесных пожаров начальник связи СЦ:

- Уясняет задачу;
- Оценивает обстановку;
- Готовит предложения начальнику СЦ по организации связи;
- Отдает распоряжение по связи.

Предложения по связи включают:

- Объекты сосредоточения основных усилий при организации связи;
- Основные виды связи, используемые для обеспечения связи;
- Укомплектованность подразделений средствами связи;
- Распределение и состав узлов связи по ПУ;
- Организация связи с региональным центром, подчиненными подразделениями, организация связи с взаимодействующими силами.

1. Краткие выводы из оценки обстановки.

2. Основные усилия при организации и осуществлении связи СЦ сосредотачиваются;

- На обеспечении связи в звеньях управления: СЦ – отдельные отряды; отдельные отряды – роты – взвода – отделения;
- Основным родом связи считать радиосвязь;
- основным видом – телефонную связь;
- Обеспечить связь с региональным центром;
- Связь между КП и ТПУ;
- Связь между КП и отдельными отрядами;
- Связь между КП и отдельной авиаэскадрильей;
- Управление силами и средствами осуществляется с узла связи СЦ.

Таблица 1.

**Определение надежности схемы связи СЦ между командным пунктом и
Тыловым пунктом управления**

Условные обозначения	Наименование линии связи	Надежность канала связи
	Кабельные линии связи	0,9

—	Воздушные линии связи	0,9
.....	Радиорелейная линия связи	0,9

Между командным и тыловым пунктами управления существует два канала связи по радиосети, телефонная проводная связь через коммутатор П-194 и радиорелейная связь. Данный вид связи является параллельным и рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{кп-тпу}} = R^1 + R^2 - R^1 \times R^2$$

Рассчитаем надежность схемы связи между КП и ТПУ для двух каналов связи:

$$R_{\text{кп-тпу}} = R^1 + R^2 - R^1 \times R^2 = 0,9 + 0,9 - 0,9 \times 0,9 = 1,8 - 0,81 = 0,99;$$

Рассчитаем для трех каналов: $R_{\text{кп-тпу}} = 0,9 + 0,99 - 0,9 \times 0,99 = 0,999$

Для четырех каналов: $R_{\text{кп-тпу}} = 0,9 + 0,999 - 0,9 \times 0,999 = 0,9999$

Таблица 2.

Определение надежности схемы связи СЦ между командным пунктом и отдельным механизированным отрядом.

Условные обозначения	Наименование линии связи	Надежность канала связи
—	Кабельные линии связи	0,9
—	Воздушные линии связи	0,9

Между данными подразделениями существует 5 каналов связи. Один канал проводной связи через коммутатор П-194 и четыре канала радиосвязи.

Рассчитаем надежность схемы связи между КП и КНП омо для двух каналов связи:

$$R_{\text{кп-омо}} = R^1 + R^2 - R^1 \times R^2 = 0,9 + 0,9 - 0,9 \times 0,9 = 1,8 - 0,81 = 0,99;$$

Для трех каналов: $R_{\text{кп-омо}} = 0,9 + 0,99 - 0,9 \times 0,99 = 0,999$

Для четырех каналов: $R_{\text{кп-омо}} = 0,9 + 0,999 - 0,9 \times 0,999 = 0,9999$

Для пяти каналов: $R_{\text{кп-омо}} = 0,9 + 0,9999 - 0,9 \times 0,9999 = 0,99999$

Требования к системам связи заданы в соответствии с ОТТ "Системы военной связи. Общие тактико-технические требования 2.1.200-82" и для отдельной спасательной бригады будут равны:

Вероятность выживания - 0,99;

Показатели надежности:

- коэффициент готовности - 0,99;
- среднее время восстановления (в мин.) - 3;
- вероятность безотказной работы - 0,95;

Отсюда следует, что связь между КП - ТПУ и КП-омо- надежна.

Определение надежности схемы связи СЦ между командным пунктом и остальными отрядами.

При оценке устойчивости систем связи по надежности с остальными подразделениями можно сделать вывод, что связь является устойчивой, потому что линии каналов связи проложены параллельно.

По количеству параллельных каналов связи:

- КП - осо - 7;
- КП - ооодс - 7;

Оценка устойчивости системы связи организациями по надежности.

С ЦРЦ и ОГ МЧС существует 3 канала радиосвязи и 2 канала через радиорелейную связь. При надежности каждого канала связи равным 0,9 (по заданию), надежность схемы связи с ЦРЦ и ОГ МЧС будет равно:

для двух каналов связи

$$R_{\text{РЦ-СЦ}} = 0,9 + 0,9 - 0,9 \times 0,9 = 0,99;$$

для трех каналов связи

$$R_{\text{РЦ-СЦ}} = 0,9 + 0,99 - 0,9 \times 0,99 = 0,999;$$

для четырех каналов связи

$$R_{\text{РЦ-СЦ}} = 0,9 + 0,999 - 0,9 \times 0,999 = 0,9999;$$

для пяти каналов связи

$$R_{\text{РЦ-СЦ}} = 0,9 + 0,9999 - 0,9 \times 0,9999 = 0,99999;$$

СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СПАСАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

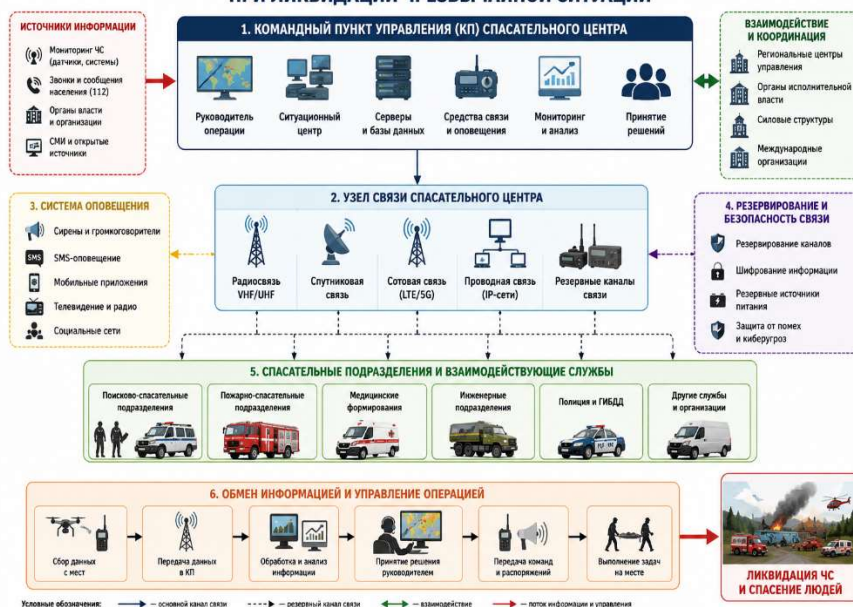


Рисунок 1. Схема организации связи спасательного центра

В современных условиях эффективность управления аварийно-спасательными работами определяется не использованием одного вида связи, а интеграцией различных цифровых коммуникационных технологий в единую информационно-коммуникационную систему.

Предлагается многоуровневая модель организации связи спасательного центра, основанная на использовании современных телекоммуникационных технологий. В отличие от традиционной системы, новая модель предусматривает совместное применение сетей LTE/5G, профессиональной цифровой радиосвязи TETRA и DMR, спутниковой связи, беспилотных летательных аппаратов (UAV), геоинформационных систем (GIS) и самоорганизующихся Mesh-сетей.

Использование данной архитектуры обеспечивает:

- непрерывность управления при разрушении инфраструктуры связи;
- резервирование каналов передачи данных;
- обмен информацией в режиме реального времени;
- повышение ситуационной осведомленности руководителя ликвидации ЧС;
- сокращение времени принятия решений;
- повышение устойчивости системы управления спасательными подразделениями.

Предлагаемая модель может применяться при ликвидации лесных пожаров, землетрясений, наводнений, техногенных аварий и других чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся повреждением традиционной инфраструктуры связи.

Сравнительный анализ современных технологий связи, предлагаемых для спасательного центра							
Технология	Основное назначение	Зона покрытия	Скорость передачи данных	Надежность при ЧС	Ключевые преимущества	Основные ограничения	Резервный канал связи
 LTE / 5G	Высокоскоростная передача данных, видео и телеметрии	Городские и региональные зоны (до 10–30 км от БС)	100 Мбит/с – 1 Гбит/с	★★★★☆	✓ Высокая пропускная способность ✓ Передача видео в реальном времени ✓ Низкая задержка данных ✓ Поддержка IoT и видеонаблюдения	⚠ Зависимость от базовой инфраструктуры ⚠ Уязвимость при массовых разрушениях	 Спутниковая связь
 TETRA	Профессиональная оперативная голосовая и дата-связь	До 30–50 км (с ретрансляторами до 100+ км)	до 28,8 кбит/с (данные)	★★★★★	✓ Высокая надежность и защищенность ✓ Групповые вызовы и приоритетный доступ ✓ Устойчивость к перегрузкам сети ✓ Режим прямой связи (DMO)	⚠ Ограниченная скорость передачи данных ⚠ Высокая стоимость внедрения	 DMR / Ретрансляторы
 DMR	Цифровая радиосвязь для локальных сетей	До 10–20 км (с ретрансляторами до 50+ км)	до 9,6 кбит/с (данные)	★★★★☆	✓ Низкое энергопотребление ✓ Экономичность внедрения ✓ Поддержка передачи текстовых сообщений и GPS-координат ✓ Режим прямой связи	⚠ Ограниченная пропускная способность ⚠ Меньшая функциональность по сравнению с TETRA	 Mesh Network / TETRA
 Спутниковая связь (Satellite)	Глобальная связь при отсутствии инфраструктуры	Практически неограниченная (глобальная)	1–200 Мбит/с (в зависимости от системы)	★★★★☆	✓ Работает в любой точке мира ✓ Независимость от наземной инфраструктуры ✓ Быстрое развертывание ✓ Устойчивая связь при масштабных ЧС	⚠ Задержка сигнала (500–700 мс) ⚠ Зависимость от погодных условий ⚠ Высокая стоимость	 Starlink
 Starlink	Высокоскоростной спутниковый интернет нового поколения	Глобальная (включая удаленные и горные районы)	50–250 Мбит/с	★★★★★	✓ Высокая скорость и низкая задержка ✓ Быстрое развертывание (10–15 мин) ✓ Стабильная работа при разрушении наземных сетей ✓ Поддержка видео, GIS и облачных сервисов	⚠ Требуется открытый обзор неба ⚠ Высокая стоимость терминалов	 Спутниковая связь
 Mesh Network	Самоорганизующаяся сеть для обмена данными между подразделениями	От нескольких сотен метров до десятков километров	до 100 Мбит/с	★★★★☆	✓ Работает без базовой инфраструктуры ✓ Автоматическое восстановление маршрутов ✓ Быстрое развертывание ✓ Идеально для зон разрушений и горной местности	⚠ Сложность настройки ⚠ Ограниченная емкость сети при большом количестве узлов	 LTE/5G / Спутниковая связь
 UAV (БПЛА)	Воздушная разведка, видеомониторинг, ретрансляция связи	До 50–100 км (в зависимости от типа БПЛА)	10–100 Мбит/с (видеопоток)	★★★★☆	✓ Оперативная оценка обстановки ✓ Тепловизионная и ночная съемка ✓ Мобильная ретрансляция связи (LTE/TETRA) ✓ Быстрое получение точных координат	⚠ Зависимость от погодных условий ⚠ Ограниченное время полета ⚠ Требуется квалифицированного оператора	 LTE/5G / Спутниковая связь
 GIS (ГИС)	Геоинформационное обеспечение управления ЧС	Любая территория (при наличии данных)	Зависит от канала передачи данных	★★★★★	✓ Единая картина обстановки ✓ Отображение сил, средств и рисков на карте ✓ Анализ и прогнозирование развития ЧС ✓ Поддержка принятия управленческих решений	⚠ Требуется постоянное обновление данных ⚠ Зависимость от каналов связи	 Starlink / Спутниковая связь
Основные обозначения: ★★★★★ – очень высокая надежность ★★★★★ – высокая надежность ★★★★★ – средняя надежность ✓ – преимущество ⚠ – ограничение							

Рисунок 2. Сравнительный анализ современных технологий связи, предлагаемых для спасательного центра



Рисунок 3. Интегрированная схема цифровой системы связи спасательного центра

Проведенный сравнительный анализ показывает, что предлагаемая интегрированная цифровая система связи значительно превосходит традиционные подходы по показателям надежности, устойчивости, оперативности и эффективности управления.

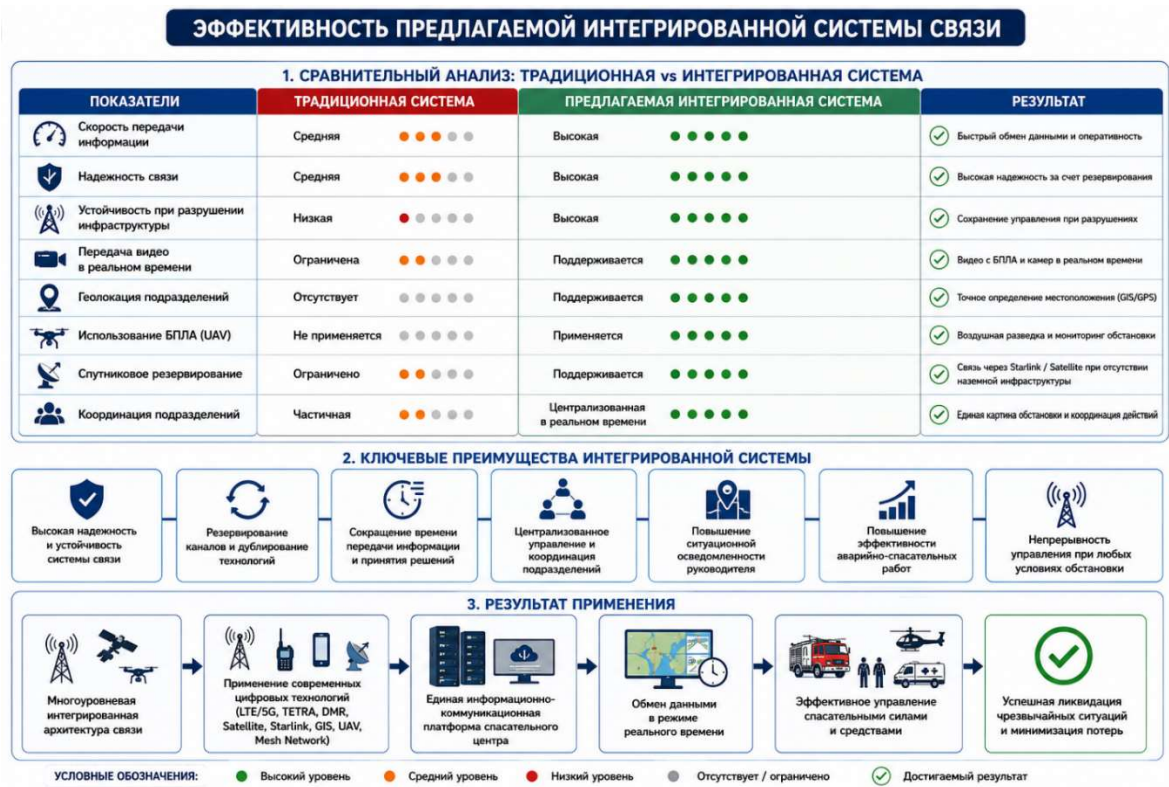


Рисунок 4. Оценка эффективности интегрированной цифровой системы связи спасательного центра

Комплексное применение технологий LTE/5G, TETRA, DMR, GIS, UAV, Starlink, Satellite Communication и Mesh Network обеспечивает многоуровневое резервирование каналов связи, непрерывный обмен информацией и централизованное управление спасательными подразделениями в режиме реального времени. Использование данной архитектуры позволяет повысить ситуационную осведомленность руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации, сократить время передачи информации и принятия решений, а также обеспечить устойчивое функционирование системы связи даже при повреждении традиционной телекоммуникационной инфраструктуры.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты в целом подтверждают поставленную в исследовании цель разработку устойчивой и резервируемой цифровой системы связи для обеспечения непрерывного управления спасательными силами при чрезвычайных ситуациях. Проведённый анализ показывает, что связь является не только средством передачи информации, но и важнейшим элементом управления, координации подразделений и оперативного принятия решений. Результаты структурно-функционального анализа подтверждают необходимость поэтапной организации связи. Это особенно важно при работе в сложной местности и на значительном удалении между силами, где потеря связи может привести к снижению эффективности управления.

Полученные результаты согласуются с исследованиями Du и соавторов, подчёркивающими значение коммуникаций и сетевого взаимодействия для координации участников чрезвычайного реагирования [13]. Аналогично, Wang и соавторы отмечают перспективность интеграции сотовых, спутниковых и самоорганизующихся сетей для повышения устойчивости экстренной связи [15]. Исследования Rabahi и соавторов также подтверждают возможность применения UAV для временного восстановления коммуникационной инфраструктуры в районах бедствий [14]. Таким образом, предложенный в статье подход соответствует современной тенденции перехода от отдельных средств связи к гибридным и многоуровневым системам.

Особое значение предложенная модель имеет для условий лесных пожаров, где рельеф, лесной покров, большие расстояния и ограниченная инфраструктура могут снижать устойчивость радиосвязи. Интеграция LTE/5G, TETRA, DMR, спутниковой связи, UAV и Mesh-сетей позволяет рассматривать различные технологии как взаимодополняющие элементы единой системы. Исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, расчёты основаны на одинаковой надёжности каналов 0,9 и предполагаемой независимости их отказов. Во-вторых, предложенная модель имеет концептуальный характер и не была проверена в ходе полномасштабных натурных испытаний. В-третьих, сравнительный анализ не включает детальную оценку стоимости, кибербезопасности, лицензирования частот и совместимости конкретного оборудования.

В целом результаты показывают, что устойчивость связи определяется не

только характеристиками отдельных средств, но и архитектурой всей системы. Поэтому для спасательного центра наиболее целесообразным является сочетание технологической интеграции, резервирования каналов и адаптации системы к конкретным условиям чрезвычайной ситуации, что соответствует цели и задачам настоящего исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтверждает, что устойчивость и надёжность системы связи являются важными условиями эффективного управления спасательными силами при чрезвычайных ситуациях. Анализ организации связи и проведённые расчёты показали целесообразность резервирования каналов и их интеграции с учётом изменяющейся оперативной обстановки.

Основным результатом работы является разработка концептуальной интегрированной модели цифровой связи спасательного центра, объединяющей традиционные и современные средства связи. Предложенный подход обеспечивает многоуровневое резервирование, непрерывный информационный обмен и сохранение управления при нарушении отдельных каналов связи.

Практический вклад исследования заключается в возможности применения предложенной модели при организации связи спасательных центров и подразделений, участвующих в ликвидации различных чрезвычайных ситуаций, особенно в условиях сложного рельефа и повреждения традиционной коммуникационной инфраструктуры.

Для дальнейшего совершенствования системы рекомендуется развивать автоматизацию управления и интеллектуальную поддержку принятия решений, а также расширять применение современных цифровых технологий для повышения устойчивости и оперативности аварийно-спасательных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов, С.В. Безопасность спасательных работ. Кн. 1 / С.В. Горбунов. - 2-е изд. - Химки: АГЗ, 2012.
2. Конспекты лекций по дисциплине «Организация связи в РСЧС».
3. Методические рекомендации по применению и действиям нештатных аварийно-спасательных формирований по приведению в готовность гражданской обороны и ликвидации чрезвычайных ситуаций / Департамент гражданской защиты МЧС России. - Москва, 2005.
4. Организация связи и оповещения в РСЧС: учеб. пособие. - Инв. № 943к.
5. Основы организации связи и оповещения ГО: учеб. пособие.
6. Попов, П.А. Организация и ведение аварийно-спасательных работ. Ч. 1. Основы применения аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований в ЧС мирного времени: учебник / П.А. Попов, В.С. Федорук, С.А. Харитонов, А.Ю. Дёмин. - Химки : АГЗ, 2011. - Инв. № 2515к.
7. Садыг-заде, У.А. Научные подходы и новые технологии в пожарной безопасности / У.А. Садыг-заде, Р.В. Азизов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сб. материалов XIX Междунар.

заоч. науч.-практ. конф. - Минск, 16–17 апр. 2025 г. - с. 60–62.

8. Садыг-заде, У.А. Организация корпоративной информационной сети и использование современных информационных технологий в Управлении ГО Азербайджанской Республики / У.А.Садыг-заде // Научные известия. - Баку, 2022. - Т. 22, № 3. - с. 89–95.

9. Садыг-заде, У.А. Перспективы использования информационных технологий при ликвидации чрезвычайных ситуаций / У.А.Садыг-заде // Развитие водного хозяйства Азербайджана связано с именем общенационального лидера Гейдара Алиева : материалы науч.-практ. конф. - Баку, 5 мая 2023 г. - с. 379–384.

10. Связь военная. Термины и определения: ГОСТ В 23609–79. - Инв. № 868 дсп.

11. Топольский, В.А. Автоматизированная система материально-технического обеспечения / В.А.Топольский, В.В.Минаев, В.В.Симаков, А.П.Сатин // Технологии техносферной безопасности. - 2009. - № 2.

12. Федорук, В.С. Организация и ведение аварийно-спасательных работ. Ч. 3. Аварийно-спасательный инструмент и оборудование. Кн.1: учебник / В.С.Федорук. - 2-е изд. - Химки : АГЗ, 2012. - Инв. № 2632к.

13. Du, L. Networks in disaster emergency management: a systematic review / L.Du, Y.Feng, L.Y.Tang, W.Kang, W.Lu // Natural Hazards. - 2020. - Vol. 103. - p. 1–27.

14. Rabahi, F.Z. UAV-Assisted Mesh Network for Emergency Communication in Disaster Areas / F.Z. Rabahi, S.Boudjit, L.Benarous // International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). - 2023.

15. Wang, Q. An Overview of Emergency Communication Networks / Q.Wang, W.Li, Z.Yu [et al.] // Remote Sensing. - 2023. - Vol. 15, № 6. - Art.