

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Возможности применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением в
подземных транспортных коммуникациях

Обучающийся

Н.И. Попова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент А.В. Щипанов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Содержание

Введение.....	3
1 Теоретические аспекты применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением.....	9
1.1 Основы вентиляции, ее назначение и значимость в процессе дымоудаления. Типы вентиляционных систем.....	9
1.2 Сущность тактической вентиляции, ее цели и роль в борьбе с задымлением. Оборудование, используемое в тактической вентиляции.....	18
1.3 Особенности тактической вентиляции, способы, правила и проблемы ее проведения.....	26
2 Практика применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением в подземных транспортных коммуникациях.....	34
2.1 Особенности пожаров и задымлений в подземных транспортных коммуникациях.....	34
2.2 Стандарт действий по тактической вентиляции в подземных транспортных коммуникациях.....	41
2.3 Основные проблемы, связанные с дымоудалением в подземных транспортных коммуникациях.....	50
3 Совершенствование механизмов применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением в подземных транспортных коммуникациях.....	57
3.1 Направления и инструменты адаптации существующих методов применения тактической вентиляции для борьбы с задымлением в подземных транспортных коммуникациях.....	57
3.2 Прогноз применения и оценка эффективности мероприятий.....	65
Заключение.....	72
Список используемой литературы.....	75
Приложение А.....	82

Введение

Вопросы жизнеобеспечения и безопасности человека, находящегося в подземных сооружениях, всегда имели первостепенное значение в вопросах обслуживания данных объектов. В особенности это касается подземных сооружений транспортного назначения, а именно метрополитена, автотранспортных и железнодорожных тоннелей, а также подземных автостоянок, где предусмотрено пребывание людей. Замкнутость подземного пространства определяет такие факторы риска, как эмиссия вредных веществ при работе двигателей и возможность задымления токсичными продуктами сгорания при возникновении пожара.

Штатная система вентиляции, проектируемая для поддержания нормального микроклимата в подземных транспортных системах, не рассчитана на работу при наступлении чрезвычайной ситуации. Кроме этого, перевод системы вентиляции в аварийный режим во многом зависит от человеческого фактора и обстановки, сложившейся на пожаре, поэтому создание автономной системы вентилирования является весьма важным вопросом для исследования в рамках повышения эффективности устранения последствий чрезвычайных ситуаций.

Соответственно, необходимость применения альтернативных методов вентиляции при борьбе с задымлением определяют актуальность настоящего диссертационного исследования. Особого внимания заслуживает совершенствование направлений использования тактической вентиляции, а также определение инструментов адаптации существующих методов ее применения для борьбы с задымлением в подземных транспортных коммуникациях.

Несмотря на то, что большая часть специализированной литературы по вопросам пожаротушения и дымоудаления была издана еще в XX веке, она до сих пор актуально. Однако, особенности современных пожаров, в частности повышенная токсичность продуктов горения, побуждает

специалистов исследовать вопросы более эффективных методик пожаротушения и дымоудаления. Одной из них является тактическая вентиляция.

Фундаментально процессы пожарной безопасности и реализации необходимых мер по устранению негативного влияния опасных факторов всесторонне изучены в научных работах следующих авторов: Земский Г.Т. [10], Зычков Э.А. [11], Пучков В.А. [32], Терехнев В.В. [46] и другие. Вопросам тактической вентиляции уделено внимание преимущественно специалистами-практиками, например, Большаковым Д. [3], Гордиенко Д.М. [7], Серегиным М.В. [38-40] и др., а также учеными ВНИИПО МЧС России.

Нормативная база, касающаяся сферы пожарной безопасности, пожаротушения и дымоудаления, является обширной. Регулярно обновляются Приказы МЧС и формируются методические рекомендации по данным вопросам. Периодически пересматриваются Своды правил, касающиеся осуществления вентиляции воздуха, в т.ч. и в подземных тоннелях, метрополитене.

В целом, несмотря на процессы развития и внедрения различных инструментов и техник в практике борьбы с пожарами и задымлением, вопросы применения тактической вентиляции все еще находятся на стадии изучения. Их можно охарактеризовать как недостаточно исследованные, что и предопределило выбор темы настоящей диссертации, а также ее объект, предмет, цель и задачи.

Объект исследования: совокупность процессов применения тактической вентиляции в целях дымоудаления.

Предмет исследования: методика применения тактической вентиляции в подземных транспортных коммуникациях с целью борьбы с задымлением.

Цель исследования: адаптация существующих методов использования тактической вентиляции в целях дымоудаления в подземных транспортных коммуникациях.

Гипотеза исследования состоит в том, что адаптация существующих методов использования тактической вентиляции в целях дымоудаления в подземных транспортных коммуникациях повышает эффективность борьбы с задымлением и способствует снижению риска для личного состава служб, задействованных в процессе, а также людей, находящихся на объекте.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать основы вентиляции, определить ее назначение и значимость в процессе дымоудаления, описать различные типы вентиляционных систем;
- раскрыть сущность тактической вентиляции, а также особенности и проблемы ее использования в борьбе с задымлением;
- определить особенности пожаров и задымлений в подземных транспортных коммуникациях;
- проанализировать действия по тактической вентиляции в подземных системах, выявить основные ошибки и проблемы, связанные с дымоудалением;
- предложить направления и инструменты адаптации существующих методов применения тактической вентиляции для повышения эффективности проведения пожаротушения и дымоудаления в подземных транспортных коммуникациях;
- сделать прогноз применения и провести оценку эффективности указанных мероприятий.

Теоретико-методологическую основу исследования составили труды отечественных и зарубежных экспертов в области техносферной безопасности, в частности пожарной, и строительства подземных сооружений такие, как: Большаков Д., Гордиенко Д.М., Земский Г.Т., Зычков Э.А., Ильин С.М., Пучков В.А., Романенко А.И., Самарская Н.А., Серегин М.В., Текушин Д.В., Тербнев В.В. и др., а также:

- действующее законодательство Российской Федерации (федеральные законы, нормативно-правовые акты Правительства РФ, Приказы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) и других ведомств);
- официальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), МЧС России и других ведомств;
- материалы периодических научных изданий, включая рецензируемые журналы;
- электронные публикации и материалы сети Интернет по рассматриваемой проблематике.

Основными методами исследования выступают: теоретический анализ, экстраполирование, методы дедукции и аналогии, они позволят представить проблему с различных сторон, выявить и сформулировать ключевые факторы исследуемых вопросов. Кроме этого, использованы статистические методы для сравнения и анализа данных статистики.

В работе также задействуются количественные и графические методы обработки данных для их обобщения и представления в виде таблиц, схем, диаграмм и рисунков.

Научная новизна исследования:

- представлена авторская трактовка стандартов применения тактической вентиляции в условиях задымления в подземных транспортных коммуникациях;
- детерминированы явные и скрытые барьеры и ошибки, связанные с процессами дымоудаления в подземных системах, в частности на законодательно-правовом и техническом уровнях;
- определены специфические направления и инструменты адаптации существующих методов применения тактической вентиляции для

борьбы с задымлением в подземных системах, что особенно важно для повышения эффективности борьбы с задымлением и снижения риска для личного состава служб, задействованных в процессе, а также людей, находящихся на объекте;

- сделан прогноз относительно применения адаптированных методов работы с тактической вентиляцией для снижения риска повреждений личного состава, а также проведена оценка их социальной эффективности.

Теоретическая значимость исследования заключается в возможностях для научного сообщества использовать ее результаты для формирования методологического материала с целью последующего использования в обучающем процессе по вопросам применения тактической вентиляции.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью применения полученных выводов и результатов в практической деятельности специалистов Государственной противопожарной службы Российской Федерации, а также сотрудников других служб, задействованных в рамках пожаротушения и дымоудаления.

Обоснованность результатов исследования обеспечивалась:

- использованием достаточного количества надежных библиографических источников по вопросам и проблематике исследования, данных официальной статистики;
- проведением оценки эффективности методов применения тактической вентиляции для борьбы с задымлением в подземных транспортных коммуникациях.

Объем и структура исследования определяются целью работы и порядком решения поставленных задач. Диссертационное исследование состоит из введения, трех разделов, включая 8 подразделов, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 81 страницах машинописного текста (не учитывая приложений). Текст работы содержит 14

рисунков, 7 таблиц и 1 приложения, представленного на 1 странице. Список литературы насчитывает 58 наименований.

1 Теоретические аспекты применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением

1.1 Основы вентиляции, ее назначение и значимость в процессе дымоудаления. Типы вентиляционных систем

Благоприятные условия микроклимата – важное условие для жизнедеятельности человека. Он представляет собой комплекс физических факторов среды, оказывающий влияние на здоровье человека. Так, к микроклиматическим параметрам принято относить:

- уровень влажности;
- температуру;
- барометрическое давление;
- скорость движения воздуха и другие [17].

Поддержание микроклимата обеспечивается за счет непрерывного циркулирования возмущающих и регулирующих потоков. Схематично это представлено на рисунке 1.

Наиболее благоприятное сочетание параметров воздуха в помещении (обеспечение параметров микроклимата) обычно создается системами вентиляции и кондиционирования. Посредством вентиляции происходит приток свежего воздуха. Важность данного процесса для здоровья человека была осознана задолго до появления современных технологий – еще во времена Древнего Египта. Оказываясь в тесных и душных помещениях, люди начинали чувствовать ухудшение состояния, их внимание притупилось, работоспособность падала.

Одним из первых решений указанной проблемы послужило формирование небольших отверстий в углах комнат, посредством которых осуществлялся воздухообмен. Чуть позже в период масштабного строительства египетских пирамид в толще стен сооружений были предусмотрены целые системы воздухопроводов. Наиболее ярким примером

древней системы вентилирования является крупнейшая из египетских пирамид - пирамида Хеопса [15].

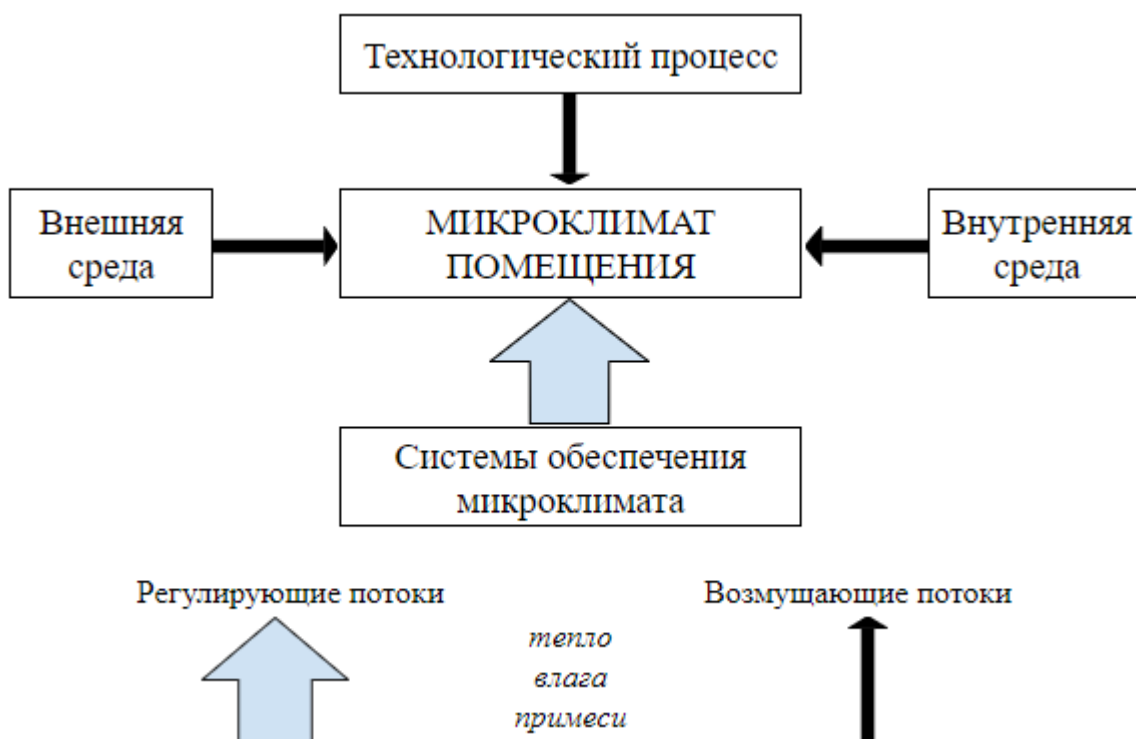


Рисунок 1 – Схема формирования микроклимата в помещении (составлено автором на основании [17])

В эпоху средневековья, когда на человечество столкнулось с массовыми эпидемиями, был открыт угарный газ. Кроме этого, лекари того времени поняли, что причиной заражения зачастую становится тесный контакт зараженного индивида в отсутствии притока свежего воздуха.

Тяжесть протекания заболеваний и отсутствие доступных способов лечения побудило человечество стараться действовать превентивно. Так, при английском короле Карле I впервые появились нормы, определяющие параметры помещений в зависимости от числа находящихся в нем. Например, запрещено было строить дома с расстоянием от пола до потолка меньшим 3-х метров.

В середине XVIII века появляется первая вентиляционная система, спроектированная Л. Эйлером в 1754 году. В начале XIX века начала использоваться немеханическая вентиляция, схему которой учитывали при строительстве зданий. Данное изобретение было запатентовано как «метод регулировки температуры, а также кондиционирования воздуха в жилых и прочих зданиях». Несмотря на то, что с даты создания вентиляционной системы прошло более 200 лет, базовые принципы ее формирования используются инженерами до сих пор.

С технической точки зрения, вентиляцией представляет собой комплекс технических мер и устройств, предназначенных для обеспечения в помещениях нормируемых значений параметров воздуха, определяемых врачами-гигиенистами или технологами в зависимости от особенностей помещения и технологических процессов, протекающих в нем [17].

Параметры воздуха, соответствующие оптимальным и допустимым условиям, зависят от следующих условий:

- времени года (теплое, холодное);
- особенностей климата в конкретном регионе (сухой, влажный и др.);
- специфики помещения (высотное здание, подземное сооружение – из-за разницы в атмосферном давлении).

Согласно определению, содержащемуся в «СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003» под вентиляцией понимается: «обмен воздуха в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ с целью обеспечения допустимого микроклимата и качества воздуха в обслуживаемом помещении или рабочей зоне» [26].

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха выполняют две ключевые задачи:

- санитарно-гигиеническую (обеспечивает нормальное самочувствие человека);

- технологическую (обеспечивает оптимальное ведение технологического процесса, сохранность машин, материалов и зданий) [22].

Таким образом, основное назначение вентиляции – борьба с вредными выделениями в помещении, к которым относятся:

- избыточное тепло;
- избыточная влага;
- пыль;
- газы и пары вредных веществ.

Все указанные выше выделения характерны при задымлении помещения, т.е. распространении дыма, образующегося при горении жидких или твердых веществ (материалов). В процессе задымления воздух наполняется различными токсичными примесями. Даже незначительное их содержание приводит к нарушению функционирования человеческого организма (головокружение, тошнота, головная боль и другие проявления).

В зависимости от степени влияния на человеческий организм, вредные вещества подразделяют на группы. Санитарными нормами устанавливается принадлежность всех веществ к тому или иному классу опасности:

- 4-й – малоопасные;
- 3-й – умеренно опасные;
- 2-й – высокоопасные;
- 1-й – чрезвычайно опасные [48].

Важнейшей жизнеобеспечивающей функцией организма человека является дыхание, для которого требуется конкретный химический состав воздуха (см. диаграмму на рисунке 2).

В обычных условиях доля углекислого газа в воздухе, которым дышит человек составляет 0,05%, однако повышение его концентрации до 0,2% может повлечь за собой смертельный исход в случае, если человек пробудет в зоне задымления более 30 минут, а при концентрации 0,5-0,7% – в течение лишь нескольких минут [52]. В то же время, снижение доли кислорода в

воздухе (по объему) ниже 19% негативно сказывается на работе центральной нервной системы и сердечно-сосудистой системы [16].

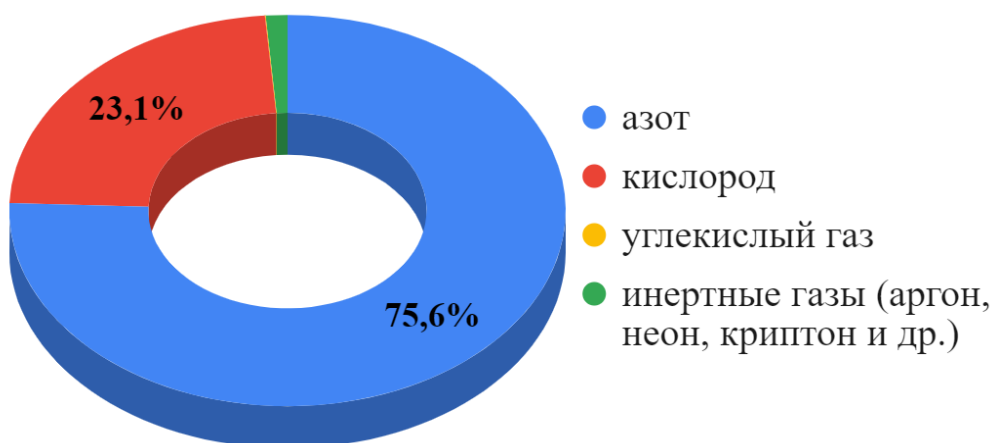


Рисунок 2 – Массовое содержание сухой части воздуха [25]

Кроме этого, задымление несет в себе опасность не только наличием высокой концентрации токсичных веществ, но и снижением видимости до минимума, что нередко затрудняет работу сотрудников служб (пожарных, спасателей, врачей и так далее). Таким образом, значимость вентиляции в процессе дымоудаления трудно переоценить.

Системы вентиляции можно классифицировать по нескольким основным признакам. Для наглядности они систематизированы автором в таблице 1.

Важно отметить, что в каждом из указанных видов систем возможно формирование и смешанного типа. Например, довольно распространенной системой является сочетающая элементы местной и общеобменной систем. Локализирующая (местная) система удаляет вредные вещества из кожухов и укрытий машин, в то время как часть вредных веществ через неплотности укрытий прорывается в помещение. Эту часть, в свою очередь, удаляет общеобменная вентиляция.

В некоторых литературных источниках выделяются вентиляционные системы, различающиеся по конструктивному (инженерному) исполнению:

канальные и бесканальные. Также системы можно классифицировать по мощности работы, т.е. по количеству воздуха, приходящегося на одного человека в час.

Таблица 1 – Классификация вентиляционных систем по типам (составлено автором на основании [22])

Признак	Виды	Характеристика
По способу перемещения воздуха	Естественная	Воздух перемещается под действием гравитационного давления, возникающего за счет разности плотностей холодного и нагретого воздуха и под действием ветрового давления. Пути такой вентиляции – открытые окна, форточки, технологические проемы, которые позволяют свежему воздуху проникнуть в помещение.
	Механическая	Воздух перемещается под действием вентилятора.
По способу подачи и удаления воздуха	Приточная	Воздух подается в помещение после подготовки его в кондиционере или в приточной камере.
	Вытяжная	Предназначена для удаления воздуха из помещения, при этом в помещении создается пониженное давление, и воздух соседних помещений или наружный воздух поступает в данное помещение.
	Система с рециркуляцией	Система, при которой к наружному воздуху подмешивается часть вытяжного воздуха.
По способу обеспечения метеорологических факторов	Общеобменная	Вентиляционный воздух, поступающий в помещение, распределяется по возможности равномерно по всему помещению, поглощает вредные выделения и удаляется из помещения.
	Местная	Система, при которой устраиваются укрытия машин, аппаратов или участков технологического процесса, от которых локально осуществляется вытяжка воздуха.
	Система аварийной вентиляции	Включается автоматически при достижении предельно допустимой концентрации вредных выделений или при остановке одной из систем общеобменной или местной вентиляции.

Раскрывая предмет настоящего исследования, который связан с применением тактической вентиляции в борьбе с задымлениями, важно более подробно остановиться на системе противодымной вентиляции, которая предназначена для удаления (предотвращения распространения) продуктов горения при пожаре. В соответствии со строительными нормами и правилами, оборудованию вентиляции подобного типа подлежат здания, этажность которых превышает 10 этажей, а также подземные сооружения и помещения без естественной вентиляции [26].

Такие системы служат для создания условий выживания эвакуируемых людей на начальном этапе пожара и, в свою очередь, подразделяются на следующие подвиды:

- статические (вентиляционная система здания/сооружения отключается в момент пожара, и распространение через вентиляционные шахты и воздуховоды локализуется в горящем помещении);
- динамические (продукты горения удаляются посредством системы противодымной приточно-вытяжной вентиляции, которая содержит как систему дымоудаления, так и подпору воздуха) [20].

С точки зрения эффективности дымоудаления предпочтение отдается второму типу. Компонент дымоудаления нейтрализует дым и продукты горения, а также препятствует их дальнейшему распространению в другие зоны. Одновременно с этим вентиляторы подпора подают чистый воздух на пути основных и запасных выходов, пожарные лестницы, лифтовые холлы и коридоры, чтобы люди смогли покинуть задымленные помещения в безопасности.

Система динамической противодымной вентиляции включает в себя большое количество оборудования:

- огнезадерживающие клапаны;
- клапаны дымоудаления;
- защитная пленка;

- вентиляторы;
- систему пожарного извещения;
- защитные перегородки и другие [51].

Противодымная вентиляция может быть запущена вручную или автоматически с помощью системы пожарной сигнализации.

Важнейшим принципом организации воздухообмена в здании/сооружении является принцип оптимальности. Он подразумевает то, что определенные метеорологические параметры воздуха, которым дышит человек, должны быть достигнуты при минимальном количестве его расходования.

При проектировании системы вентиляции инженерами учитываются закономерности функционирования и взаимодействия приточных, вытяжных и конвективных струй, т.е. направленных потоков воздуха с конечными поперечными размерами, в каждом конкретном помещении. Именно они обуславливают то, как воздух циркулирует в помещении (его направление движения, поля концентрации вредных веществ и др.)

В период проектирования вентиляционной системы важно достичь правильного типа распределения воздуха – так, чтобы избежать замкнутых контуров циркуляции и «мертвых» зон. Проведенные исследования показали, что среди разных схем подачи и удаления воздуха наиболее эффективной является та, в которой приток равномерен по ширине помещения, а вытяжка сосредоточена, тогда достигается равномерное распределение воздуха [22].

На рисунке 3 изображены различные схемы движения воздуха в помещении, однако лишь верхняя левая является оптимальной, поскольку не способствует формированию замкнутых контуров циркуляции и неохваченных потоком зон.

В данном аспекте также целесообразно подчеркнуть, что вентиляция в помещении с правильным распределением притока и оттока воздуха может быть достигнута естественным путем (например, за счет грамотного

расположения окон или технологических отверстий в жилом или производственном помещении).

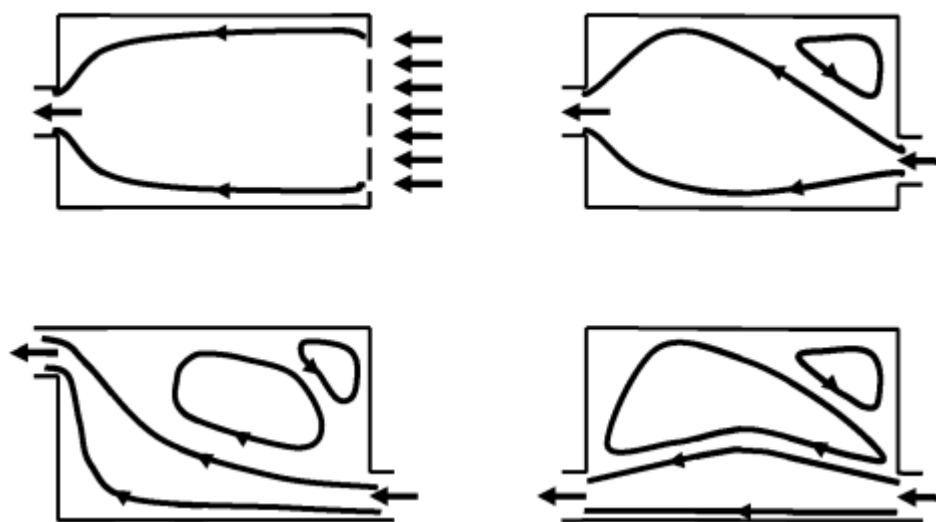


Рисунок 3 – Схемы циркуляции воздуха в помещении [22]

Однако в ситуациях с задымлением необходимо более активное обновление воздуха, что реализуется посредством применения различных механических вентиляционных систем, например тактической.

Таким образом, в специализированной литературе под вентиляцией, основным назначением которой является обеспечение оптимального микроклимата для жизнедеятельности человека и работы технологического оборудования, понимается обмен воздуха в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ. Существует большое количество различных типов вентиляционных систем. Тип вентиляционной системы выбирается исходя из особенностей расположения и внутренней структуры вентилируемого объекта, а также задач, выполняемых самим объектом.

1.2 Сущность тактической вентиляции, ее цели и роль в борьбе с задымлением. Оборудование, использующееся в тактической вентиляции

Как технология пожаротушения, тактическая вентиляция применяется в европейских странах более двух десятилетий. Начало ее широкого внедрения в практику пришлось на 90-е годы прошлого столетия. Однако, некоторыми экспертами игнорируется тот факт, что советской пожарной службой еще с конца 50-х гг. прошлого столетия уделялось большое внимание практике управления газообменом на пожаре. До начала периода «перестройки» в России активно отработывались новые приемы и методы в тактике дымоудаления, а пожарная техника и пожарно-техническое вооружение активно модернизировались.

Известно, что до 1956 года в СССР сотрудниками пожарной службы использовались дымососы с вентиляторами роторного типа ЭВР-4. Чуть позже ввиду более высокой эффективности работы был осуществлен переход на дымососы с вентилятором пропеллерного типа. Данное оборудование отличалось не только большей производительностью, но и меньшим весом по сравнению с оборудованием предыдущего типа (см. сравнение характеристик в таблице 2).

Таблица 2 – Сравнение типов советских дымососов по основным техническим характеристикам [38]

Технический параметр	Дымосос с вентилятором ЭВР-4	Дымосос с пропеллерным вентилятором
Максимальная производительность, м ³ /час	5790	5840
Вес, кг	135	99
Габаритные размеры, см		
длина	84	110
ширина	75	50
высота	82	69

Также в различных технических источниках советского времени имеются свидетельства применения различных бензиновых и электрических дымососов, которые использовались в качестве переносного вентилятора, спаренного с двигателем. В одних случаях такие дымососы запускались для удаления дыма или газа из задымленных помещений, в других – для нагнетания туда свежего воздуха [38].

Анализируя научную литературу, касающуюся управления газообменом при пожарах, приходим к выводу о том, что принципы использования дымоудаляющего оборудования не изменились. Современная методика также основана на двух ключевых подходах:

- применении нагнетательной вентиляции с целью дымоудаления путем откачки продуктов горения;
- использовании комбинированного способа, включающего в себя как процесс нагнетания, так и выкачивания [12].

Принципиально не изменились и способы управления газовыми потоками, а именно:

- использование ряда огнетушащих средств и веществ (например, воздушно-механической пены, которая весьма эффективна для вытеснения дыма из помещения, а также распыленной воды);
- аэрация всего здания (усиление естественной вентиляции в здании/сооружении);
- принудительная вентиляция (в т.ч. тактическая вентиляция).

Однако, несмотря на наличие значительной теоретической базы (методических рекомендаций, монографий с расчетами, публикаций в профильных журналах) и масштабной практики с применением специального оборудования в сфере управления газообменом на пожаре, обобщения указанной информации и формирования отдельной дисциплины не произошло.

В начале 90-х гг. прошлого столетия понятие «управление газообменом на пожаре» практически перестало существовать. По сути его заменил

термин «тактическая вентиляция», который начинает появляться в статьях современных авторов. В целом, по мнению ряда исследователей, указанная дефиниция, сложившаяся в результате перевода иностранной литературы, является аналогом термина «управление газообменом на пожаре». За счет простоты и более быстрого произношения при отдаче команд понятие «тактическая вентиляция» вытеснила «управление газообменом на пожаре» и в настоящее время является самостоятельным пожарно-техническим термином [39].

Сегодня тактическая вентиляция представляет собой комплекс мероприятий по управлению газообменом на пожаре с использованием специальных технических средств и принципов для снижения вероятности воздействия опасных факторов пожара, гибели и травмирования людей и создания приемлемых условий ликвидации горения или последствий чрезвычайной ситуации [20].

Таким образом, основной принцип проведения тактической вентиляции заключается в осуществлении активного воздействия на давление воздушной среды и потоки воздуха в задымленном здании/сооружении с целью оперативного удаления продуктов горения в необходимом направлении и снижения температуры. По сути, тактическая вентиляция предполагает процесс замены отравленной среды свежим воздухом, подаваемым вентиляторами, установленными за пределами здания/сооружения.

Тактическая вентиляция, как правило, осуществляется сотрудниками газодымозащитной службы – подразделения Государственной противопожарной службы, которое участвует в операции по тушению пожаров в непригодной для дыхания среде. Такая служба необходима для снижения возникновения опасных факторов пожара, а также эвакуации людей и имущества в безопасную зону и ликвидации горения. Газодымозащитником может быть специалист, аттестованный для выполнения данного вида опасных работ и прошедший соответствующее обучение [35].

Целями применения тактической вентиляции в рамках дымоудаления выступают:

- предотвращение объемной вспышки («flashover»);
- снижение вероятности появления «обратной тяги» («backdraft»);
- снижение интенсивности образования продуктов горения и уменьшение их концентрации;
- понижение температуры пожара;
- предотвращение скопления тепла;
- обеспечение безопасности специалистов, осуществляющих тушение пожара, спасателей и др.;
- предотвращение образования и удаление перегретого пара;
- снижение температуры на участках работы;
- улучшение видимости в зоне работы;
- снижение токсичной концентрации газов и паров, опасной для людей, находящихся в здании;
- предотвращение распространения огня и дыма.

В процессе тактической вентиляции задействуется специальное оборудование, преимущественно мобильный вентилятор (эжектор). Одна из разновидностей его представлена на рисунке 4.

По принципу работы все эжекторы можно подразделить на:

- турбинные;
- нагнетательные.

Для обеспечения работы оборудования, функция которого состоит в вытеснении продуктов горения, а также горячего воздуха из задымленного помещения, применяются двигатели внутреннего сгорания и электромоторы, в некоторых случаях используется привод от водяной турбины, работающей от пожарного насоса [41].

Для вентилирования помещения посредством эжектора требуется относительно немного времени. В большей степени количество необходимого на проведение операции времени зависит от площади

помещения, его геометрических особенностей и интенсивности задымления. Эжектор создает разницу в давлении, запуская активный процесс воздухообмена.

В результате проведения тактической вентиляции продукты сгорания и тепло вытесняются из здания через вытяжной проем, место расположения которого является важным фактором при проведении дымоудаления и определяется специалистами газодымозащитной службы в ходе разведки. После того, как вытяжной проем определен или создан путем открытия окон, дверей, люков и так далее, включается в работу уже переносной нагнетательный вентилятор, установленный на входе в здание [54].



Рисунок 4 – Вентилятор (эжектор), использующийся при тактической вентиляции [41]

В зависимости от количества вентиляторов, используемых в рамках операции по дымоудалению, тактические вентиляционные операций классифицируют по трем категориям сложности. Это имеет большую значимость, поскольку от типа операции зависит выбор подхода к

управлению дымоудалением, а также организация связи и материально-техническое обеспечение. По типу выделяют следующие операции:

- простая в случае задействования не более 2 вентиляторов;
- средней сложности в случае задействования от 3 до 5 единиц;
- сложная, если используется более 5 вентиляторов.

В процессе сложной операции также могут быть применены автомобили дымоудаления. Тактическая вентиляционная операция всегда классифицируется как сложная в случае возникновения чрезвычайной ситуации с аварийно химически опасными веществами (АХОВ) или на объектах метрополитена [44].

Помимо вентиляторов (эжекторов), в качестве тактического оборудования используют противодымные занавесы (перемычки). Они предназначены для решения следующих задач:

- повышения давления в зоне вентиляции (если занавес вмонтировать в проем);
- предотвращения распространения дыма и оказания помощи на этом участке, например во время эвакуации пострадавших;
- нейтрализации сильных порывов ветра путем блокировки проема;
- создания особого вентиляционного канала [55].

Как правило, в виде занавеса используется особое промышленно изготовленное полотно (пример подобного противодымного занавеса представлен на рисунке 5). В случаях, если таковое отсутствует, сотрудниками газодымозащитной службы могут быть использованы прочие материалы, например, плотные ткани, полиэтилен – для перекрытия дверных проемов, деревянное полотно – для оконных, и другие.

Противодымные занавесы препятствуют движению воздуха в задымленном здании/сооружении. Именно этот принцип помогает данному виду оборудования предотвращать распространение дыма, что в некоторых случаях является критичным в ходе операции пожаротушения.

Применение подобных занавесов базируется преимущественно на законах конвективного перемещения газов – они всегда стремятся в соседние негорящие помещения через верхние части проемов. В процессе тактической вентиляции подобная часть проема блокируется занавесом. Одновременно с созданием вытяжного проема, через который дым покидает помещение, в нижнюю подвижную часть начинает поступать свежий воздух. Также через нижний проем, оставленный открытым, в задымленное помещение могут пройти сотрудники газодымозащитной службы и спасатели для проведения операции.



Рисунок 5 – Переносной противодымный занавес ППЭ-120 [18]

В рамках проведения тактической вентиляции важным элементом являются специальные устройства, позволяющие надежно зафиксировать оконные створки, двери и прочие проемы. Как правило, для этих целей специалисты используют клинья из досок или брусьев, изготовленных из твердых пород дерева, которые имеют вид прямоугольного треугольника (см. рисунок 6).

Но нормам, принятым в профессиональной среде, считается, что оптимальным соотношением катетов таких клиньев является 1:2, а толщина

изделия должна быть в диапазоне от 2 до 4 см. Подобный деревянный клин является самым простым и доступным в изготовлении средством фиксации. Это расходный материал и может быть повторно использован. Таким образом, использование описанного выше оборудования при проведении тактической вентиляции, помогает сотрудникам, задействованным на пожаре, при проведении спасательной операции направить потоки воздуха по необходимым проемам.



Рисунок 6 – Устройства для фиксации (клинья) [18]

Многие годы практики дымоудаления на различных объектах по всему миру доказали, что работы с применением тактического оборудования показали более высокую эффективность по сравнению с естественной вентиляцией.

Таким образом, тактическая вентиляция в настоящее время является активно развивающейся технологией и одним из эффективных способов управления пожаром. Она применяется в нескольких целях, важнейшей из которых является снижение вероятности воздействия опасных факторов на здоровье людей, например, обеспечение их свежим воздухом.

1.3 Особенности тактической вентиляции, способы, правила и проблемы ее проведения

Как уже было отмечено в предыдущем подразделе, выделяются два основных способа проведения тактической вентиляции:

- вытяжная вентиляция методом разрежения (т.е. созданием пониженного давления в горящем здании, помещении);
- приточная вентиляция методом нагнетания (т.е. созданием повышенного давления в горящем здании, помещении).

Ключевой особенностью тактической вентиляции является регламентированность порядка ее проведения. В профессиональной среде существует закреплённый алгоритм действий по проведению тактической вентиляции, который можно свести к поочередному выполнению ряда оперативно-тактических действий. Их порядок представлен автором на рисунке 7.



Рисунок 7 – Порядок проведения тактической вентиляции [20]

Особое внимание при организации тактической вентиляции (на первых двух этапах проведения работ) важно уделять выбору устойчивой и

безопасной позиции для членов личного состава газодымозащитной и других служб в рамках поставленных задач. Необходимо всегда предусмотреть пути отхода специалистов на безопасные рубежи при внезапном изменении оперативно-тактической обстановки.

Стадия развития пожара – один из наиболее значимых факторов, определяющих стратегию и тактику проведения вентиляции. В случаях, если пожар уже успел развиться, вентиляция может усилить интенсивность горения. Аналогичные последствия грозят специалистам служб, если с момента формирования вытяжного канала до запуска их в задымленное помещения пройдет много времени [41].

В некоторых осложненных внешними условиями случаях важно учитывать направление ветра для того, чтобы подачу воздуха на вентиляцию преимущественно осуществлять с наветренной стороны. И при создании вытяжного проема, создать его по возможности ближе к источнику задымления.

Необходимо подчеркнуть, что формирование вытяжного проема – исключительно значимый фактор при проведении тактической вентиляции. Его месторасположение во многом определяет организацию всей операции по дымоудалению. Оно указывается в ходе разведки. На протяжении всей операции осуществляется контроль за работой вытяжного канала. Важно подчеркнуть, что его нельзя использовать для эвакуации людей и атаки на пожар.

После определения и создания вытяжного проема в работу включается переносной нагнетательный вентилятор (эжектор), который устанавливается на входе в задымленное помещение, здание/сооружение. Мощность потока поступающего в помещение воздуха регулируется с учетом неплотностей в оконных проемах или дверях. Также важно иметь в виду наличие или отсутствие штатной системы вентиляции, а также коммуникационных шахт (лифтовых, мусоропроводных и др.).

Одновременно с потоком воздуха в помещение проникает команда газодымозащитников. С помощью вентиляции параллельно с процессом их продвижения значительно снижается температура на пути и улучшается видимость, позволяя более эффективно осуществлять поиск пострадавших и источника задымления [41].

Размещение эжектора по отношению к проему задымленного помещения имеет огромное значение. Варианты расположения изображены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Схема правильного расположения вентилятора при дымоудалении в помещении [42]

Если вентилятор находится слишком близко к дверному проему, то существует опасность обратной циркуляции воздуха. Если слишком далеко от дверного проема – мощность потока может быть существенно снижена за счет рассеивания о стены. В идеале дистанция подбирается таким образом, чтобы минимальное расстояние, на котором устанавливается вентилятор, было равно длине диагонали приточного проема.

Также отметим, что эжектор при проведении вентиляционной операции может быть использован не только для ликвидации задымления, но и при правильном направлении воздушной массы для создания избыточного

давления, целью которого является локализация горения в отдельном помещении. Например, посредством созданного подпора воздуха на лестничной клетке можно препятствовать расширению огневой зоны из одной квартиры (кабинета, складского помещения) в другую. Чтобы правильно создать подпор необходимо определить оптимальную мощность вентилятора с учетом параметров текущих вытяжного и приточного проемов [44].

Таким образом, тактическая вентиляция, как один из способов управления пожаром, является действенной с практической точки зрения методикой удаления дыма. В то же время, ее проведение нередко связано с большим количеством проблем. Рассмотрим их далее.

В качестве основной проблемы выделим нераспространенность данной методики в рядах личного состава противопожарной службы. Несмотря на то, что автомобили, использующиеся в подразделениях ГПС, всегда комплектуются дымососом, должного внимания использованию этого оборудования, к сожалению, не уделяется. Как правило, в ходе проведения операции дымосос эксплуатируют в целях разряжения (снижения давления) воздуха.

Данная проблема, по нашему мнению, усугубляется рядом факторов, которые, в свою очередь, являются причинами ее вызывающими:

- отсутствие обучения методам проведения тактической вентиляции и адаптации способа мышления членов газодымозащитной службы;
- из-за отсутствия необходимого практического опыта должностные лица на пожаре опасаются применять тактическую вентиляцию даже с учетом необходимого количества сил и средств;
- сложности межведомственного взаимодействия между подразделениями противопожарной службы и сотрудниками

пожарно-спасательного центра (ГКУ «ПСЦ») в вопросах проведения тактической вентиляции.

- возникающие трудности и ошибки, которые были допущены при проведении тактической вентиляции, не учитываются в дальнейшей работе.

Кроме этого, нельзя игнорировать тот факт, что большим количеством экспертов неоднократно выражалось недоверие в отношении методов тактической вентиляции, преимущественно связанное с длительностью ее подготовки и потерей времени. Нередко аргументом становится количество погибших при пожаре, однако в данных доводах никогда не учитывается количество спасенных человек. Так, специалисты ГКУ «ПСЦ» утверждают, что с началом применения в рамках тактической вентиляции современного оборудования, количество погибших снизилось практически в 2 раза, при этом выросло количество спасенных и пострадавших [44].

Однако нужно все же отметить тенденцию на усиление значимости тактической вентиляции в рамках деятельности ГПС. Для этого сотрудники газодымозащитных и пожарных служб периодически проходят учения на тему: «Управление газообменом на пожаре. Тактическая вентиляция зданий и сооружений при тушении пожаров и ликвидации последствий ЧС». Как правило, подобные учения проходят в два этапа:

- теоретическая часть (лекция, демонстрация учебных материалов и др.);
- практическая (отработка схемы действий по применению тактической вентиляции на реальных жилых (выселенных) или промышленных (выведенных из эксплуатации) объектах.

По мнению экспертов-практиков, значение тренировок, которые позволяют отработать поведение в некоторых нештатных ситуациях, в

рамках совершенствования пожаротушения велико. Учения позволяют решить следующие задачи:

- снизить риски для здоровья сотрудников (известны примеры серьезных заболеваний сотрудников газодымозащитной службы, которые возникали по причине некорректной организации работы и их длительного пребывания в холодном воздушном потоке);
- повысить профессиональные компетенции членов личного состава [43].

Целесообразность применения технологии в конкретной ситуации, выбор типа вентилятора, места расположения и величины вытяжного проема, оптимальное время для начала того или иного действия – все это повышает эффективность вентиляционной операции и отрабатывается на практических занятиях.

Также можно выделить и большой блок организационных проблем при проведении тактической вентиляции, а именно:

- руководителем тушения пожара (РТП) нередко забывается о том, что нужно назначить ответственное лицо за ходом проведения тактической вентиляции (по сути организацией и проведением самой вентиляционной операции никто не управляет, звенья работают разрозненно, что негативно сказывается на эффективности совокупности действий);
- начало и завершение проведения тактической вентиляции осуществляется без команды РТП;
- связь при проведении тактической вентиляции нередко организовывается некорректно (когда работает несколько вентиляционных устройств, эфир заполняют создают большой трафик переговоров, и переговоры между линейными подразделениями затрудняются).

Таким образом, звенья вентиляции не проводят промежуточных отчетов в отсутствии понимания стадии развития процесса, например, о готовности вентиляционных устройств, создании воздушного канала, вытяжного отверстия и так далее. Ответственные за работу вентиляторов не назначаются, поэтому контроль работы устройств не проводится. Между звеньями не налажен поток информации. В результате должностные лица на пожаре не имеют возможности управлять ситуацией.

Отсутствие скоординированности в действиях сотрудников служб нередко приводит к тому, что проведение тактической вентиляции начинается до создания вытяжного проема или в его отсутствии. Такие действия порождают следующие угрозы:

- неконтролируемое распространение огня;
- уплотнение продуктов горения;
- повышения температуры выше очага возгорания, что влечет за собой риск гибели находящихся там людей [42].

Также известны случаи, когда прибывший к месту пожара оперативный дежурный местного пожарно-спасательного гарнизона сразу принимает решение остановить проведение тактической вентиляции, не получив достаточного количества информации об особенностях возгорания и характере задымления. В то же время, сотрудники противопожарной службы продолжают проводить работы по тушению, не подозревая о том, что тактическая вентиляция остановлена. Что в некоторых случаях может повлечь за собой их гибель [44].

Существуют также и проблемы материального обеспечения проведения тактической вентиляции, например, недостаток горюче-смазочных материалов (ГСМ) для обеспечения бесперебойной работы вентиляционных устройств. ГСМ нередко заканчивается как по причине долгой работы

вентилятора, так и в результате невнимательности сотрудников к подготовке оборудования к работе и даже краж топлива.

В качестве заключения еще раз подчеркнем, что с учетом использования специального оборудования тактическая вентиляция может применяться самостоятельно или параллельно со стационарными системами дымоудаления. В то же время, отмечается большое количество проблем, связанных с проведением тактической вентиляции, которые не позволяют использовать методику максимально эффективно. В перспективе есть стремление достигнуть больших результатов, соединив наработки советского времени в данной области и современную практику по тактической вентиляции лучших отечественных и зарубежных специалистов в различных сложных условиях, в т.ч. и в подземных коммуникациях.

2 Практика применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением в подземных транспортных коммуникациях

2.1 Особенности пожаров и задымлений в подземных транспортных коммуникациях

Данные официальной статистики указывают на то, что пожары в настоящее время являются наиболее частыми происшествиями среди множества чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. В настоящее время в мире ежегодно возникает около 10-12 млн. пожаров, число погибших в них составляет более 120 тыс. человек [2].

В соответствии с Федеральным законом от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», пожар – это «неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства» [49].

Значимость повышения защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в т.ч. и пожаров, декларируется во многих российских законодательных актах. Например, в качестве одной из целевых задач по улучшению качества жизни российских граждан в Указе Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» выступает снижение уровня пожаров в России.

Таким образом, пожарная безопасность выступает одним из видов общественной безопасности и закрепляется на государственном уровне. Обеспечение необходимого уровня защиты от пожаров, а также минимизация потерь в ходе пожаротушения является важным фактором устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации [47]. Однако, стоит отметить, что в последние годы статистика пожаров отражает негативные тенденции. Данные систематизированы в таблице 3.

Таблица 3 – Динамика роста ключевых показателей обстановки с пожарами в РФ [23]

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021	Темп роста 2021/2017, %
Количество пожаров, ед.	132 844	131 840	471 426	439 306	390 764	294,2
Прямой материальный ущерб от пожаров, млн руб.	13 767	15 517	18 170	20 876	16 249	118,0
Количество травмированных при пожарах людей, чел.	9 355	9 642	9 461	8 419	8 397	89,8
Количество погибших при пожарах людей, чел.	7 816	7 909	8 559	8 310	8 471	108,4

Так, количество пожаров с 2017 года выросло почти втрое (по итогам 2021 года их число достигло 390 тысяч). Прямой материальный ущерб от пожаров в 2021 году составил более 16 млрд рублей, что на 18% превышает аналогичный показатель 2017 года (отметим, что в 2019-2020 гг. данное значение достигало 20 млрд рублей в год). В то же время важно подчеркнуть, что при столь высоком росте числа пожаров, число травмированных и погибших людей остается примерно тем же, что и было в 2017 году – около 17 тыс. человек в совокупности, что, безусловно, свидетельствует о повышении эффективности спасательных операций, а также практики пожаротушения.

В соответствии с официальными данными ФГБУ ВНИИПО МЧС России, в 2021 году причиной гибели на пожарах в 60% случаев является отравление токсичными продуктами горения и лишь в 12% случаев – воздействие высокой температуры (см. круговую диаграмму на рисунке 9).

Причем, судя по статистике, данное распределение не меняется на протяжении уже многих лет.

- Оравление токсичными продуктами горения при пожаре
 - Причина гибели не установлена
 - Воздействие высокой температуры при пожаре
 - Комбинированное оравление алкоголем и токсичными продуктами горения
 - Оравление токсичными газами и ядовитыми веществами при пожаре
 - Прочие причины

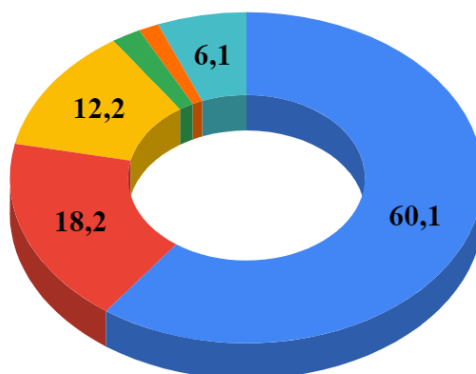


Рисунок 9 – Распределение количества погибших при пожарах людей в 2021 году по основным причинам гибели (составлено автором на основании [23])

Пожар и задымление, происходящие на поверхности, имеют значительное количество опасных для жизни человека факторов, которые были подробно рассмотрены нами в предыдущем разделе. Однако в подземных сооружениях перечисленные факторы способны значительно быстрее достигать критических величин. Людям сложнее покинуть задымленный тоннель, чем любой поверхностный объект, из-за особенностей их проектирования, а именно:

- удаленности входов;
- отсутствия солнечного света;
- ограниченности проходов и другие [45].

Все объекты подземной инфраструктуры относятся к повышенному классу опасности. Однако сокращение количества подземных коммуникаций в целях безопасности граждан не представляется возможным и

целесообразным. В современных мегаполисах, где необходимость создания инфраструктуры предполагает плотную застройку, развитие подземных транспортных коммуникаций, в которых относится метрополитен, подземные автомобильные и железнодорожные тоннели и др., на сегодняшний день является оптимальным решением. В то же время требования к безопасности подобных объектов являются гораздо более жесткими и имеют особую специфику.

Трагические события в трансальпийских тоннелях (Монблан, Тауэр и Сен-Готард) в 1999 году и 2001 году доказали, что поверхностный подход к обеспечению пожарной безопасности и дымоудалению в подземных сооружениях недопустим. В силу технических причин, а также человеческого фактора, возникшие пожары не смогли оперативно ликвидировать, что привело к большому количеству человеческих жертв и, в свою очередь, повлекло за собой значительные экономические потери. Так, на восстановление тоннеля Монблан потребовалось около 300 млн евро [58].

Эксперты подчеркивают, что спасение людей при пожарах в подземных сооружениях всегда осложнено рядом факторов. Ключевыми являются:

- расположение их под землей, замкнутость, что затрудняет приток свежего воздуха;
- большое количество людей, находящихся внутри (особенно это касается транспортных коммуникаций);
- ограниченность числа путей, по которым могут быть выведены люди;
- протяженность сооружения и наличие большого количества ответвлений [32].

Если судить по метрополитену, как наиболее загруженному виду подземного транспорта, более 40% всех пожаров и возгораний происходит в подвижном составе, около четверти всех случаев приходится на возгорания в тоннелях, 17% – на станциях и в вестибюлях (см. рисунок 10).

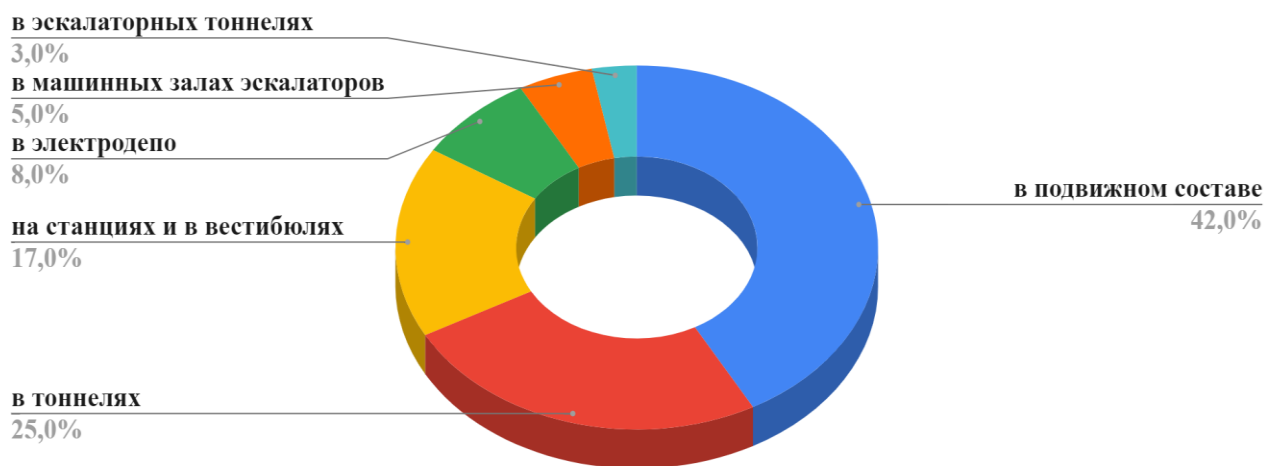


Рисунок 10 – Место возникновения пожаров в сооружениях метрополитена (составлено автором на основании [21])

Для достижения наибольшей эффективности пожаротушения пожарные подразделения активно взаимодействуют с администрацией метрополитена, разрабатывая специальные инструкции, регламентирующие порядок проведения спасательной операции. Так, в первую очередь, после прибытия на пожар руководитель тушения пожара (РТП) руководствуется данными, полученными от дежурного по станции или по объекту метрополитена.

Причиной возникновения почти половины случаев (46,8%) с возгоранием служит электрооборудование. Впоследствии происходят короткие замыкания электропроводки, а также начинает гореть смазочные материалы оборудования, его краска и горючая изоляция [36], что влечет за собой образование большого количества токсинов в воздухе. На пожарах, где сгорают не граммы, а десятки и более килограммов горючего и выделяется около 5-6 м³ продуктов горения на 1 кг горючей нагрузки, вдыхание воздуха становится очень опасным [52].

Наиболее ядовитыми для человеческого организма являются продукты горения синтетических полимерных материалов. Так при горении пластмассовых элементов вагона метро выделяется циан водорода, оксид

углерода, акролеин, хлористый водород и другие. Поролон при горении также весьма опасен из-за выделения цианосодержащего газа. Даже в небольших объемах он наносит огромный вред дыхательной и нервной системе человека [34]. Кроме этого, стоит отметить, что на самих частицах дыма также происходят химические реакции с образованием новых соединений. В свою очередь, они могут быть еще более токсичными, чем те, которые сформировались непосредственно в процессе горения [52].

Стоит подчеркнуть, что распространению дыма в подземном транспортном тоннеле в большей степени способствуют следующие негативные факторы:

- снижение объемов подачи кислорода к месту пожара;
- выделение тепла;
- тепловая конвекция;
- наличие продольного уклона;
- использование некорректного типа вентиляции;
- размеры проезжей части и возможные препятствия,
- создание тяги любыми движущимися транспортными средствами [56].

В этом смысле крайне показателен печально известный случай пожара, возникший осенью 1995 года в метрополитене в Баку. В результате отравления продуктами горения погибло 286 пассажиров, которые бросились бежать вперед по тоннелю, спасаясь из горящего поезда [31].

Подобные трагедии позволяют констатировать, что штатная система вентиляции, проектируемая для поддержания нормального микроклимата в подземных сооружениях, не была рассчитана на работу при пожаре [13]. Кроме этого, в некоторых случаях отмечалось негативное влияние штатной вентиляции на развитие пожара и распространение его на другие части подземной транспортной инфраструктуры.

Нередко обстановка осложняется тем, что в соединительных тоннелях (со станциями) горения не происходит, однако из-за распространения дыма

угроза для жизни людей существует. Для отвода дыма из туннелей и нагнетания чистого воздуха, как правило, используются передвижные вентиляционные установки.

При необходимости разведку и поиск людей ведут несколькими группами. В рамках спасательной операции может быть привлечена горноспасательная служба. Разведку для отыскания людей проводят исключительно силами отделений и звеньев ГДЗС, оснащенными средствами освещения, связи и ликвидации горения.

Спасение людей из подземных транспортных коммуникационных сооружений осуществляется тремя основными способами:

- путем самостоятельного выхода;
- посредством вывода спасаемых;
- посредством выноса пострадавших [32].

В настоящее время вентиляционные системы современных метрополитенов имеют возможность использования автономного режима работы в случае возникновения задымления. Аварийные (резервные) системы включаются в работу автоматически. При этом общие принципы функционирования указанной системы в подземных сооружениях схожи с принципами работы вентиляции в наземных зданиях.

На сегодняшний день применяется два вида вентиляции тоннелей в случае их задымления, каждый из которых имеет специфику использования и, к сожалению, недостатки.

Первый вид – продольный – подразумевает перемещение воздушных масс в тоннеле от одной установки тоннельной вентиляции к другой. Это составляет главный недостаток – однонаправленность воздушного и дымового потоков, исключающую вариативность движения эвакуирующихся пассажиров.

Второй вид – продольно-поперечный. Он реализуется в тоннелях больших диаметров и предполагает размещение продольного канала дымоудаления в верхнем сегменте тоннеля по всей его длине. Удаление дыма

происходит посредством дымовых клапанов, которые автоматически открываются над горящим объектом, а подача свежего воздуха осуществляется от обеих станций в направлении пожара [31]. Данный способ вентиляции тоннеля при пожаре не ограничивает пассажиров в направлениях эвакуации, однако имеет технические ограничения в применении (только в двухпутных и более широких тоннелях) [57].

В рамках настоящего исследования важно акцентировать внимание на том, что возгорание в подземных транспортных коммуникациях всегда сопряжено с наличием сильного задымления и высокой температуры вблизи источника возгорания. Обеспечение притока свежего воздуха при пожаре в подземные транспортные коммуникации позволяет избежать гибели большого количества людей.

Поскольку объекты подземной инфраструктуры имеют повышенную опасность, а возникновение пожаров в них сопряжено с большим количеством сложностей, внедрение новейшего оборудования и современных методик по пожаротушению и дымоудалению в таких условиях крайне актуально. Опыт, полученный при ликвидации пожаров в подземных транспортных коммуникациях, позволил выявить высокую результативность применения тактической вентиляции.

2.2 Стандарт действий по тактической вентиляции в подземных транспортных коммуникациях

Как правило, удаление продуктов горения или горючих газов, из подземных коммуникаций (шахт, каналов) осуществляют путем создания пониженного давления в зоне вытяжного проема. При этом необходимо создать достаточное количество приточных проемов для поступления свежего воздуха и лучше всего, по возможности, вокруг вытяжного проема. Для освобождения подземных коммуникаций от дыма или горючих газов применяют вентилятор со взрывозащищенным электромотором. Такое

оборудование представляет собой эффективные, экономичные вентиляторы, с достаточно большим сроком службы, а также высокой адаптацией к сложным условиям.

Взрывозащищенные вентиляторы предназначены для систем эффективной приточной и вытяжной вентиляции, работающих во взрывоопасных зонах, и относятся к оборудованию следующих категорий (они характеризуют вероятность присутствия взрывоопасной среды в конкретной зоне):

- категория 2 (зона 1) – характеризуется присутствием взрывоопасной среды в нормальных условиях эксплуатации от 10 до 1000 часов в год);
- категория 3 (зона 2) – характеризуется маловероятным возникновением взрывоопасной среды и непродолжительным, т.е. до 10 часов в год [5].

Среди подобных вентиляторов существуют как модели, стационарно смонтированные в вентиляционные камеры (хорошо подходят для работы в парной или одиночной установке), так и портативные газоотсасывающие модели.

Тактическую вентиляцию при пожарах в подземных транспортных коммуникациях целесообразно разделять на вентиляцию станционных комплексов, тоннелей, электроподстанций и наклонных эскалаторных выработок [33]. В зависимости от типа процесс управления газообменом будет иметь специфику.

Как правило, при тушении пожаров в подземных транспортных коммуникациях создание вытяжного проема крайне затруднено или может занять продолжительное время. По этой причине в качестве вытяжного проема используют верхнюю часть приточного. Для этого вентиляционный агрегат устанавливают на таком расстоянии и под таким углом, добиваясь перекрытия проема только на половину. Характерная для дымоудаления в

подземных сооружениях позиция вентилятора представлена на фотографии ниже (рисунок 11).



Рисунок 11 – Позиция вентилятора в процессе дымоудаления в подземных коммуникаций [21]

При таком способе приточный воздух будет создавать зону повышенного давления в нижней части помещения и вытеснять продукты горения вверх. Далее, через оставшуюся часть приточного проема, дым будет удаляться наружу. В некоторых случаях, когда другие способы размещения вентилятора неэффективны, для подачи воздуха используется специальный рукав.

Как правило, установка вентилятора осуществляется четырьмя членами личного состава (3 специалиста и водитель). Вдвоем они открывают двери автомобиля, в котором перемещается вентилятор, открепляют и выдвигают оборудование. Третий специалист подключается для извлечения его из автомобиля и перемещения его к месту установки. Далее один из участников . открепляет всасывающие рукава (при необходимости их использования) и подает их первым двум участникам команды, задействованной для дымоудаления.

Один из специалистов подключает электрокабель к распределительному щитку автомобиля и прокладывает к вентилятору. Для запуска оборудования водитель заземляет автомобиль, включает его двигатель и генератор, запускает сеть и следит за показаниями приборов.

После того, как вентилятор отработает, генератор и двигатель останавливаются. В свою очередь, снимается заземление.

Несмотря на то, что есть два основных типа вентиляторов, различающихся по способу приведения, стандарт действий по сворачиванию оборудования практически идентичен. Выделяют следующие типы вентиляторных установок (их фотографии представлены на рисунке 12):

- вентиляторы с электромотором;
- вентиляторы с двигателем внутреннего сгорания.

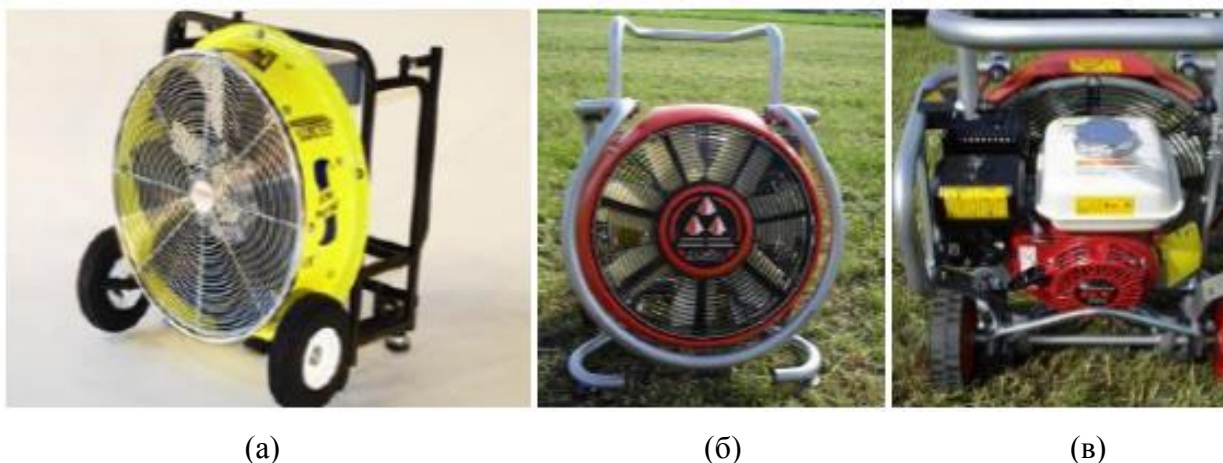


Рисунок 12 – Вентиляторы для тактической вентиляции: а) – с электромотором, б) и в) – с двигателем внутреннего сгорания

Если в операции по дымоудалению используется оборудование с электродвигателем, одним из специалистов отсоединяется кабель и наматывается на катушку перед возвратом вентилятора в автомобиль. После этого отсоединяются всасывающие и выкидные рукава (в случае их использования). Лишь после этого в автомобиль возвращается сам

вентилятор. Уборка вентилятора с двигателем внутреннего сгорания производится в той же последовательности.

Вообще, при планировании и организации тактической вентиляции руководителю крайне важно иметь в виду и учитывать особенности различных типов вентиляционных агрегатов, их тактико-технические характеристики и специфику их использования в работе. Каждый из типов вентиляторов имеет как положительные стороны, так и недостатки (систематизированы в таблице 4).

Таблица 4 – Сравнение преимуществ и недостатков вентиляторов с разным типом привода (составлено автором на основании [20])

Тип вентилятора	Преимущества	Недостатки
С электромотором	Отсутствие выхлопных газов	Длительное время разворачивания (необходимость прокладки кабеля)
	Использование в любом положении	
	Возможность работы во взрывоопасной среде	Зависимость от источника питания
	Может работать без притока воздуха внутрь сооружения	
	Невысокий уровень шума	Отказ системы при нарушении электроснабжения
	Не требует особой подготовки операторов вентилятора	
С двигателем внутреннего сгорания	Оперативность и небольшая трудозатратность приведения установки в готовность	Отключение мотора, если угол его наклона превышает допустимый
	Высокая мобильность перемещения	Высокий уровень шума
	Стационарность	Образование угарного газа (CO), невозможность применения в помещении

За счет повышенной мобильности именно вентиляторов с двигателем внутреннего сгорания, они наиболее предпочтительны для работы в

подземных коммуникациях, однако нужно учитывать фактор образования угарного газа и по возможности располагать их на улице.

Нередко при проведении тактической вентиляции используют процесс распыления воды. Он необходим для достижения следующих эффектов:

- осаждения за счет увлажнения твердых частичек углерода, находящихся в дыму;
- снижения температуры;
- уменьшения концентрации некоторых растворимых в воде токсичных продуктов горения [32].

Указанные выше условия помогают в создании более благоприятных условий для ликвидации пожара.

Также в проведении тактической вентиляции (если она проводится в помещении, например в задымленном вестибюле метрополитена) важным моментом является обеспечение средств, используемых для защиты специалистов ГДЗС от продуктов горения и токсичных газов. Они, в свою очередь, подразделяются на:

- индивидуальные (осуществляются путем фильтрации и изоляции);
- групповые (осуществляются путем снижения концентрации дыма и газов посредством аэрации или применения вентиляционных установок и другого оборудования, вывозимого на автомобилях газодымозащиты, газоубежищ).

При применении групповых способов защиты необходимый эффект достигается далеко не всегда, например, при особенно активном выделении дыма или газов). Также важно отметить, что такие методы, как аэрация и вентилирование, могут даже способствовать усилению горения, а также спровоцировать взрыв. По этим причинам средства индивидуальной защиты во время проведения операции по дымоудалению, в особенности в подземных транспортных коммуникациях, незаменимы.

Наибольшее применение среди личного состава пожарной службы и сотрудников ГДЗС получили средства индивидуальной защиты органов

дыхания и зрения (СИЗОД) изолирующего типа. Их задача – максимально изолировать органы дыхания и зрения человека от любого воздействия окружающей среды [32].

Особая важность при работе в СИЗОД отводится корректному расчету давления, которое газодымозащитники могут максимально израсходовать при нахождении их в задымленном сооружении. При нормальных условиях работы указанных сотрудников расчет давления от поста безопасности до конечного места работы (выражается в кгс/см²) – $P_{\text{max. пад.}}$ – определяется следующей формулой:

$$P_{\text{max. пад.}} = (P_{\text{min. вкл.}} - P_{\text{уст. раб.}}) / 2,5 \quad (1)$$

где $P_{\text{уст. раб.}}$ – давление воздуха (кислорода), необходимое для устойчивой работы редуктора (значение в обязательном порядке указывается в технической документации от завода-изготовителя изделия);

$P_{\text{min. вкл.}}$ – наименьшее в составе звена ГДЗС значение давления в баллонах при включении;

2,5 – коэффициент, учитывающий необходимый запас дыхательной смеси на обратный путь с учетом непредвиденных обстоятельств для проведения спасения людей, а также необходимости дегазации и дезактивации средств защиты.

Для расчета давления в сложных условия работы звена используется предыдущая формула, однако коэффициент, учитывающий запас дыхательной смеси, применяется равный 3. К сложным условиям относятся работы на следующих объектах:

- в подземных сооружениях метрополитена;
- в подвалах со сложной планировкой;
- в трюмах кораблей;
- в зданиях повышенной этажности.

Также в соответствии со стандартом действий по тактической вентиляции в подземных транспортных коммуникациях, для работы в непригодной для дыхания среде в обязательном порядке сотрудники ГДЗС должны при себе иметь:

- средства связи (радиостанция, переговорное устройство и др.);
- инструменты (универсальный лом, веревка пожарная спасательная, направляющий трос);
- входящее в комплект дыхательного аппарата спасательное устройство (по одному для каждого сотрудника, производящего работы в дыхательном аппарате);
- индивидуальный фонарь [46].

Особо стоит подчеркнуть значение качественной организации связи и соблюдение сотрудниками службы правил пользования данной связью, которая, в свою очередь, обеспечивает передачу информации на пост безопасности и обратно. От этого напрямую зависит безопасность как самих сотрудников ГДЗС, так и людей, нуждающихся в спасении. Для организации связи с работающими звеньями в непригодной для дыхания среде желательно использовать портативные радиопереговорные устройства, которые размещаются в пожарных касках и обеспечивают передачу и прием информации на расстоянии до 400 м [32].

Специфическое пожарное оборудование и инструмент выдается сотрудникам ГДЗС в том случае, если этого требует оперативная обстановка на месте пожара. Так, в некоторых случаях специалисты службы снабжаются следующим оборудованием:

- средствами оказания первой помощи (например, прибором для проведения сердечно-легочной реанимации);
- прибором для подачи экстренного сигнала в случае возникновения нештатной ситуации;
- специальной защитной одеждой;

- приборами для проведения анализа состояния окружающей среды (прибор ночного видения, газоанализатор и др.);
- особое оборудование и инвентарь для проведения спасательной операции.

Также в рамках проведения пожаротушения и операции по дымоудалению организуется контрольно–пропускной пункт (КПП), работу которого контролирует начальник КПП. Он назначается РТП из числа наиболее опытных и подготовленных членов состава. Кроме этого, в месте входа в непригодную для дыхания среду на каждое звено ГДЗС организуется, так называемый, пост безопасности, в рамках которого ведется учет работы звена в специальном документе – «Журнал учета работающих звеньев ГДЗС» (см. Приложение А). С началом операции в нем фиксируются наиболее важные параметры, например:

- состав звена;
- показатели давления кислорода (воздуха) в баллонах СИЗОД;
- время включения и выключения баллонов СИЗОД;
- вся информация, поступающая от и до сотрудников, выполняющих работу по дымоудалению.

В случае работы в сложных условиях, к которым, в частности, относится пожар в тоннелях метрополитена и других подземных сооружениях большой протяженности, предусматривается дополнительной резервное звено ГДЗС на посту безопасности.

Независимо от каких бы то ни было условий, операция по проведению тактической вентиляции должна быть прекращена, если имеют место следующие факторы:

- при подаче воздуха неконтролируемо увеличивается интенсивность горения;
- продукты горения распространяются в другие части сооружения или начинают выходить из других проемов.

Таким образом, тактическая вентиляция является одним из способов замены отравленной среды свежим воздухом, подаваемым вентиляторами, установленными за пределами здания/сооружения. Однако в подземных транспортных коммуникациях ее применение не всегда является целесообразным, поскольку доставка оборудования до мест задымления затягивает время проведения операции. Также отметим, что в процессе, к сожалению, нередко возникает большое количество проблем, связанных с непредсказуемостью развития пожара, а также с человеческими просчетами и ошибками.

2.3 Основные проблемы, связанные с дымоудалением в подземных транспортных коммуникациях

В рамках настоящего исследования важно сделать акцент на том, что на сегодняшний день тактическая вентиляция при пожарах проводится нечасто, а в подземных транспортных коммуникациях – крайне редко. Основными причинами являются:

- недостаточная подготовленность специалистов для проведения подобного вида работ;
- отсутствие возможности оперативной доставки эжекторов к месту пожара;
- малая производительность эжекторов.

Так лишь примерно в 3 тысячах случаев из 390 тысяч пожаров, произошедших в 2021 году, было использовано оборудование для проведения тактической вентиляции (см. данные официальной статистики МЧС, систематизированной в таблице 5).

Так, по данным таблицы очевидно, что наиболее распространенной техникой, использующейся для дымоудаления, является пожарный автомобиль газодымозащитной службы (АГ). Частота его использования за последние 3 года выросла на 65,6%. Однако такие виды оборудования, как

пожарный дымосос, пожарная прицепная насосная станция, пожарный автомобиль дымоудаления (АД) и другие в России используются лишь в редких случаях и, как правило, в рамках пожаротушения в наземных объектах.

Таблица 5 – Распределение пожаров по видам пожарной техники, прибывшей к месту пожара [1, 23]

Вид пожарной техники	2019	2020	2021	Темп роста 2021/2019, %
Пож. автомобиль газодымозащитной службы (АГ)	1 548	1 593	2 564	165,6
Пож. автомобиль дымоудаления (АД)	192	188	136	70,8
Пож. компрессорная станция (ПКС)	90	110	93	103,3
Пож. прицепная насосная станция	17	23	73	429,4
Пож. дымосос	20	15	18	90,0
ИТОГО	1 867	1 929	2 884	154,5

Безусловно, проведение тактической вентиляции в подземных сооружениях осложняется длительностью ее подготовки. Так, в ходе тренировки по дымоудалению в наклонной плоскости, проведенной в 1998 году на базе Санкт-Петербургского метрополитена, удалось создать зону безопасную для ведения аварийно-спасательных работ лишь на 10-й минуте развития пожара [4].

Кроме этого, при проведении тактической вентиляции в подземных сооружениях, в частности, в тоннелях метрополитена, важно учитывать и то, что в качестве основного средства дымоудаления там выступает тоннельная вентиляция, которая в случае образования дыма активизируется в аварийном режиме работы. Что также может создать препятствия и сложности для проведения тактической вентиляции, особенно в тоннелях с выраженным уклоном.

В свою очередь, такое условие влечет за собой необходимость включения в аварийном режиме дополнительных вентиляционных шахт со стороны станции на приток, а с противоположной очагу пожара – на вытяжку. Специалисты отмечают, что наиболее эффективным мероприятием по повышению устойчивости воздушного потока в таком случае будет не использование портативных эжекторов, а задействование в рамках операции переносных брезентовых перемычек (или других стационарных затворов), которые позволят перекрыть параллельный тоннель. Однако, если в районе возгорания в результате выхода из строя электрического кабеля, питающего двигатель вентиляционной установки, ее работа будет прекращена, портативные эжекторы могут быть вполне успешно использованы [46].

Вообще, нужно подчеркнуть, что применение тактической вентиляции в подземных транспортных сооружениях очень зависит от локализации и характера пожара и, соответственно, задымления. Например, для повышения устойчивости воздушных потоков в эскалаторных тоннелях станций с наземным вестибюлем, эффективно использование пожарных автомобилей дымоудаления (модели АД-90, АД-100, АД-120).

Использование указанного оборудования реализуется путем подачи воздуха в проем одной из дверей вестибюля, предназначенных для входа пассажиров. Однако его применение ограничено большим количеством факторов. Так, с помощью автомобилей дымоудаления ГДЗС подача воздуха осуществляется лишь в случаях, когда:

- система тоннельной вентиляции работает в полном соответствии с аварийным режимом, предусмотренным для случаев возникновения пожара на станции;
- она запущена в режиме, принятом для холодного времени года.

В тех случаях, когда аварийный режим не может быть активирован, использование автомобиля дымоудаления затрудняется. Оборудование может быть включено на подпор исключительно после вывода

электropоездов с участков планируемого задымления и включения перегонных шахт для удаления дыма.

Кроме этого, тактическое применение автомобилей дымоудаления ограничено невозможностью их использования на станциях с подземными вестибюлями, которых достаточно много в крупных городах. В таких условиях использование указанной техники неэффективно.

В то же время, необходимо заметить, что технически эксперимент 1998 году на базе Санкт-Петербургского метрополитена, о котором упоминалось выше, показал, что использование вентиляторов с производительностью на приток, обеспечивающих заданное направление воздуха на пожаре, в некоторых условиях является вполне эффективным мероприятием [4]. Например, при пожаре в подплатформенных помещениях для удаления дыма следует использовать переносные дымососы. Дымосос должен устанавливаться в дверном проеме продольного подплатформенного коридора с той стороны, в которую удаляется дым системой тоннельной вентиляции.

Практиками и специалистами пожаротушения утверждается, что использование тактической вентиляции в подземных транспортных коммуникациях не только повышает уровень эффективности борьбы с задымлением, но также и способствует снижению риска для личного состава служб, задействованных в процессе дымоудаления.

К сожалению, огромной проблемой пожаротушения и дымоудаления в настоящее время являются неединичные случаи гибели сотрудников служб. Данные официальной статистики указывают на то, что Россия имеет самый высокий в мире уровень гибели и травмирования людей на пожарах, в т.ч. и личного состава. Ежегодно травмы при тушении пожаров получает около 80-85 членов личного состава, примерно 10-13% из них погибает (см. данные МЧС России за 2020 и 2021 годы, которые систематизированы автором в таблице 6).

Так, по итогам 9 месяцев 2021 года причиной смерти 7 членов личного состава из 12 погибших было отравление продуктами горения. Воздействие экстремальных температур также входит в пятерку наиболее опасных причин травмирования личного состава при пожаротушении. 8 из 75 пострадавших сотрудников МЧС – около 10% – получили травмы из-за перегрева (теплового стресса).

Таблица 6 – Основные причины гибели и травматизма личного состава за 9 месяцев 2021 год (составлено автором на основании данных МЧС России)

Причины	Травмировано		Погибло	
	2020	2021	2020	2021
Личная неосторожность	16	17	0	0
Падение с высоты	6	11	0	2
Отравление продуктами горения	5	9	1	7
Воздействие экстремальных температур	1	8	1	0
Падение, обрушение конструкций	12	7	0	1
Вспышка и выброс пламени	1	7	0	1
Воздействие режущих предметов	2	4	0	0
Взрыв газовых баллонов	5	3	2	0
Нарушение эксплуатации техники и ПТВ	2	2	0	0
Другое	12	7	3	1
Итого	62	75	7	12

Такое положение дел в большей степени связано с нарушением техники безопасности и халатном отношении некоторых сотрудников к деталям проведения спасательной операции, а также нежелании обучаться дополнительным навыкам. По данным известного электронного издания «5 Номер», нередко случаи, когда при проведении пожарно-тактических учений вентиляционные устройства ставят формально, и профессиональных грамотных действий по проведению тактической вентиляции никто не отрабатывает [44].

Кроме этого, стоит признать, что в некоторых случаях в документации, фиксирующей ход операции по тушению пожара, указывается о том, что оборудование для тактической вентиляции использовалось. Однако при более подробном изучении ситуации выясняется, что вентиляторы даже не снимались с пожарных автомобилей [44].

В то же время нередко возникают проблемы со связью. Сотрудникам пожарной службы и ГДЗС нужна предельно отказоустойчивая и безопасная инфраструктура связи, обслуживающая достаточную территорию и полностью отвечающая специфическим требованиям этих подразделений. Однако зачастую качество связи в ходе операции оказывается неудовлетворительным. Как правило, причинами выступают:

- перегрузка каналов связи;
- отсутствие приоритетного доступа;
- ограниченный территориальный охват и другие [30].

Также отмечается большое количество сложностей в нормативно-правовом регулировании вопросов обеспечения безопасности сотрудников ГДЗС. Так, в настоящее время до сих пор отсутствует единый законодательный акт, который регулирует проведение операций подразделениями различных видов пожарной охраны при тушении пожаров в непригодной для дыхания среде, в том числе по спасанию людей. В отсутствии конкретного нормативного документа размывается ответственность сотрудников задействованных служб, возникает путаница в том, что касается безопасности конкретных действий в рамках спасательной операции [53].

Учитывая особую важность обеспечения притока свежего воздуха при пожаре в подземные транспортные коммуникации во избежание гибели большого количества людей, в настоящей работе исследованы особенности вентиляции в указанных условиях.

Изучение вопросов применения тактической вентиляции в транспортных подземных коммуникациях позволило прийти к выводу о том,

что эффективность использования тактической вентиляции во многом определяется спецификой и локализацией пожара. Например, опытным путем доказано, что эффективным способом, позволяющим повысить устойчивость воздушных потоков при пожаре на станции в несколько раз, является перекрытие путевых тоннелей в метрополитене. В то же время, в некоторых случаях в качестве дополнительных мер также применимы автомобили дымоудаления.

К сожалению, на сегодняшний день процесс дымоудаления в подземных транспортных сооружениях сопряжен с большим количеством трудностей и проблем. К их числу относятся:

- проблемы со связью;
- высокая смертность личного состава при проведении операций по пожаротушению;
- отсутствие ясности в нормативно-правовом регулировании вопросов обеспечения безопасности сотрудников ГДЗС;
- длительность и специфика подготовки оборудования к работе;
- немалое число ограничений использования оборудования.

Помимо значительных временных затрат на проведение работ, немаловажной проблемой является отсутствие достаточного опыта в проведении тактической вентиляции у членов личного состава.

3 Совершенствование механизмов применения тактической вентиляции при борьбе с задымлением в подземных транспортных коммуникациях

3.1 Направления и инструменты адаптации существующих методов применения тактической вентиляции для борьбы с задымлением в подземных транспортных коммуникациях

Выделив ключевые проблемы, связанные с дымоудалением в подземных транспортных коммуникациях, перейдем к раскрытию непосредственно направлений и инструментов совершенствования данного процесса.

Поскольку бесперебойность связи, как канала информационного обеспечения принятия решений, в процессе пожаротушения и дымоудаления в подземных сооружениях представляет собой один из гарантов полноценного функционирования пожарной и газодымозащитных служб, ее подразделений или целого гарнизона, необходимость стабильно работающей сети не оспаривается. Функция передающих устройств – обеспечение связи между пожарными, отдельными частями, в том числе в условиях боевых действий на пожаре.

Специалистами выделяется 2 ключевых канала информационного обеспечения в рамках процесса принятия решений при тушении пожаров, а именно:

- формализованный (поступающая информация имеет регламентированную форму и содержание, такие данные получают в согласованные промежутки времени или при заранее определенных обстоятельствах; такая информация обладает высокой степенью достоверности);
- стихийный (представляет собой совокупность неупорядоченных разрозненных данных, кроме этого такая информация может носить

крайне субъективный характер, подаваться эмоционально и не всегда объективно передавать особенности сложившейся ситуации; как правило поступает по радиоканалу и проводной связи) [46].

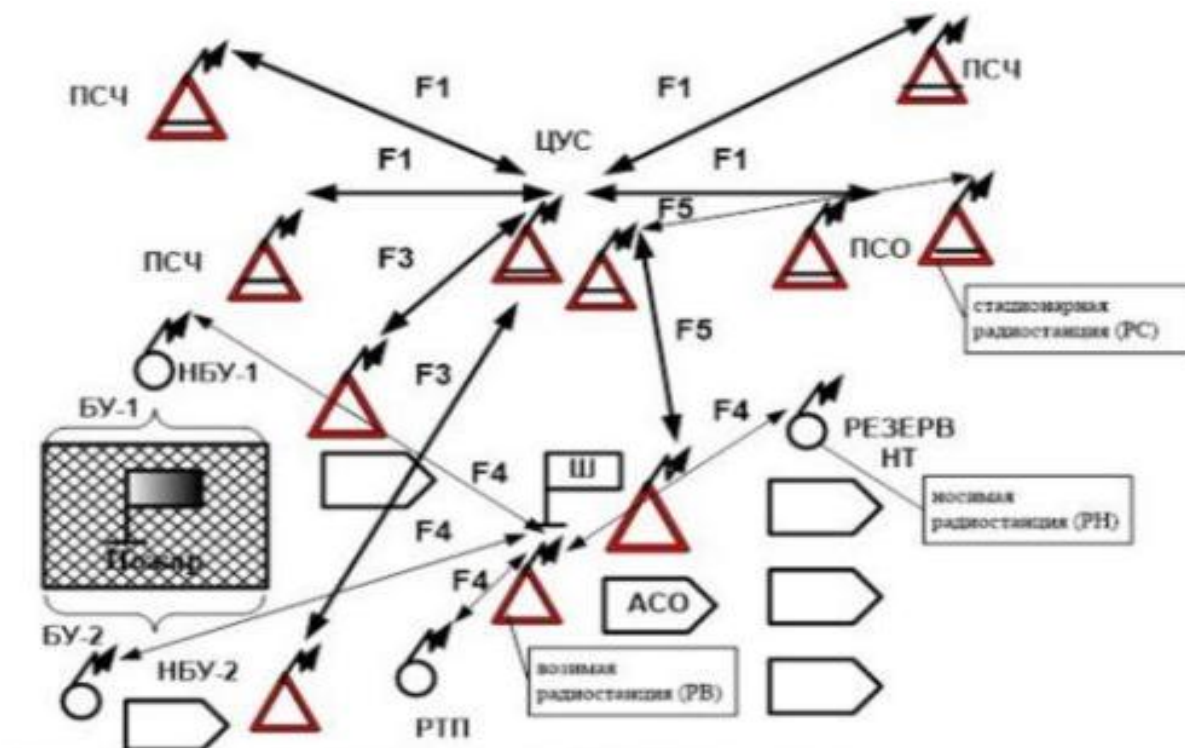
В свою очередь, от качества связи между членами личного состава зависит и быстрота их реагирования на указания руководителя и выполнение задач. Посредством коммуникации в ходе пожаротушения все задействованные в ней специалисты становятся единой командой, координируя собственные действия, а также поддерживая в курсе других членов.

В настоящее время в качестве базовой связи, которая используется при тушении пожаров и дымоудаления, является радиосвязь. Она имеет большое число предназначений, однако можно выделить ключевые направления ее использования:

- экстренное оповещение должностных лиц о происшествии;
- передача и прием сведений о локализации и особенностях пожара с целью формирования оптимального по составу экипажа оптимального состава;
- информационный обмен между подразделениями в ходе операции;
- удаленное управление частями, связь с центральным аппаратом, а также добровольными дружинами и, например, пожарно-охранными предприятиями [37].

В общем виде схема радиосвязи представлена на рисунке 13.

Используемая чаще всего на практике система коммуникаций предполагает использование как стационарных передатчиков на посту, так и переносных. Последние, в свою очередь, дают команде специалистов возможность оперативно контролировать процесс пожаротушения и дымоудаления.



Ш – штаб пожаротушения; ПСЧ – пункт связи части; ПСО – пункт связи отряда; АСО – автомобиль связи и освещения; НТ – начальник тыла штаба пожаротушения; НБУ – начальник боевого участка; F1...F5 – частоты радиосвязи

Рисунок 13 – Схема радиосвязи в процессе пожаротушения и дымоудаления [37]

Подземные объекты отличаются повышенными требованиями к организации связи. Для обеспечения бесперебойной работы сети в сооружениях глубокого заложения необходимо устанавливать ретрансляторы. В некоторых случаях используется радиосвязь метрополитена (ЕРИС-М). Стоит отметить, что дальность радиосвязи в подземных сооружениях метрополитена вне пределов прямой видимости достигает 200 м, однако в большей степени зависит от особенностей конкретного сооружения, например, его конструкции и глубины заложения (как правило, уточняются в ходе проведения пожарно-тактических учений (занятий) на конкретных станциях и вносятся в планы тушения пожаров).

Для радиосвязи в ходе операции используются волны определенных частот. Пожарной службой применяются радиочастоты по 10 каналам – от

1,6 до 960 МГц, которые запрещены для использования гражданским населением.

Связь может быть организована как посредством фиксированных сетей, так и с задействованием сетей с подвижными объектами (СРПО). В отдельных случаях допускается подключение к радиостанциям служб жизнеобеспечения.

При непрохождении радиосигнала в подземных сооружениях, целесообразно наладить передачу информации через пожарных-связных с носимыми радиостанциями, выставляемых на криволинейных участках тоннелей. Также есть возможность задействовать в работе различные системы связи, существующие на объекте (например, в метрополитене есть возможность использовать внутреннюю телефонную связь, а также поездную радиосвязь (через машиниста). Однако в этом случае цепочка связи значительно усложняется, что грозит потерями времени в ходе операции пожаротушения и дымоудаления [21].

В то же время, усложнение схемы радиосвязи влечет за собой и значительное «зашумление» эфира связи. Решение данной проблемы видится в использовании одного из двух вариантов:

- работе команды на отдельном канале связи;
- применении таких радиоканальных устройств, которые осуществляют автоматический контроль работоспособности радиоканала, и, в случае его высокой зашумленности, автоматически переходят на резервный канал связи.

Что касается адаптации существующих методов применения тактической вентиляции для снижения высокого уровня смертности личного состава при проведении операций, то предлагается следующая схема. Она описана ниже.

На наш взгляд, оборудование для проведения тактической вентиляции может быть применено для обеспечения притока свежего воздуха и охлаждения, прежде всего, личного состава, задействованного для тушения

пожара в подземных транспортных коммуникациях. Поскольку в ходе проведения работ по пожаротушению специалисты нередко испытывают симптомы теплового стресса, для личного состава важно организовывать пункты охлаждения. Для этого в безопасной от пожара зоне необходимо разместить 1 переносной вентилятор и 1 ручной водяной ствол, а также запас питьевой воды. Эксперты считают, что пункт охлаждения целесообразно совместить с пунктом выдачи питьевой воды [44].

Схема с охлаждением личного состава на пожарах видится следующим образом. В воздушный поток, создаваемый передвижным вентилятором, необходимо подавать распыленную струю воды, что будет способствовать формированию тумана – скоплению мелких водных частиц в воздухе, которые легко испаряются в нем, что приводит к быстрому охлаждению воздуха.

Конечно, предложенная схема далека от профессиональных систем искусственного туманообразования, применяющихся в промышленности с целью увеличения влажности воздуха и его охлаждения. Однако, главным преимуществом описанного выше способа является его универсальность и возможность оперативного применения практически в любых экстренных условиях. Кроме указанного способа, который можно использовать в качестве экстренного, формирование искусственного тумана может осуществляться посредством специальных систем охлаждения, например, центробежных охладителей.

Опишем кратко принцип работы такого охладителя. В бак охладителя подается вода. Для распыления воды реализуется ее подача на вращающийся диск, который запускается при помощи электромотора. Во время вращения лопастей внутри корпуса охладителя создается поток движения воздуха для распыления капель воды (рисунок 14).

Под действием центробежных сил вода разбрасывается и превращается в мелкие частицы, которые как раз и необходимы для охлаждения. Членам команды пожаротушения необходимо снять боевую одежду пожарного

(БОП) и зайти в искусственно созданный туман. За счет разницы в температуре будет происходить охлаждение.

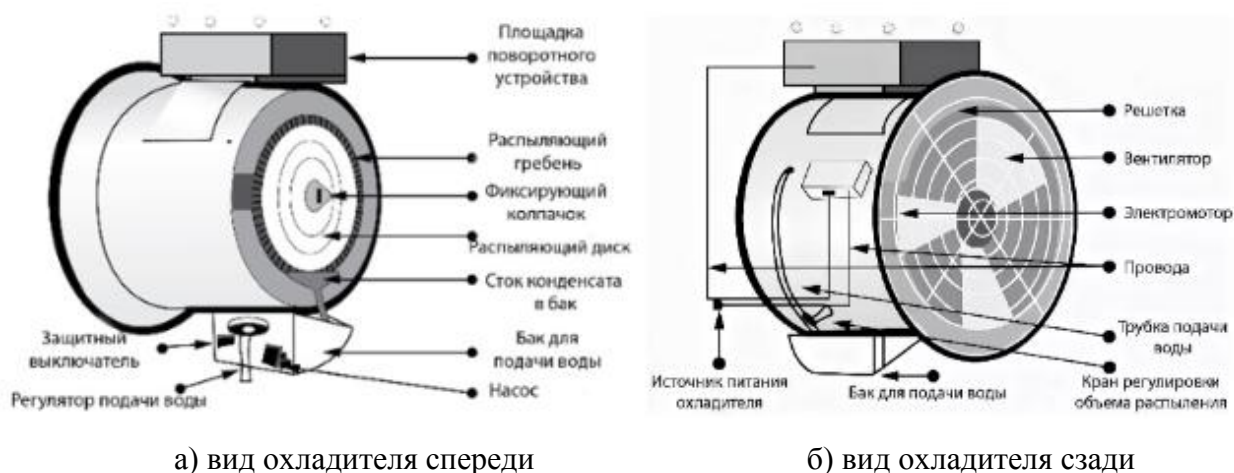


Рисунок 14 – Схема центробежного охладителя

Однако в данной схеме, независимо от того, применяются специальные охладители или туман формируется при помощи обычного тактического вентилятора, необходимо учитывать важный момент, связанный с подачей воды в подземные сооружения глубокого заложения.

Для данного процесса характерно создание дополнительного (до 0,6–0,8 МПа) напора, который формируется из-за разницы высотных отметок. По этой причине во избежание повреждения рукавных линий необходимо регулировать и своевременно уменьшать напор на соответствующем насосе пожарного автомобиля в соответствии с глубиной заложения станции и схемой подачи. Для снижения напора на уровне станции экспертами рекомендуется поддерживать уровень напора на насосе мобильного средства пожаротушения в пределах 0,1–0,2 МПа (1–2 кгс/см²) [46].

Вообще, нужно отметить, что решению задачи по спасению специалистов, задействованных в операции пожаротушения и дымоудаления в настоящее время, к сожалению, уделяется недостаточное внимание в России. В то же время, в мировой практике, наряду с самоспасением

пожарных, уже несколько десятилетий развивается отдельная дисциплина – аварийная разведка и спасение пожарных (АРИСП).

После того, как в 80-е годы прошлого столетия в мире был зафиксирован беспрецедентный рост уровня гибели и травматизма сотрудников пожарной охраны (преимущественно из-за отсутствия специальных навыков выживания, и изменения свойств горючих материалов и веществ), во многих государствах пришли к выводу об обязательной необходимости формирования специализированных подразделений на пожаре. Их основной целью стало оказание своевременной помощи членам личного состава при пожаротушении. Важно подчеркнуть, что в основу АРИСП, наряду с обязательностью прохождения специального обучения, положен принцип разделения труда [8].

В идеальных обстоятельствах звенья АРИСП резервируются только под задачу спасения членов личного состава. Они не могут быть задействованы в процессе тушения пожара, а также привлекаться для спасения пострадавших гражданских лиц. Несмотря на это, текущие экономические условия, недостаток кадров и прочие сложности, вынуждают большую часть российских пожарных подразделений прибегать к некому компромиссному варианту. Так, дисциплине АРИСП, как правило, обучаются уже имеющиеся звенья (чаще всего специалисты из ГДЗС), а на месте происшествия одно или несколько таких звеньев назначается руководителем для выполнения данной задачи. Т.е. такие специалисты фактически остаются линейными пожарными в своем собственном подразделении, однако дополнительно проходят обучение и при необходимости выезжают на вызов именно в качестве группы АРИСП [6].

Несмотря на понимание важности дисциплины, а также признание ее практической эффективности, к сожалению, в настоящее время в России не сформировалась целостная нормативно-правовая база, регулирующая применение АРИСП. Из документов можем отметить лишь изданный несколько лет назад Приказ МЧС России от 26.12.2018 № 633 «Об

утверждении и введении в действие Руководства по радиосвязи Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». В документе выделена практически полная глава, которая прямо и косвенно затрагивает вопросы АРИСП в России [29].

Также можно отметить Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ». В документе регламентируется порядок подачи сигнала бедствия «Mayday». При возникновении угрозы в отношении членов звена ГДЗС, командиру по средствам связи необходимо подать сигнал, т.е. три раза подряд произнести «Mayday».

Нельзя не отметить и периодические совместные тренировки сотрудников пожарной службы и ГДЗС в рамках АРИСП. Например, построение препятствий и лабиринтов для прохождения на практических занятиях, а также работа с тренажерами-«путанками» [6]. Такие тренировки, безусловно, необходимы и дают положительный результат. Однако, к сожалению, такая активность бессистемна и в большей степени носит характер личной инициативы.

На наш взгляд, выделение специальных звеньев, которые будут сконцентрированы лишь на задаче спасения пожарных – важное направление для улучшения ситуации с гибелью и травматизмом. Однако для достижения высокого уровня качества и эффективности работы команды в рамках АРИСП необходимо достаточное снабжение (в первую очередь, спецодеждой, инструментами и оборудованием), регулярные тренировки и слаженность среди членов такого звена. В качестве звеньев (или их обязательной части) как нельзя лучше подойдут сотрудники ГДЗС, а также специалисты по тактической вентиляции в силу вышеуказанных причин, а именно – причин гибели, сопряженных с нехваткой воздуха и перегревом.

Таким образом, нами выявлено, что отравление продуктами горения и воздействие экстремальных температур являются одними из наиболее распространенных причин травмирования и гибели личного состава при пожаротушении. Поскольку применение классических схем тактической вентиляции в подземных сооружениях не всегда возможно, в качестве экстренной меры, которая может быть оперативно использована в ходе операции по пожаротушению и эвакуации людей, предложен способ применения оборудования для тактической вентиляции. Способ служит в целях охлаждения личного состава и базируется на генерации искусственного тумана посредством имеющегося оборудования для тактической вентиляции или специального центробежного охладителя.

Кроме этого, отмечается особая важность в выделении специальных звеньев, которые будут сконцентрированы лишь на задаче спасения членов личного состава в рамках АРИСП. Поскольку причины гибели специалистов на пожарах преимущественно связаны с отравлением и перегревом, в качестве звеньев (или их обязательной части) как нельзя лучше подойдут сотрудники ГДЗС, а также специалисты по тактической вентиляции.

3.2 Прогноз применения и оценка эффективности мероприятий

Поскольку экономический эффект от реализации предложенных мероприятий по использованию оборудования для тактической вентиляции для охлаждения членов личного состава не имеет прямого положительного экономического эффекта (в рамках его проведения не возникает дохода), анализ и оценку эффективности предлагаемых мероприятий целесообразно провести по направлению социальной эффективности.

Главной целью методов повышения социальной эффективности работы специалистов ГДЗС и пожарных является оптимизация работы по обеспечению безопасных условий их работы и снижение уровня травматизма и смертности при выполнении ими задач.

Вообще, если анализировать результаты применения тактической вентиляции в практике пожаротушения в целом, экспертами в данной области отмечается, что одновременно со снижением вероятности гибели и травмирования людей от опасных факторов пожара и их вторичных проявлений, обеспечивается безопасность пожарных и спасателей при выполнении ими действий по тушению пожаров и спасению путем предотвращения возникновения обратной тяги «backdraft» или общей вспышки «flashover» [20].

Кроме этого, нами также выдвинут тезис о том, что адаптация членов ГДЗС и существующих методов применения тактической вентиляции для проведения аварийной разведки и спасения пожарных может оказать выраженный положительный эффект на качество проведение пожаротушения и дымоудаления.

Для измерения эффективности предложенного мероприятия в конкретных показателях, то целесообразно использовать два, на наш взгляд важных показателя:

- коэффициент частоты травматизма и гибели членов личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы;
- показатель травматизма и гибели на пожарах членов личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы.

Коэффициент частоты травматизма и гибели ($K_{\text{тг}}$) показывает число несчастных случаев (в т.ч. и со смертельным исходом) – ($K_{\text{нс}}$) на каждую 1000 членов личного состава ($K_{\text{члс}}$).

Он вычисляется по формуле:

$$K_{\text{тг}} = K_{\text{нс}} * 1000 / K_{\text{члс}} \quad (2)$$

Вообще, нужно заметить, что, как правило, указанный коэффициент рассчитывается в рамках анализа условий охраны труда преимущественно на производственных предприятиях. При проведении оценки учитываются количество и степень повреждений, полученных работниками при выполнении трудовых обязанностей и заданий руководителя. Однако, на наш взгляд, данный показатель, тот или иной, вполне может быть рассчитан и учтен с поправкой на особенности и цели исследования, как и в нашем случае [24].

Показатель травматизма и гибели на пожарах ($\Pi_{\text{тг}}$) представляет собой отношение количества травмированных и погибших членов личного состава ($K_{\text{нс}}$) и количества пожаров ($K_{\text{пож}}$), выраженное в процентах. Он вычисляется по формуле:

$$\Pi_{\text{тг}} = K_{\text{нс}} / K_{\text{пож}} * 100\% \quad (3)$$

Для получения наиболее объективных показателей необходимо использовать в расчете достоверные данные. Кроме этого, показатели, рассчитанные лишь за один временной период будут мало информативны. Значение, полученное однократно, будет свидетельствовать лишь о ситуации за конкретный период. Поэтому необходимо иметь официальные данные (в первую очередь, отчеты МЧС) за несколько периодов, чтобы рассчитать показатели в динамике. Это позволит сопоставить их с темпом роста пожаров в России, а также другими параметрами.

Как уже было отмечено нами в предыдущем разделе, официальная статистика МЧС за последние годы свидетельствует о росте уровня травматизма и гибели личного состава на пожарах. Данные статистики и расчет указанных нами выше показателей систематизированы в таблице 7.

Исходя из представленных в таблице 7 данных, мы видим, что с 2019 года количество зафиксированных пожаров снижается на 17% (с 471 тыс. пожаров до 391 тысячи). В то же время, количество травмированных и

погибших членов личного состава за тот же временной период увеличилось на 60% (с 76 человек в 2019 года до 121 человека по итогам 2021 года). Таким образом, можно утверждать, что рассчитанный автором показатель травматизма и гибели на пожарах, выраженный в процентах, увеличился практически вдвое (с 0,016 в 2019 году до 0,031 в 2021 году).

Таблица 7 – Расчет показателей травматизма и гибели на пожарах (составлено автором на основании [23])

Показатель	2019	2020	2021	Темп роста 2021/2019, %
Погибло и травмировано, чел.	76	105	121	159,2
Численность личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы ($K_{\text{ТГ}}$), чел.	251 339	257 451	262 548	104,5
Коэффициент травматизма	0,30	0,41	0,46	152,4
Кол-во пожаров, ед.	471 426	439 306	390 764	82,9
Показатель травматизма и гибели на пожарах ($\Pi_{\text{ТГ}}$), %	0,016	0,024	0,031	192,1

Коэффициент травматизма также увеличивается. Исходя из рассчитанных в таблице 7 значений, его рост составил 152%. Равный в 2019 году 0,3 коэффициент травматизма для членов личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы по итогам 2021 года превысил отметку в 0,45.

К сожалению риск гибели таких специалистов существенно выше аналогичного показателя для многих других профессий по причине работы первых в экстремальных условиях. Согласно российскому законодательству, к опасным факторам пожара, крайне негативно воздействующим на людей и материальные ценности, относятся следующие:

- пламя и искры;
- тепловой поток;
- повышенную температуру окружающей среды;

- повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения;
- пониженную концентрацию кислорода;
- снижение видимости в дыму [50].

Исходя из представленного перечня, очевидно, что воздействие высоких температур занимает в нем определяющее место. Также можем заключить, что, учитывая данные таблицы 6 предыдущего раздела, среди основных причин гибели и травматизма личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы воздействие экстремальных температур занимает в последние годы около 6-8%.

Это значение подтверждают и данные Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России. Так, в по итогам временного периода 2004-2013 гг. экспертами института была проведена факторизация основных причин травматизма сотрудников пожарной службы. В качестве первой группы опасных факторов были указаны условия пожара:

- ожоги;
- перегрев;
- отравление продуктами горения;
- падения с высоты и др.

Распределение случаев травматизма членов личного состава позволило выявить уровень травматизма и гибели, соотнесенных с первой группой факторов. Показатель оказался равным 8,8% [19].

Очевидно, что внедрение в практику меры по охлаждению личного состава с использованием передвижных вентиляторов или специального оборудования для формирования искусственного тумана не будет эффективно на 100%. В то же время, снижение травматизма и гибели сотрудников ввиду влияния высоких температур на 80% можно ожидать. Данная оценка сделана экспертно с учетом исследования опыта, описанного

в пособии «Тактические приемы аварийной разведки и спасения при тушении пожаров», подготовленного в рамках АРИСП [8].

Таким образом, применение предложенной схемы с охлаждением личного состава на пожарах в подземных транспортных сооружениях способно сократить гибель сотрудников примерно на 5,6% ($7\% * 80\%$) от текущего значения.

Далее рассчитаем сколько в абсолютном выражении данное мероприятие поможет сохранить жизней сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы в год. Для этого численность погибших и травмированных членов личного состава по итогам 2021 года необходимо умножить на 5,6%.

$$121 * 5,6\% = 7$$

По итогам расчета можем сделать вывод о сохранении жизни и здоровья как минимум 7 членам личного состава ежегодно при внедрении предложенной схемы с охлаждением сотрудников.

Далее рассчитаем коэффициент частоты травматизма и гибели ($K_{тг}$) и показатель травматизма и гибели на пожарах ($\Pi_{тг}$) с учетом сокращения количества численности травмированных и погибших для сравнения их с текущими значениями (по факту).

Расчет коэффициента частоты травматизма и гибели ($K_{тг}$):

$$(121 - 7) / 262\,548 * 1000 = 0,43$$

Таким образом, коэффициент частоты травматизма и гибели с учетом указанных выше результатов снизится с 0,46 (фактическое значение по итогам 2021 года) до 0,43.

Расчет показателя травматизма и гибели на пожарах ($\Pi_{тг}$):

$$(121 - 7) / 390\,764 * 100\% = 0,029$$

Таким образом, показатель травматизма и гибели на пожарах с учетом указанных выше результатов снизится с 0,031 (фактическое значение по итогам 2021 года) до 0,029.

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что несмотря на отсутствие существенного снижения указанных показателей после реализации предложенных мероприятий, их уменьшение свидетельствует о целесообразности их внедрения. Социальный эффект является положительным.

Указанные в настоящем исследовании мероприятия помогут сберечь здоровье задействованных в пожаротушительной операции сотрудников и сократить их гибель и уровень травматизма на 5,6%, а также повысить уровень эффективности проведения операции. Данное утверждение подтверждает проведение анализа и оценки эффективности предлагаемых мероприятий с расчетом коэффициента частоты травматизма и гибели и показателя травматизма и гибели на пожарах.

Заключение

По результатам проведенного исследования сформулируем основные выводы.

1. В специализированной литературе под вентиляцией, основным назначением которой является обеспечение оптимального микроклимата для жизнедеятельности человека и работы технологического оборудования, понимается обмен воздуха в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ.

Существует большое количество различных типов вентиляционных систем, которые принято классифицировать по нескольким основным признакам. Тип вентиляционной системы выбирается исходя из особенностей расположения и внутренней структуры вентилируемого объекта, а также задач, выполняемых самим объектом.

2. Поскольку при возникновении пожара, т.е. неконтролируемого горения вне специального очага, выделяется большое количество вредных веществ, задачи дымоудаления в ходе пожаротушения являются весьма актуальными. Одним из эффективных способов для их решения является применение тактической вентиляции.

Тактическая вентиляция – активно развивающаяся технология, однако в России применяется довольно мало. Тактическая вентиляция реализуется посредством использования специального оборудования (как правило, передвижными вентиляторами) или параллельно со стационарными системами дымоудаления. Важнейшими целями применения тактической вентиляции являются:

- управление воздухообменом на пожаре;
- снижение вероятности воздействия опасных факторов на здоровье людей, что выражается в обеспечении притока свежего воздуха для дыхания.

3. Все подземные сооружения относятся к объектам повышенной опасности. Возникновение пожаров в подземных коммуникациях является менее частым явлением по сравнению с наземными сооружениями, однако за счет специфики условий они имеют большую степень опасности и сложнее в процессе ликвидации из-за темноты, суженности проходов, удалении тоннелей от выходов и других причин.

4. Учитывая особую важность обеспечения притока свежего воздуха при пожаре в подземные транспортные коммуникации во избежание гибели большого количества людей, в настоящей работе исследованы особенности вентиляции в указанных условиях. Она позволяет значительно повысить эффективность тактических действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в непригодной для дыхания среде.

Безусловно, в ряде случаев тактическая вентиляция является оптимальным способом замены отравленной среды, особенно, если подразделение ГДЗС обеспечено в достаточной мере специальным оборудованием (автомобилями дымоудаления, инструментами для перекрытия путевых тоннелей и др.). В то же время, отмечается, что ее применение не всегда эффективно, что в большей степени обусловлено значительными временными затратами на проведение работ и отсутствием достаточного опыта у членов личного состава.

5. Среди ключевых трудностей и проблем, связанных с дымоудалением в подземных транспортных сооружениях, автором выделяются:

- проблемы со связью;
- высокая смертность личного состава при проведении операций;
- отсутствие ясности в нормативно-правовом регулировании вопросов обеспечения безопасности сотрудников ГДЗС;
- длительность и специфика подготовки оборудования к работе;
- немалое число ограничений использования оборудования.

6. Для решения проблем, связанных с «зашумлением» связи, автор предлагает использование одного из двух вариантов:

- применение командой отдельного канала связи;
- использование таких радиоканальных устройств, которые осуществляют автоматический контроль работоспособности радиоканала, и имеют возможность автоматического перехода на резервный канал связи.

7. На основании анализа статистических данных МЧС России автором делается вывод о высокой смертности личного состава при проведении операций. Отравление продуктами горения и воздействие экстремальных температур являются одними из наиболее распространенных причин травмирования и гибели личного состава при пожаротушении. Около 10% случаев имеют смертельный исход.

8. Поскольку применение классических схем тактической вентиляции в подземных сооружениях осложнено особенностями их проектирования и длительностью проведения работ, автором предложен способ применения оборудования для тактической вентиляции в целях охлаждения личного состава при проведении операции по пожаротушению в подземных транспортных коммуникациях.

Также отмечается важность формирования особых команд, задействованных в пожаротушении и дымоудалении, которые будут сконцентрированы лишь на задаче спасения членов личного состава в рамках АРИСП. Это поможет сберечь здоровье сотрудников, задействованных на пожаротушении, и повысить уровень эффективности проведения операции.

9. На основании проведенной оценки социальной эффективности предложенных мер, доказывается, что указанные в работе мероприятия помогут сберечь здоровье сотрудников и сократить их гибель и уровень травматизма на 5,6%. Утверждение подтверждается расчетом коэффициента частоты травматизма и гибели и показателя травматизма и гибели на пожарах.

Список используемой литературы

1. Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Международной научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО, 2020. – 920 с.
2. Арнс М., Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Соколов С.В. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – №10. – с.51-57
3. Большаков, Д. Тактическая вентиляция. Азбука применения / Д. Большаков // Пожарное дело. – 2018. – №3. – с.50-51
4. Виноградов, О.С., Виноградова, Н.А., Гуляева, Э.Ю., Полудняков, А.И. Программное обеспечение по расчету уровня загрязнения при техногенных авариях // Сурский вестник. – 2019. – № 2 (6). – с.31-33
5. Взрывозащищенные вентиляторы [Электронный ресурс] // Вентиляторы.ру. – URL: <http://catalog.vseventilatory.ru/catalogue/systemair/7-catalogue-systemair-explosion-proof-fans.pdf> (дата обращения: 20.10.2022)
6. Гагарин, А.Ю., Коровкина, Н.В., Коробовский, А.А. К вопросу о снижении травматизма пожарных с учетом опыта тушения пожаров в США // Безопасность и охрана труда. – 2019. – №3. – с.22-25
7. Гордиенко, Д.М. Статистика пожаров за 2020 год. Статистический сборник: Пожары и пожарная безопасность в 2020 году / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021. – 112 с.
8. Денисов, А.Н. [и др.] Тактические приемы аварийной разведки и спасения при тушении пожаров : учебно-методическое пособие / Денисов А.Н., Данилов М.М., Степанов О.И., Зайцева Е.Е. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 53 с.
9. Евдокимов, В.И., Путин, В.С., Ветошкин, А.А., Артюхин, В.В. Обстоятельства производственного травматизма и гибели личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России (2010–2020 гг.) //

Медико биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2021. – №4. – с.5-19

10. Земский, Г.Т., Ильичев, А.В., Зуйков, В.А., Кондратюк, Н.В., Аверкина, Н.Б. Термины в пожарных нормативных документах // Актуальные вопросы пожарной безопасности. – 2020. – №4(6). – с.42-50

11. Зычков, Э.А. Закономерности процессов эвакуации людей при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Эдуард Анатольевич Зычков. – Санкт-Петербург, 1998. – 22 с.

12. Иванников, В.П., Ключ, П.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 287 с.

13. Ильин, В.В., Белецкий, В.П., Чуприян, А.П. Проблемы противопожарной защиты и их решение. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 320 с.

14. Исаева, Л.К. Экологические последствия пожаров : дисс. ... докт. техн. наук : 05.26.03 / Исаева Людмила Карловна. – М., 2001. – 107 с.

15. История возникновения систем вентиляций // Официальный сайт компании «Огнерус» [Электронный ресурс]. – 2018. – URL: <https://ognerus.ru/about/articles/istoriya-vozniknoveniya-sistem-ventilyaciy/> (дата обращения: 16.08.2022)

16. Каледина, Н.О. Вентиляция производственных объектов: учеб. пособие. – 4-е изд., стер. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2008. – 193 с.

17. Корчков, А.П. Микроклимат помещений / А.П. Корчков // Вестник магистратуры. – 2020. – №2-1 (101). – с.14-19

18. Материалы официального сайта компании АО «ПТС» [Электронный ресурс]. – URL: <https://pto-pts.ru/> (дата обращения: 19.08.2022)

19. Матюшин, А.В., Порошин, А.А., Харин, В.В. Факторный подход к оценке травматизма пожарных // Актуальные проблемы пожарной

безопасности : материалы XXVII междунар. науч.практ. конф : в 3 ч. – М., 2015. – с.222-227

20. Методические рекомендации руководителю тушения пожара по организации и проведению тактической вентиляции зданий и сооружений при тушении пожаров и ликвидации последствий ЧС на территории города Москвы. – М.: ГУ МЧС России по г. Москве, 2014. – 78 с.

21. Методические рекомендации по организации тушения пожаров на объектах и в сооружениях Государственного унитарного предприятия города Москвы «Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени метрополитен имени В.И. Ленина» – М.: ГУ МЧС России по г. Москве, 2018. – 98 с.

22. Новиков, М.Н., Шаповалов, А.В., Овсянник, А.В. Курс лекций «Вентиляция и кондиционирование воздуха» / М.Н. Новиков, А.В. Шаповалов, А.В. Овсянник. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 137 с.

23. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.

24. Попова, Н.И. Особенности вентиляции в подземных транспортных коммуникациях при пожаре и применение тактической вентиляции [Электронный ресурс] // Столыпинский вестник. – 2022. – №7. – URL: <https://stolypin-vestnik.ru/wp-content/uploads/2022/10/42.pdf> (дата обращения: 19.11.2022)

25. Посохин, В.Н. [и др.] Вентиляция : учебник / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин, В.А. Бройда; под общ. ред. В.Н. Посохина. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 624 с.

26. Приказ Минстроя России от 30.12.2020 № 921/пр «СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003» // СПС Консультант плюс

27. Приказ МЧС России от 21.02.2013 № 116 «Об утверждении свода правил СП 7.13130 «Отопление, вентиляция и кондиционирование.

Требования пожарной безопасности» (ред. от 12.03.2020) // СПС Консультант плюс

28. Приказ МЧС России от 26.12.2018 № 633 «Об утверждении и введении в действие Руководства по радиосвязи Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» // СПС Консультант плюс

29. Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (ред. от 28.02.2020) // СПС Консультант плюс

30. Проблемы использования систем сотовой связи в чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Сага телеком». – URL: <https://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/problemu-ispolzovaniya-sistem-sotovoy-svyazi-v-chrezvychaynykh-situatsiyakh/> (дата обращения: 28.10.2022)

31. Прохоров, В.П., Вагнер, Е.С. Проблема обеспечения пожарной безопасности пассажирских перевозок в тоннелях московского метрополитена / В.П. Прохоров, Е.С. Вагнер // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. – №1112. – с.36-42

32. Пучков, В.А. [и др.] Пожарная безопасность : учебник / В.А. Пучков, Ш.Ш. Дагиров, А.В. Агафонов и др.; под общ. ред. В.А. Пучкова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 877 с.

33. Романенко, А.И., Макаренко, А.И., Шагин, Г.В. Бареева, Р.З. Тертычная, С.В. Тактическая вентиляция в подземных транспортных системах // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. – Т. 9. – №1 (49). – с.189-192

34. Романов, В.И. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу / В.И. Романов. – М.: Физматкнига, 2006. – 368 с.

35. Сальва, А.М., Сивцев, Е.В. Необходимость организации газодымозащитных служб в пожарных подразделениях / А.М. Сальва, Е.В.

Сивцев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – №8-1. – с.54-57

36. Самарская, Н.А., Ильин, С.М. Исследование условий труда и разработка предложений по регламентации требований безопасности при проведении работ в метрополитене: монография / Н.А. Самарская, С.М. Ильин. – М.: Первое экономическое издательство, 2020. – 288 с.

37. Связь и радиообмен на пожаре [Электронный ресурс] // Пожар и средства тушения. – 2020. – <https://opozhare.ru/faq/svyaz-i-radioobmen-na-pozhare> (дата обращения: 28.12.2022)

38. Серегин, М.В. Тактическая вентиляция при пожаротушении: действия на пожаре [Электронный ресурс] // Пожарный эксперт. – 2019. – URL: <https://pozharnej-expert.ru/pozharnaya-taktika/takticheskaya-ventilyatsiya-pri-pozharotushenii-deistviya-na-pozhare.html> (дата обращения: 24.05.2022)

39. Серегин, М.В. Историческая основа тактической вентиляции [Электронный ресурс] // Системы безопасности. – 2022. – URL: <https://www.secuteck.ru/articles/istoricheskaya-osnova-takticheskoy-ventilyacii> (дата обращения: 17.08.2022)

40. Серегин, М.В. Обеспечение безопасности личного состава при тушении пожаров и проведения аварийно– спасательных работ / М.В. Серегин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – №1 (6). – с.19-25

41. Смирнов, Н. Тактическая вентиляция [Электронный ресурс] // Справка 01. – 2015. – URL: https://xn--01-6kcaj2c6aih.xn--p1ai/articles/technics/takticheskaya_ventilyaciya/ (дата обращения: 16.08.2022)

42. Тактическая вентиляция при пожаротушении [Электронный ресурс] // Fireman.club. – 2020. – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/takticheskaya-ventilyaciya-pri-pozharotushenii-dymoudalenie/> (дата обращения: 17.08.2022)

43. Тактическая вентиляция при пожаротушении [Электронный ресурс] // Официальный сайт Управы района Свиблово. – 2019. – URL:

обращения: 18.08.2022)

44. Тактическая вентиляция: первые итоги территориального гарнизона пожарной охраны г. Москвы [Электронный ресурс] // 5 Номер. – 2016. – URL: <http://5nomer.ru/2016/10/14/тактическая-вентиляция-первые-итоги/> (дата обращения: 18.08.2022)

45. Текушин, Д.В. [и др.] Пожарная безопасность подземных сооружений : учебное пособие / Д.В. Текушин, О.С. Власова, Н.Ю. Климентин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2019. – 261 с.

46. Терехнев, В.В. Пожарная тактика : основы тушения пожаров / В.В. Терехнев, А.В. Подгрушный. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с.

47. Указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» // СПС Консультант плюс

48. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 11.06.2021) // СПС Консультант плюс

49. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (ред. от 14.07.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.10.2022) // СПС Консультант плюс

50. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ред. от 14.07.2022) // СПС Консультант плюс

51. Храмцова, К.А., Храмцова, Л.А., Жук, А.И. Системы дымоудаления // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – №1(5). – с.51-53

52. Чепрасов, С.А. Вредные вещества, поступающие в атмосферу при пожарах / С.А. Чепрасов // Современные технологии обеспечения

гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – №1 (7). – с.360-363

53. Чистяков, И.М., Захаров, Д.Ю Анализ нормативно-правовых документов, регулирующих деятельность газодымозащитной службы в процессе подготовки специалистов пожарной охраны / И.М. Чистяков, Д.Ю. Захаров // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Международной научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО, 2020. – с. 264-270

54. Bowser, G. Tactical ventilation [Электронный ресурс] // Tempest.us.com. – URL: https://tempest.us.com/wp-content/uploads/Tactical_ventilation.pdf (дата обращения: 15.12.2022)

55. Control measure. Tactical ventilation [Электронный ресурс] // National Fire Chiefs Council (NFCC). – URL: <https://www.ukfrs.com/guidance/search/tactical-ventilation> (дата обращения: 14.02.2023)

56. O’Gorman, S.M. Tunnel Ventilation Requirements for Underground Rail Crossovers / S.M. O’Gorman // 16TH Australasian Tunnelling Conference. – 2017. – pp.1-8

57. Riess, I. Bopp, R. Ventilation Strategies in Case of Fire in Longitudinally Ventilated Two-Way Tunnels // I. Riess, R. Bopp // XXI. World Road Congress. – 1999

58. Voeltzel, A., Dix, A. A comparative analysis of the Mont-Blanc, Tauern and Gothard tunnel fires / A. Voeltzel, A. Dix // Routes/Roads. – 2004. – №324. – pp.18-24

Приложение А

Образец листа журнала учета работающих звеньев ГДЗС

Приложение № 4
к Правилам проведения личным составом
федеральной противопожарной службы
Государственной противопожарной службы
аварийно-спасательных работ при тушении пожаров
с использованием средств индивидуальной защиты
органов дыхания и зрения
в непригодной для дыхания среде

Рекомендуемый образец

(Титульный лист)

Журнал учета времени пребывания звеньев ГДЗС в непригодной для дыхания среде

(Внутренние листы)

Дата включения в СИЗОД	Наименование подразделения (Ф.И.О. постоянного на посту безопасности)	Состав звена (фамилия, инициалы и тип СИЗОД)	Место (объект) включения	Время включения в СИЗОД, час., мин	Значения давления в баллонах СИЗОД каждого газодымозащитника, кгс/см ²		Затрачено на путь к месту выполнения задания, Р _{пг}	Роспись командира звена о проверке правильности записей в графах 2,3,4,5,6
					на входе в непригодную для дыхания среду (при включении), Р _б	по прибытию к месту выполнения задания (к очагу пожара, на позицию), Р _{пр}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9