

УДК 614.849

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТОННЕЛЯХ: УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ГАЗОВОГО ФАКТОРА

Аксенов С.Г.,

доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность»

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,

РФ, г. Уфа

Франчук С.Ю.

студент,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,

РФ, г. Уфа

Аннотация.

В работе представлен анализ проблем обеспечения пожарной безопасности тоннелей большого сечения, с акцентом на влияние газового фактора. Исследуются физические процессы, возникающие при пожарах в тоннелях: распространение продуктов горения, воздействие высоких температур, снижение концентрации кислорода и выброс токсичных газов. Особое внимание уделяется их влиянию на безопасность людей. В статье представлен обзор ключевых элементов систем противопожарной защиты, таких как системы вентиляции, дымоудаления и противопожарные барьеры. Описываются современные подходы к расчету параметров данных систем, основанные на математическом моделировании и требованиях нормативных документов РФ. Автор подчеркивает необходимость разработки и внедрения интегрированных решений, направленных на минимизацию последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: тоннели большого сечения, пожарная безопасность, газовый фактор, вентиляционные системы, токсичность газов, дымоудаление

FIRE SAFETY IN TUNNELS: RISK MANAGEMENT OF THE GAS FACTOR

Aksenov S.G.,

Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Fire Safety,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Franchuk S.Yu.

student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Annotation.

The paper presents an analysis of the problems of ensuring fire safety in large-section tunnels, with an emphasis on the influence of the gas factor. The physical processes that occur during fires in tunnels are investigated: the spread of combustion products, exposure to high temperatures, a decrease in oxygen concentration and the release of toxic gases. Special attention is paid to their impact on human safety. The article provides an overview of the key elements of fire protection systems, such as ventilation systems, smoke extraction and fire barriers. Modern approaches to calculating the parameters of these systems based on mathematical modeling and the requirements of regulatory documents of the Russian Federation are described. The author emphasizes the need to develop and implement integrated solutions aimed at minimizing the consequences of emergencies.

Keywords: large cross-section tunnels, fire safety, gas factor, ventilation systems, gas toxicity, smoke extraction

Тоннели большого сечения, такие как автомобильные, железнодорожные или комбинированные подземные сооружения, становятся все более распространенными в России. Они играют ключевую роль в развитии транспортной инфраструктуры, особенно в условиях сложного рельефа и климатических особенностей страны. Однако эти объекты представляют собой повышенную опасность в случае возникновения пожара. Газовый фактор — один из главных аспектов анализа пожарной безопасности, так как продукты горения оказывают непосредственное влияние на эвакуацию людей, работу аварийных служб и сохранность инфраструктуры. В данной статье рассматриваются основные аспекты обоснования параметров систем пожарной безопасности тоннелей большого сечения с учетом особенностей российских реалий.

Распространение продуктов горения в тоннелях в России имеет свои специфические особенности, связанные с климатическими условиями, конструкцией сооружений и уровнем оснащённости системами безопасности. Тоннели большого сечения, такие как Кавказские тоннели (например, "Кадухта"), Московский автомобильный кольцевой тоннель (МАКТ) или тоннели на трассе М-11 "Нева", характеризуются значительными размерами проходов, что создает уникальные условия для динамики дыма и газов.

В условиях российского климата, где температура воздуха может значительно различаться между внутренней и внешней средой тоннеля, эффект "туннельного потока" усиливается. Это явление приводит к тому, что горячие газы движутся вдоль оси тоннеля с высокой скоростью, что затрудняет управление дымом и газами. Например, в зимний период разница температур может достигать 40–50°C, что увеличивает естественную тягу и способствует быстрому распространению продуктов горения.

Кроме того, многие российские тоннели оборудованы принудительной вентиляцией, которая должна быть адаптирована к местным условиям. Однако в некоторых случаях работа вентиляционных систем не соответствует современным требованиям, что может усугубить ситуацию при пожаре. Например, если направление воздушного потока выбрано неправильно, дымовые завесы могут распространяться в сторону эвакуационных выходов, что значительно увеличивает риски для людей [1,2].

Газовый фактор является ключевым элементом анализа безопасности людей в тоннелях. Основные угрозы связаны с тремя ключевыми аспектами: токсичность продуктов горения, снижение концентрации кислорода и высокая температура. В российских условиях эти факторы усиливаются из-за длительного времени эвакуации, которое часто связано с удаленностью

тоннелей от населенных пунктов и недостаточной информированностью участников движения.

1. Токсичность продуктов горения

Продукты горения материалов, используемых в строительстве тоннелей, автомобилей или железнодорожных составов, содержат опасные вещества, такие как оксид углерода (CO), цианистый водород (HCN) и другие токсичные газы. Эти вещества могут вызывать удушье, потерю сознания и даже смерть при длительном воздействии. Например, оксид углерода, который образуется при неполном сгорании органических материалов, блокирует перенос кислорода кровью, что приводит к гипоксии [3].

Важно отметить, что в российских условиях токсичность газов может усиливаться из-за использования устаревших материалов в строительстве и эксплуатации транспортных средств. Например, старые автомобили с изношенными двигателями или грузовики с повышенным содержанием легковоспламеняющихся грузов могут выделять больше вредных веществ.

2. Снижение концентрации кислорода

При пожаре происходит активное потребление кислорода, что приводит к его дефициту в воздухе. Снижение концентрации кислорода до уровня ниже 17% может вызвать головокружение, потерю ориентации и обмороки. В российских тоннелях этот процесс усугубляется ограниченным доступом свежего воздуха, особенно если вентиляционные системы не работают должным образом или находятся в состоянии неисправности [3].

3. Высокая температура

Температура в зоне пожара может достигать нескольких сотен градусов Цельсия, что делает невозможным нахождение людей вблизи очага возгорания. Даже на расстоянии нескольких десятков метров от пожара температура может

оставаться опасной для жизни. Кроме того, высокая температура усиливает токсичность газов, так как многие материалы начинают выделять больше вредных веществ при нагревании. [3]

Для минимизации рисков, связанных с газовым фактором, необходимо разработать и внедрить эффективные системы пожарной безопасности. Основные параметры таких систем включают:

1. Проектирование вентиляционных систем

Вентиляционные системы являются ключевым элементом управления газовым фактором в тоннелях. Их задача — контролировать направление движения дыма и газов, предотвращая их распространение в зоны с людьми. Для этого используются продольная и поперечная вентиляция [4].

- Продольная вентиляция создает направленный воздушный поток вдоль оси тоннеля, который перемещает дым в сторону, противоположную эвакуационным выходам. Этот метод наиболее эффективен в тоннелях большого сечения.
- Поперечная вентиляция обеспечивает равномерное распределение воздуха по всему сечению тоннеля, что помогает снизить концентрацию токсичных газов.

Важно правильно рассчитать скорость воздушного потока, чтобы избежать обратного движения дыма. Это требует проведения компьютерного моделирования и натурных испытаний.

2. Установка систем дымоудаления

Системы дымоудаления предназначены для быстрого удаления продуктов горения из тоннеля. Они могут быть как стационарными, так и мобильными, в зависимости от характеристик объекта. Эффективность этих

систем зависит от их расположения, мощности и скорости реакции на сигнал тревоги [4,5].

3. Использование противопожарных барьеров

Противопожарные барьеры, такие как автоматические шторы или перегородки, позволяют локализовать очаг пожара и ограничить распространение дыма. Эти устройства активируются при обнаружении возгорания и создают изолированные зоны, что значительно снижает риски для людей [4].

4. Мониторинг качества воздуха

Современные системы пожарной безопасности включают датчики, которые контролируют уровень токсичных газов, температуру и концентрацию кислорода. Эти данные передаются в центр управления, где принимаются решения о включении вентиляции, эвакуации людей или других действиях [5].

Для обоснования параметров систем пожарной безопасности используются математическое моделирование, экспериментальные исследования и нормативные документы. Ключевые этапы расчетов включают:

1. Оценка тепловыделения

Первым шагом является определение количества тепла, выделяемого при горении различных материалов. Это позволяет рассчитать температурные режимы в тоннеле и прогнозировать поведение дыма.

2. Анализ динамики дыма

С помощью компьютерных программ, таких как FDS (Fire Dynamics Simulator), моделируется распространение дыма и газов в тоннеле.

Учитываются такие параметры, как скорость воздушного потока, геометрия тоннеля и свойства материалов.

3. Расчет времени эвакуации

На основе данных о распространении дыма и токсичности газов рассчитывается время, необходимое для безопасной эвакуации людей. Это время должно быть меньше, чем период достижения критических концентраций токсичных веществ.

4. Проверка соответствия нормативам

Полученные параметры сравниваются с требованиями российских стандартов, таких как СП 258.1325800.2016 "Правила пожарной безопасности для тоннелей" и ГОСТ Р 53299-2009 "Безопасность тоннелей". Это гарантирует, что система пожарной безопасности соответствует современным требованиям.

Обоснование параметров систем пожарной безопасности тоннелей большого сечения с учетом газового фактора является сложной, но крайне важной задачей в российских условиях. Распространение продуктов горения, их токсичность и влияние на безопасность людей требуют комплексного подхода, включающего проектирование вентиляционных систем, установку противопожарных барьеров, мониторинг качества воздуха и использование современных технологий. Только тщательное моделирование и соблюдение нормативных требований могут гарантировать защиту людей и инфраструктуры в случае пожара.

Библиографический список:

1. Аксенов С.Г., Курочкина А.С., Губайдуллина И.Н. Анализ и оценка последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на промышленных предприятиях // Грузовик. – 2022, №9. – С. 41-43.

2. Аксенов С.Г., Корнеев В.С., Синагатуллин Ф.К., Пермяков А.В. Анализ обеспечения пожарной безопасности в резервуарном парке // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023, № 1. - С. 31-47.

3. Мешалкин Е. А., Гилетич А. Н., Панов А. А., Солнцев Н. Д. О нормировании требований пожарной безопасности для тоннелей // Пожаровзрывобезопасность. – 2012, №11. - С. 45-58.

4. Пожарная безопасность объектов подземной инфраструктуры [Электронный ресурс] URL: <https://ervist.ru/support/publikatsii/item/321-rozhnaya-bezopasnost-obektov-podzemnoy-infrastruktury.html> (Дата обращения 15.04.2025).

5. СП 122.13330.2023 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные»

Оригинальность 76%