

На правах рукописи



Болдрушкиев Очир Баатрович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ БЛОКИРОВАНИЯ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ
ЦИАНОВОДОРОДОМ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

Специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»
(технические науки, отрасль энергетика)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» на кафедре инженерной теплофизики и гидравлики

Научный руководитель: **Заслуженный деятель науки РФ**
доктор технических наук, профессор
Пузач Сергей Викторович

Официальные оппоненты: **Хасанов Ирек Равильевич,**
доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, научно-исследовательский центр нормативно-технических проблем пожарной безопасности (НИЦ НТП ПБ), главный научный сотрудник

Гравит Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент,
«Санкт-Петербургский политехнический Университет Петра Великого», высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства инженерно-строительного института, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Защита состоится «28» июня 2022 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д. 205.002.02 в Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/712/712d0e010596fa947db708dcd3fbaf8a.pdf>

Автореферат разослан «27» апреля 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.Б. Сивенков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современной России задачи в области энергетики имеют высокую стратегическую значимость и являются основой энергетической стабильности государства, а вопросы пожарной безопасности данных объектах являются актуальными.

Согласно статистическим данным, основной причиной гибели людей при пожарах является отравление токсичными продуктами горения – более чем в 72 % случаев. Токсичность продуктов горения обусловлена содержанием опасных токсикантов, выделяющихся при термическом разложении материалов. Как правило, количественный и качественный состав продуктов горения в первую очередь зависит от материалов, участвующих в процессе газификации. Исследования в области газификации различных материалов представляют, что в условиях пожара при горении полимерных материалов могут образовываться от 50 до 100 токсичных химических соединений. Таким образом, рост номенклатуры применяемых полимерных материалов в производственных зданиях объектов энергетики может значительно усложнять токсикологическую картину пожара новыми токсичными веществами.

Исследования в области изучения токсикологической картины пожара представляют оксид углерода основным токсикантом, образующимся в условиях пожара. Однако, работы Treitman R. D., Anderson R.A., Sweeney M.L., Pauluhn J. и др. указывают на присутствие различных токсикантов в крови погибших в токсикологически значимых концентрациях. Обобщенные результаты судебно-медицинских экспертиз в работах Белешникова И.Л. отмечают, что во многих случаях летального отравления в условиях пожара основным токсикантом являлся циановодород, гибель от которого происходит не реже, чем от оксида углерода. Образование циановодорода при пожарах на объектах энергетики возможно при горении изоляции кабельных изделий (полиуретан, сшитый полиэтилен, резина), проложенных в кабельных сооружениях.

В качестве профилактических противопожарных мероприятий по предотвращению негативного воздействия токсичных продуктов горения используется математическое моделирование распространения токсичных газов и их воздействие на организм человека. Данное моделирование основывается на прогнозировании динамики развития опасных факторов пожара. Математические модели, осуществляющие данное прогнозирование достаточно развиты для решения прикладных задач пожарной безопасности, однако, рассматривают процессы образования и распространения лишь двух токсичных газов (оксид углерода, хлороводород) не принимая во внимание чрезвычайно опасный токсикант – циановодород. Отсутствие циановодорода в расчетных методиках по определению времени блокирования путей эвакуации, в первую очередь, связано с отсутствием экспериментальной базы по образованию циановодорода при горении различных материалов. Удельные коэффициенты образования, позволяющие определять величины массового образования токсиканта при горении материалов, отсутствуют по циановодороду в существующих базах данных по выделению токсичных продуктов горения.

Таким образом, разработка методики расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом и получение экспериментальных данных по его образованию позволит повысить уровень безопасности персонала на объектах энергетики и является **актуальной научной и практической задачей**.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в понимание процесса развития опасных факторов пожара внесли такие отечественные и зарубежные ученые как: Ю.А. Кошмаров, В.М. Астапенко, И.С. Молчадский, С.В. Пузач, В.М. Есин, А.Н. Баратов, Р.Г. Акперов, Е.В. Сулейкин, W. K. Chow, T. Tanaka, S. Yamada, K. Matsuyama, G.D. Loughheed и другие.

Изучением процесса горения и газификации полимерных материалов занимались ученые: В.С. Иличкин, В. Веселы, Д.В. Трушкин, В.В. Кустов, Л.К. Исаева, Л.М. Шафран, П.П. Щеглов, С.В. Пузач и многие другие. Однако, в данных исследованиях не рассматривались достаточно подробно процессы образования и распространения циановодорода, необходимые для расчета времени блокирования путей эвакуации этим токсикантом. Удельные коэффициенты выделения циановодорода приведены только для малого количества горючих материалов. Для современных полимерных горючих материалов, находящихся на объектах энергетики, таких данных нет. Кроме того, нет научного обоснования критической величины парциальной плотности циановодорода, используемой при определении времени блокирования путей эвакуации. В работах Пузача С.В., Сулейкина Е.В. и Акперова Р.Г. был рассмотрен новый подход к определению плотности токсичного газа на основе экспериментальной зависимости плотности СО от среднеобъемной температуры продуктов горения. Однако, точность расчета плотности существенно зависит от точности определения коэффициентов теплопотерь в экспериментальной установке и полномасштабном помещении.

В данной работе, для определения времени блокирования путей эвакуации циановодородом предлагается использование экспериментально-теоретической зависимости плотности токсичного газа от изменения плотности кислорода. Применение данного подхода к определению времени блокирования циановодородом исключает необходимость в определении коэффициента теплопотерь и решении дифференциальных уравнений законов сохранения массы токсичного газа, а также повышает точность определения плотности $HSCN$, так как она больше не зависит от величины коэффициентов теплопотерь в экспозиционной камере установки.

Целью исследования является разработка методики расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики с использованием экспериментально-теоретического подхода к определению зависимости плотности вышеуказанного токсиканта от изменения среднеобъемной плотности кислорода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **поставленные задачи**:

– провести анализ литературных источников по определению возможности образования циановодорода в условиях пожара, а также

рассмотреть комбинированное токсическое воздействие циановодорода с другими токсичными продуктами горения;

- разработать экспериментально-теоретический подход к определению удельного коэффициента образования циановодорода и зависимости плотности циановодорода от изменения плотности кислорода в помещении с учетом масштабного фактора при горении современных полимерных материалов, находящихся на объектах энергетики;

- модифицировать экспериментальную установку и провести на ней экспериментальные исследования с целью определения удельного коэффициента образования циановодорода и зависимости плотности циановодорода от изменения плотности кислорода в помещении в случае горения современных полимерных материалов, находящихся на объектах энергетики;

- разработать физико-математическую модель отравления циановодородом в условиях пожара с учетом психофизиологических свойств эвакуирующихся;

- разработать методику расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на основе модифицированных интегральной и зонной моделей прогнозирования динамики развития опасных факторов пожара;

- предложить обоснованные рекомендации для обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре на объектах энергетики.

Объектом исследования в работе являются тепломассообменные процессы, протекающие при горении конденсированных веществ и материалов, применяемых на объектах энергетики.

Предметом исследования в работе является время блокирование путей эвакуации циановодородом при пожарах на объектах энергетики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- получены новые экспериментальные и теоретические данные по зависимости плотности циановодорода от изменения плотности кислорода при горении изоляции кабельной продукции, находящейся на объектах энергетики, в условно герметичном объеме, необходимые для расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения;

- разработана физико-математическая модель отравления циановодородом в условиях пожара с учетом психофизиологических свойств эвакуирующихся;

- разработан новый подход к определению показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода, основывающийся на аналитическом решении интегральной модели пожара в условно герметичном помещении;

- разработаны модификации интегральной и зонной моделей, используемых при расчете времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения, основывающиеся на использовании экспериментальной зависимости плотности циановодорода от изменений плотности кислорода с учетом масштабного фактора.

Теоретическая значимость работы заключается в:

– научном обосновании использования в математической модели расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения на объектах энергетики экспериментальных зависимостей плотности циановодорода от изменения плотности кислорода с учетом масштабного фактора и особенностей термогазодинамической картины пожара в полномасштабном помещении;

– совершенствовании научных основ распространения токсичных продуктов горения в объеме помещений объектов энергетики и их влияние на время блокирования путей эвакуации.

Практическая значимость работы заключается в создании методики расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на основе модифицированных интегральной и зонной моделей, используемых для расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре на объектах энергетики.

Методология и методы исследования. Методологические основы данного исследования составили работы в области изучения тепломассообменных процессов и прогнозирования динамики развития опасных факторов пожара, а также работы, посвященные исследованию токсичности продуктов горения.

В рамках данного исследования применялись методы расчета газодинамики и тепломассообмена, экспериментальные методы исследования газификации различных материалов, численные методы решения дифференциальных уравнений, а также методы анализа и обработки численных и экспериментальных исследований.

Положения, выносимые на защиту:

– новый подход к определению показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода, основывающийся на аналитическом решении интегральной модели пожара в условно герметичном помещении;

– физико-математическая модель отравления циановодородом в условиях пожара, основанная на определении степени отравления за счет увеличения массы циановодорода в крови во время эвакуации людей с учетом повышенной скорости вентиляции легких;

– результаты экспериментов по определению удельного коэффициента образования циановодорода и зависимостей среднеобъемной плотности циановодорода от изменения среднеобъемной плотности кислорода, позволяющие проводить расчет динамики изменений среднеобъемной плотности циановодорода без решения дифференциального уравнения закона сохранения массы HCN при горении материалов, применяемых на объектах энергетики;

– модификации интегральной и зонной модели прогнозирования динамики ОФП, позволяющие определять среднеобъемную плотность циановодорода при горении характерных для объектов энергетики материалов в реальном полномасштабном помещении, используя экспериментальные

зависимости среднеобъемной плотности HCN от среднеобъемной плотности O_2 , полученные в маломасштабном объеме экспериментальной установки;

– методика расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом, основанная на применении модифицированных интегральной и зонной математических моделей, а также физико-математической модели отравления циановодородом при эвакуации людей при пожаре.

Достоверность полученных результатов обеспечивается за счет применения исправных и поверенных средств измерения при проведении экспериментальных исследований, апробированных методов обработки полученных экспериментальных данных, апробированных математических методик анализа численных данных. Полученные экспериментальные данные с достаточной точностью для инженерных расчетов совпадают с теоретическими данными.

Апробация результатов исследования. Основные результаты были доложены на следующих конференциях: XXVII международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018); XII научно-практической конференции «Ройтмановские чтения», (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019); VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2018 (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019); IX международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» (Минск, Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, 2019); XXVIII международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2019» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019); III международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, Национальный исследовательский университет МЭИ, 2020); IX международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2021 (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021).

Практическая реализация материалов диссертации заключается в:

– разработке фондовых лекции, проведении практических и лабораторных занятий с обучающимися Академии ГПС МЧС России в рамках дисциплины «Теплотехника и прогнозирование опасных факторов пожара» по теме «Дополнительные соотношения интегральной модели пожара»;

– расчете пожарных рисков и разработке плана безопасной эвакуации людей при пожаре на Нововоронежской АЭС, расположенной по адресу: Россия. Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона и Курской АЭС-2, расположенной по адресу: Курская область, площадка «Макаровка»;

– проектировании системы дымоудаления в машинном зале Нововоронежской АЭС, расположенной по адресу: Россия, Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона и Курской АЭС-2, расположенной по адресу: Курская область, площадка «Макаровка».

Публикации. Основные положения диссертационной работы отражены в 14 научных работах, из которых 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 1 статья в журнале,

индексируемом в международной базе цитирования Scopus, а также 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 153 страницах машинописного текста и включает в себя 50 рисунков и 21 таблицу. Список литературы включает в себя 115 библиографических ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и научно-практическая значимость темы диссертационной работы, представлен объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна работы, положения, выносимые на защиту, достоверность полученных экспериментальных и численных данных, апробация работы и ее краткое содержание.

В первой главе диссертации «Анализ опасности токсического воздействия циановодорода на организм человека при пожарах на объектах энергетики» проведен анализ литературных источников, посвященных вопросам пожарной опасности производственных зданий объектов энергетики, особенностей токсического воздействия продуктов горения, образующихся при пожарах на объектах энергетики, возможности образования циановодорода и его токсического эффекта, расчетным методикам определения времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

Производственные здания объектов энергетики имеют высокую категорию опасности, вследствие хранения и обращения значительных объемов топливно-энергетических ресурсов. Проведенный анализ пожарной опасности рассматриваемых производственных зданий показывает, что значительное количество ЛВЖ и ГЖ (смазки генераторов, трансформаторное масло, топливное масло) обращается в машинном зале, что способствует формированию условий возникновения взрывоопасной концентрации в случае аварий различного характера. Помимо наличия ЛВЖ и ГЖ, машинные залы объектов энергетики характеризуются наличием сжиженных горючих газов, твердых сгораемых материалов и электрическими установками, включающие изоляцию электрических кабелей. При проведении анализа пожаров на объектах энергетики было выявлено, что как правило, объектами пожаров чаще всего становятся генераторы, кабельные каналы и электрооборудование. Возникновение пожароопасных ситуации в кабельных каналах и сооружениях происходит вследствие перегрузок и коротких замыканий электроприводов и электрических кабелей.

Анализ пожарной нагрузки, применяемой в производственных зданиях объектов энергетики, показал, что основной пожарной нагрузкой является масляное хозяйство и изоляция кабельной продукции. Большое количество размещенного электрооборудования, из-за высокой энергоемкости производственных зданий, требует для их коммуникации огромных кабельных линий. Анализ применяемой кабельной продукции показал, что основная часть

эксплуатируемых кабельных изделий, применяемых на объектах энергетики, выполнена из различных полимерных материалов, при термическом разложении которых, образуется достаточно широкий спектр токсичных веществ, распространяющийся в объеме всего производственного здания объекта энергетики. Применение различных кабельных изделий с изоляцией из сшитого полиэтилена, полиуретана и резины способствуют возникновению вероятности образования значительных концентрации циановодорода при их горении в производственных зданиях объектов энергетики.

Рассмотрен токсикологический эффект продуктов горения, образующихся при термическом разложении горючих материалов, применяемых в производственных зданиях объектов энергетики. Представлены наиболее опасные химические соединения, смертельная концентрация которых достигается при небольшом времени экспозиции.

Показано, что в условиях пожара, циановодород является одним из основных токсикантов, вызывающих гибель человека. Токсикологическая роль циановодорода в условиях пожара рассмотрена косвенно, а экспериментально-теоретическая база по процессам образования циановодорода при пожарах в помещениях недостаточно развита.

Представлена подробная токсикокинетика циановодорода в организме человека и выявлены основные токсикологические мишени. Предложено рассматривать токсикологический эффект циановодорода в условиях пожара от концентрации HCN во вдыхаемом воздухе с учетом изменяемой скорости легочной вентиляции, вследствие повышенной физической активности. Обоснована критическая концентрация циановодорода, при которой наблюдается раздражение слизистых оболочек глаз, рвота, головокружение.

Проанализированы современные математические модели расчета времени блокирования путей эвакуации при пожарах в зданиях и сооружениях. Из-за отсутствия значительной экспериментально-теоретической базы по процессам образования циановодорода при горении различных материалов, отсутствуют необходимые данные для математического моделирования распространения циановодорода в зданиях и сооружениях.

Основные выводы по первой главе диссертации:

- в результате проведенного анализа пожарной опасности объектов энергетики были выявлены наиболее опасные участки производственных зданий объектов энергетики, а также рассмотрена возможность образования циановодорода при пожарах в кабельных сооружениях объекта энергетики;
- анализ токсикологического воздействия продуктов горения позволил выявить, что циановодород, во многих случаях, является основным токсикантом, гибель от которого происходит не реже, чем от монооксида углерода;
- существует неоднозначность в понимании критической концентрации циановодорода, что требует дополнительных уточнений и разработки физико-математической модели отравления циановодородом в условиях пожара с учётом психофизиологических факторов эвакуирующихся;
- современные методики расчета динамики развития опасных факторов пожара не рассматривают процесс образования и распространения

циановодорода, образующегося при термическом разложении полимерных материалов, применяемых на объектах энергетики.

Во второй главе диссертации «Математические модели и методика расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики» представлены модификации интегральной и зонной математических моделей пожара, математическая модель расчета плотности циановодорода при пожарах в помещениях, физико-математическая модель отравления циановодородом в условиях пожара, а также методика расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики.

Представлены основные уравнения и условия однозначности интегральной и зонной математических моделей пожара.

Определение парциальной плотности циановодорода от времени с начала пожара вытекает из решения уравнения (1), выражающего закон сохранения массы токсичного газа в герметичном объеме:

$$V \frac{d\rho_{HCN}}{d\tau} = \eta\Psi L_{HCN}, \quad (1)$$

где V – объем помещения, м³; τ – время, с; $\rho_{z.cp}$ – среднеобъемная плотность HCN кг/м³; η – коэффициент полноты сгорания; L_i – удельный массовый коэффициент образования HCN, кг/кг; Ψ – скорость газификации горючего материала, кг/с.

Закон сохранения массы кислорода для условно герметичного объема имеет следующий вид:

$$V \frac{d\rho_{O_2cp}}{d\tau} = -\eta\Psi L_{O_2}, \quad (2)$$

где ρ_{O_2cp} – среднеобъемная плотность кислорода, кг/м³; L_{O_2} – удельный коэффициент потребления кислорода.

В работе предложен подход к определению среднеобъемной плотности циановодорода с использованием экспериментально-теоретической зависимости плотности токсичного газа от изменений среднеобъемной плотности кислорода, полученной из аналитического решения уравнений закона сохранения массы токсичного газа (1) и кислорода (2) при пожаре в условно герметичном помещении.

После совместного интегрирования уравнений (1) и (2) зависимость среднеобъемной плотности циановодорода от изменений среднеобъемной плотности кислорода в каждый момент времени от начала горения имеет следующий вид:

$$\rho_{HCN} = \frac{(\rho_{O_2a} - \rho_{O_2})L_{HCN}}{L_{O_2}}, \quad (3)$$

где ρ_{HCN} – среднеобъемная плотность циановодорода, кг/м³; ρ_{O_2a} – плотность кислорода в атмосферном воздухе, кг/м³.

Представленное аналитическое решение (3) интегральной модели пожара, выражающая зависимость плотности циановодорода от изменений среднеобъемной плотности кислорода, не включает в себя геометрические

параметры помещения и поверхности горючего материала, следовательно, является справедливой как для маломасштабного объема (экспериментальной установки), так и для полномасштабного помещения.

В рамках данного подхода отсутствует необходимость в определении коэффициента теплопотерь и решении дифференциальных уравнений законов сохранения массы токсичного газа.

В отличие от представленного ранее подхода в работах С.В. Пузача и Р.Г. Акперова, в котором плотность токсичного газа (СО) определялась в зависимости от температуры, точность определения плотности токсичного газа не будет зависеть от погрешности в определении коэффициента теплопотерь в экспозиционной камере установки. Представленное выше аналитическое решение интегральной модели пожара указывает на необходимость использования экспериментальных данных по величинам плотностей циановодорода и кислорода, удельным коэффициентам образования HCN, а также потребления O₂. Предложено экспериментальным путем определить удельные коэффициенты образования и потребления HCN и O₂, а также величины среднеобъемной плотности кислорода при горении основной пожарной нагрузки объектов энергетики – изоляции кабельной продукции.

Определение удельных коэффициентов образования циановодорода и потребления кислорода для условно герметичного объема проведено в соответствии с формулами:

$$L_{HCN} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{HCN}}{d\tau}, \quad (4)$$

$$L_{O_2} = \left| \frac{V d\rho_{O_2}}{n\Psi d\tau} \right|, \quad (5)$$

Рассмотрен аддитивный характер токсикологического воздействия циановодорода и монооксида углерода на организм человека. Предложен подход к определению показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода, позволяющий установить связь между плотностями токсичных газов и кислорода, а также между их коэффициентами образования и потребления при сгорании одного и того же материала. Использование при определении показателя токсичности выше представленного аналитического решения делает предложенный подход справедливым как для маломасштабного эксперимента, так и для полномасштабного реального помещения. Формула для определения показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода представлена в виде зависимости от плотности кислорода:

$$H_T = \left(\frac{L_{HCN}}{L_{O_2} \rho_{HCN,спит}} + \frac{L_{CO}}{L_{O_2} \rho_{CO,спит}} + \frac{1}{\rho_{O_2a} - \rho_{O_2,спит}} \right) (\rho_{O_2a} - \rho_{O_2cp}), \quad (6)$$

где $H_{T,HCN} = \frac{L_{HCN}}{L_{O_2}} \frac{(\rho_{O_2a} - \rho_{O_2})}{\rho_{HCN,кр}}$ - показатель токсичности по воздействию циановодорода; $H_{T,CO} = \frac{L_{CO}}{L_{O_2}} \frac{(\rho_{O_2a} - \rho_{O_2})}{\rho_{CO,кр}}$ - показатель токсичности по воздействию монооксида углерода.

Разработана физико-математическая модель отравления циановодородом в условиях пожара, в рамках которой, степень поражения организма человека определяется содержанием цианида в крови в соотношении миллиграмм/литр крови. Представлены и обоснованы принятые в модели допущения.

Предложены критические времена воздействия HCN в зависимости от массового содержания цианида в крови человека и степени отравления. В рамках предложенной модели отравления циановодородом рассматриваются различные скорости легочной вентиляции характерные как для спокойного, так и для учащенного дыхания. Принимая во внимание принятые допущения, масса циановодорода диффундирующего в кровь с учетом физико-психологических факторов в условиях пожара и постоянной концентрации циановодорода по времени, будет определяться по следующей формуле:

-при $W < W_{max}$:

$$M_{HCN} = 0,0008 k_w \rho_{HCN} W \tau_{эксн} , \quad (7)$$

-при $W > W_{max}$:

$$M_{HCN} = 0,0008 k_w \rho_{HCN} W_{max} \tau_{эксн} , \quad (8)$$

где $\tau_{эксн}$ - время экспозиции, минуты; M_{HCN} - масса циановодорода диффундирующего в кровь за время экспозиции, г; W - объемная скорость вентиляции легких, л/мин; W_{max} - максимальная объемная вентиляция легких с учетом физических нагрузок, л/мин.

При изменяемой во времени плотности циановодорода, масса диффундирующего HCN будет определяться по следующей формуле:

$$M_{HCN} = 0,0008 k_w W \int_0^{\tau} \rho_{HCN} d\tau , \quad (9)$$

где τ - время от начала горения, с.

Предложена методика определения времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики. Критическими характеристиками токсичного газа в данной модели являются критические плотности циановодорода, при которых наблюдаются симптомы отравления, затрудняющие процесс эвакуации, и массовое содержание диффундируемого циановодорода в крови человека, при котором наблюдаются симптомы отравления.

В рамках данной методики предложена последовательность необходимых мероприятий:

- сбор и анализ исходных данных (анализ пожарной опасности помещений объектов энергетики, анализ основной пожарной нагрузки);
- выбор наиболее опасных сценариев развития пожара;
- выбор математической модели для расчета динамики развития опасных факторов пожара;
- выбор метода численного решения математической модели пожара (или программы расчета для ЭВМ);

- определение удельных коэффициентов образования циановодорода, удельных коэффициентов потребления кислорода, среднеобъемных плотностей кислорода при горении материалов, применяемых на объектах энергетики;
- определить экспериментальные зависимости плотности циановодорода от функции плотности кислорода;
- проведение расчета;
- анализ результатов расчета и научно-обоснованные методические рекомендации.

Основные выводы по второй главе диссертации:

- существующие математические модели расчета динамики ОФП из-за отсутствия экспериментальных данных по образованию циановодорода рассматривают процесс образования и распространения лишь 3 газов (монооксид углерода, оксид углерода, хлороводород), не принимая во внимание чрезвычайно опасный токсикант – циановодород;
- необходимы модификации существующих математических моделей расчета динамики ОФП, учитывающие процесс образования и распространения циановодорода, при горении материалов, применяемых на объектах энергетики;
- предложен экспериментально-теоретический подход к расчету парциальной плотности циановодорода при пожаре в полномасштабном помещении позволяющий использовать экспериментальные зависимости среднеобъемной плотности циановодорода от изменения среднеобъемной парциальной плотности кислорода, полученные в маломасштабной экспериментальной установке. При этом отпадает необходимость решения дифференциального уравнения закона сохранения массы циановодорода, в которое входит величина L_{HCN} , существенно зависящая от времени осреднения;
- предложен новый подход к расчету показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода, имеющих аддитивный токсикологический эффект;
- предложена физико-математическая отравления циановодородом в условиях пожара с учетом повышенной скорости вентиляции легких, характерной для условий пожара в помещении;
- разработана методика определения времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики принимающая во внимание критические характеристики токсичного как по его плотности на уровне рабочей зоны, так и по массовому содержанию цианидов в крови эвакуирующихся.

В третьей главе диссертации «Экспериментальные исследования и модификация экспериментальной установки» представлены конструктивная схема экспериментальной установки, внесенные в нее модификации, методика проведения экспериментов и результаты экспериментальных исследований.

Представлены задачи экспериментального исследования, заключающиеся в определении удельных коэффициентов образования циановодорода, коэффициентов потребления кислорода, а также величин среднеобъемных плотностей кислорода при горении материалов, характерных для производственных зданий объектов энергетики.

Выполнена модификация экспериментальной установки, заключающаяся в усовершенствовании системы контроля газовой среды в экспозиционной камере установки путем добавления измерительного участка, способного определять концентрации циановодорода в составе газовой смеси. Схема модифицированной экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

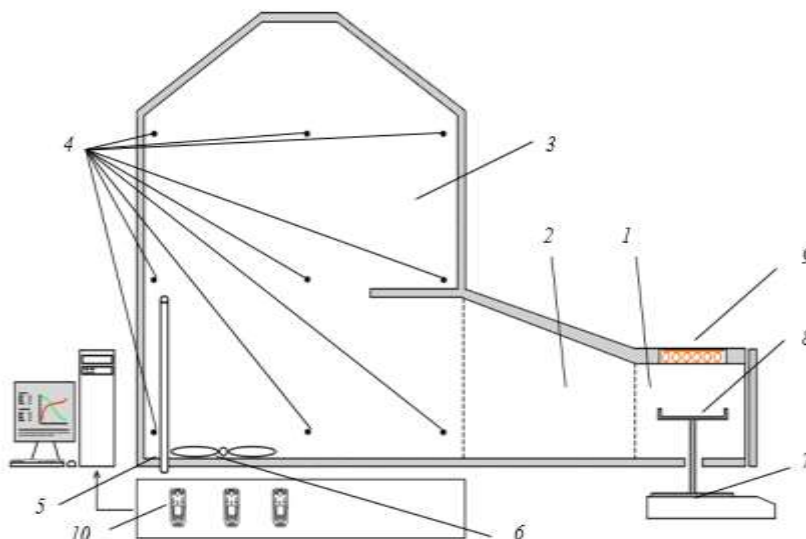


Рисунок 1 - Схема модифицированной экспериментальной установки. 1- камера сгорания; 2 – переходной рукав; 3 – экспозиционная камера; 4 – термопары; 5 – зонд отбора газа; 6 – вентилятор; 7 – электронные весы; 8 – держатель образца; 9 – электроннагревательный элемент; 10 – газоаналитическое оборудование

Схема камеры сгорания экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

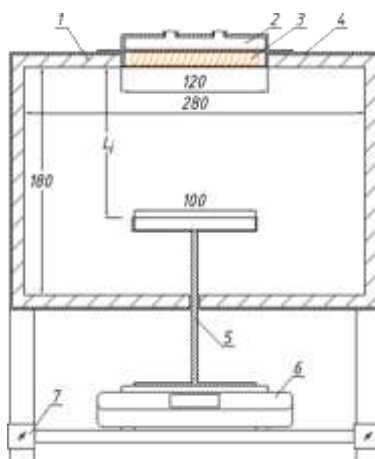


Рисунок 2 – Схема камеры сгорания экспериментальной установки:

- 1 – теплоизоляционный слой; 2 – камера водяного охлаждения;
- 3 – электроннагревательный излучатель; 4 – наружная стенка камеры сгорания;
- 5 – держатель образца; 6 – электронные весы; 7 – система регулировки расстояния от электроннагревательного элемента до испытуемого образца

Камера сгорания соединена с экспозиционной камерой теплоизолированным переходным рукавом. Экспозиционная камера представляет собой кубический объем ($0,5887 \text{ м}^3$). В целях постоянного контроля температуры в экспозиционном объеме предусмотрены 27 бронированных термопары по всему рассматриваемому объему. Контроль над

составом газозвушной среды в экспозиционной камере осуществляется с помощью прецизионного газоаналитического оборудования. Непосредственно перед проведением испытаний изготавливаются образцы исследуемого материала размерами 100×100 мм. Исследуемые образцы заранее конденсируются в течении 72 часов при относительной влажности воздуха не более 65% и комнатной температуры ±20 °С. Эксперимент начинается с установки на нагревательном элементе рабочей температуры 760 °С и плотности падающего теплового потока 60 кВт/м². При выходе температуры и плотности падающего теплового потока на рабочие значения, подготовленный образец погружается в камеру сгорания. Схема расположения исследуемых образцов в камере сгорания представлена на рисунке 3.

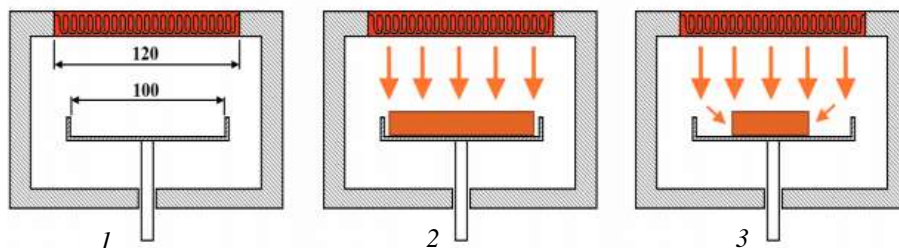


Рисунок 3 – Схема расположения исследуемых образцов: 1 - соотношение размеров держателя образца и нагревательного элемента; 2 - обогрев образца размером 100×100 мм; 3 - обогрев образца размером 50×50 мм

При проведении эксперимента фиксировались следующие величины:

- масса образца в ходе проведения эксперимента (каждые 3-10 с.);
- температуру в объеме экспозиционной камеры;
- концентрация газов в экспозиционной камере (CO₂, CO, HCN, O₂).

В качестве исследуемых материалов были рассмотрены: кабель коммуникационный «*Low smoke*»; кабель силовой ВВГнг.

Парциальная плотность рассматриваемого токсичного газа (HCN) определялась также в каждый момент времени на основании полученных экспериментальных данных о концентрации циановодорода в камере экспозиции (рисунки 4, 5 и 6).

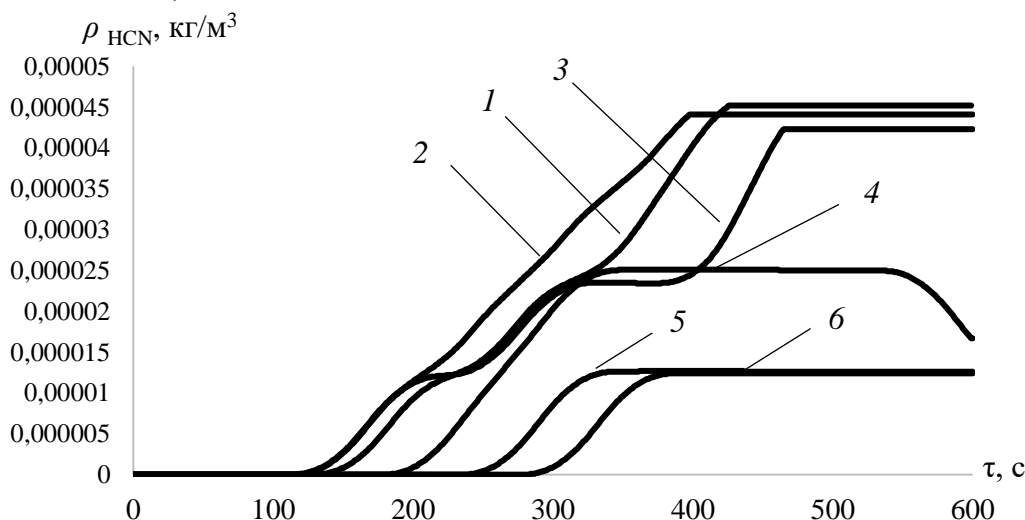


Рисунок 4 – Зависимость парциальной плотности циановодорода от времени проведения эксперимента: 1,2,3 – Кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель коммуникационный «*Low smoke*»

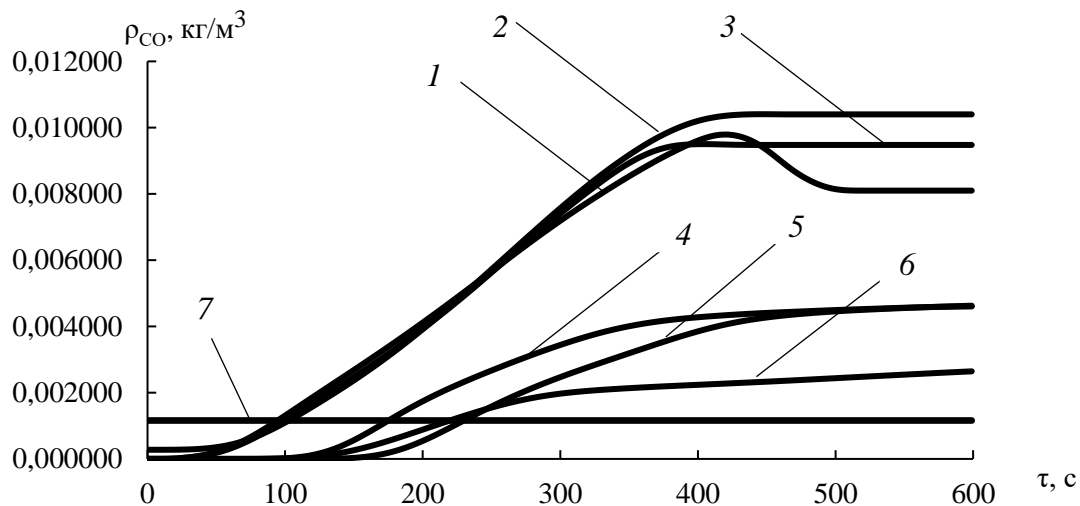


Рисунок 5 – Зависимость среднеобъемной парциальной плотности монооксида углерода: 1,2,3 – кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель «Low smoke»

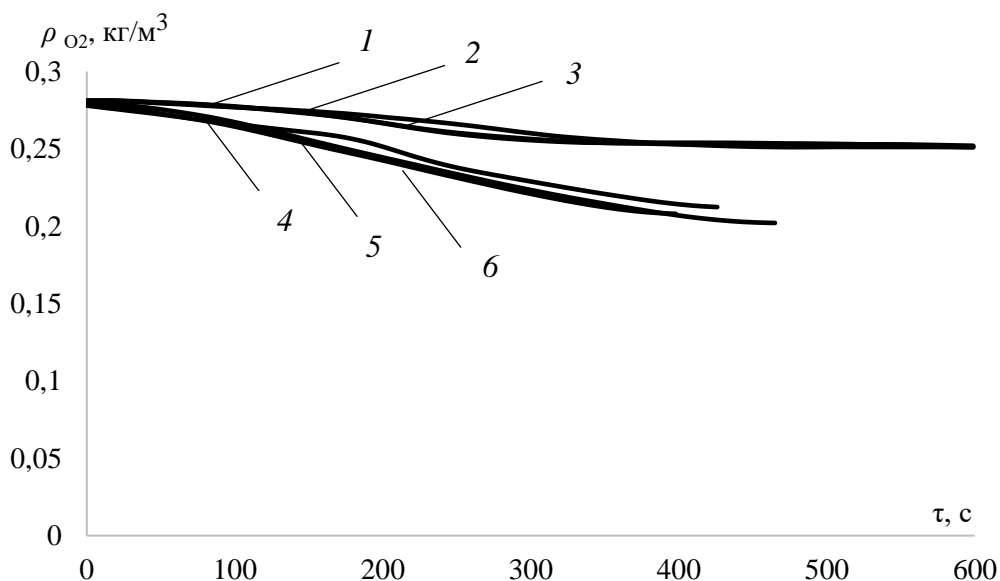


Рисунок 6 – Зависимость среднеобъемной плотности кислорода от времени проведения эксперимента: 1,2,3, - кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель «Low smoke»

Определение удельных коэффициентов образования циановодорода (L_{HCN}) и монооксида углерода (L_{CO}) было проведено в соответствии с формулой (4). Данные о количественном значении парциальной плотности циановодорода, монооксида углерода и массовой скорости выгорания были приняты исходя из представленных экспериментальных зависимостей. Зависимость величин удельных коэффициентов образования циановодорода и монооксида углерода от времени проведения эксперимента представлены на рисунках 7 и 8. Полученные экспериментальные данные по удельным коэффициентам образования циановодорода и монооксида углерода указывают на то, что величины удельных коэффициентов непостоянны и изменяется по времени проведения эксперимента. Определение удельных коэффициентов потребления O_2 было проведено в соответствии с формулой (5). Данные о количественном значении парциальной плотности кислорода и массовой скорости выгорания были приняты исходя из представленных экспериментальных зависимостей. Зависимость величин удельных коэффициентов потребления кислорода от времени проведения эксперимента представлены на рисунке 9.

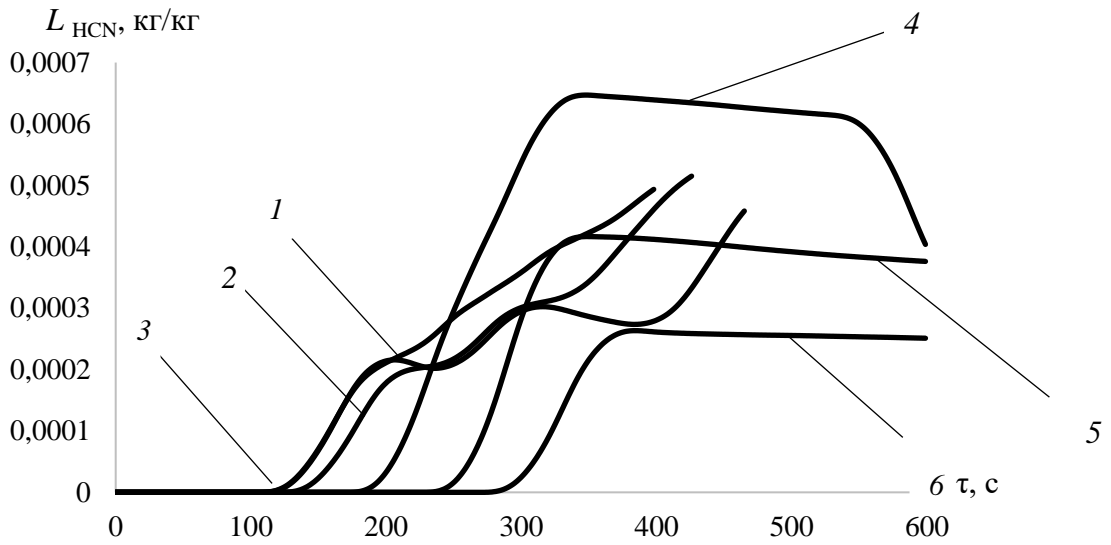


Рисунок 7 – Зависимость удельных коэффициентов образования циановодорода от времени проведения эксперимента: 1,2,3 – кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель «Low Smoke»

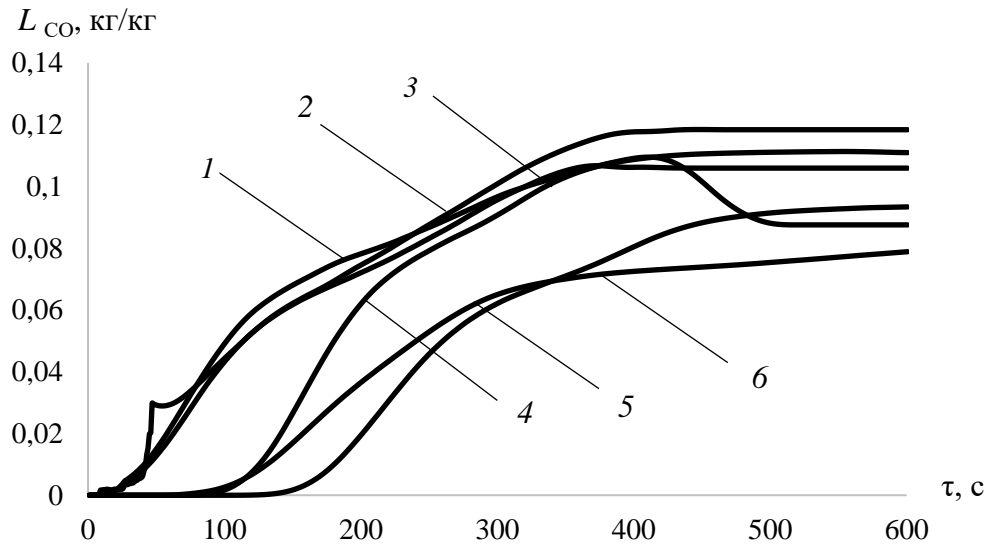


Рисунок 8 – Зависимость удельных коэффициентов образования от времени проведения эксперимента: 1,2,3 – кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель «Low Smoke»

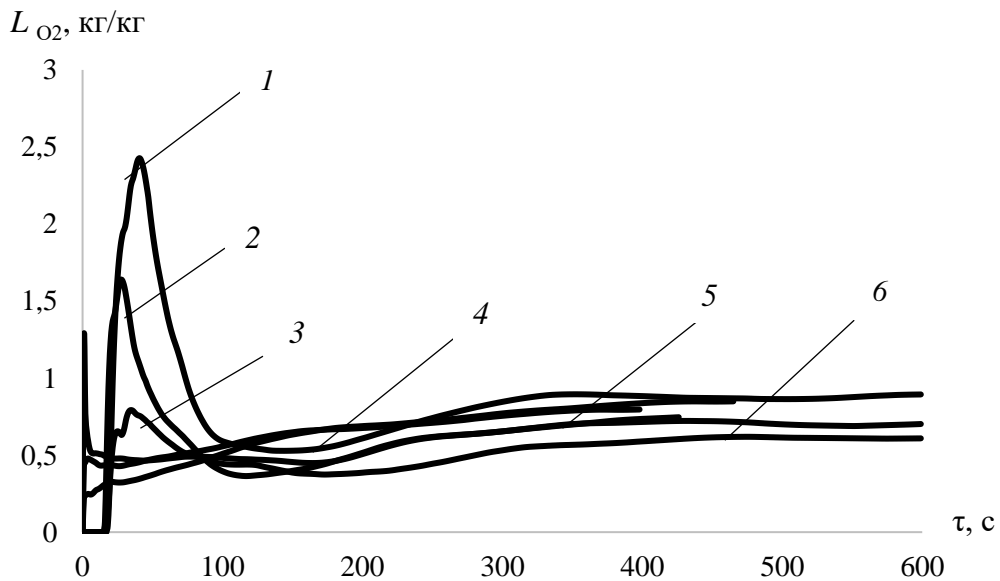


Рисунок 9 – Зависимость коэффициентов удельного потребления O_2 от времени проведения эксперимента: 1,2,3 – кабель силовой «ВВГнг»; 4,5,6 – кабель коммуникационный «Low Smoke»

Полученные экспериментальные данные позволяют произвести расчет парциальной плотности циановодорода при пожарах в производственных зданиях объектов энергетики с использованием аналитического решения (3).

Основные выводы по третьей главе диссертации:

- выполнена модификация экспериментальной установки, позволяющая экспериментальным путем определять концентрации и величины удельных коэффициентов образования циановодорода в экспозиционной камере установки при горении кабельной продукции, характерной для объектов энергетики;

- проведена серия экспериментов по определению основных характеристик образования и распространения циановодорода при горении кабельной продукции, характерной для объектов энергетики;

- экспериментальным путем получены величины удельных коэффициентов образования и парциальной плотности циановодорода, монооксида углерода, коэффициент удельного потребления кислорода, а также зависимость ($\rho_{HCN} = f(\rho_{O_2})$) по случаю горения кабельной продукции, характерной для объектов энергетики. Выявлено, что величины удельных коэффициентов образования циановодорода и потребления кислорода значительно изменяются в ходе проведения эксперимента и во многом зависят от времени осреднения;

- результаты экспериментальных исследований позволяют провести численные эксперименты по решению аналитического соотношения интегральной модели пожара, математической модели отравления HCN , подхода к определению показателя токсичности при совместном воздействии HCN и CO , которые необходимы для реализации методики расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом на объектах энергетики.

В четвертой главе диссертации «Исследование времени блокирования путей эвакуации циановодорода на объектах энергетики» представлены исходные данные и результаты расчета распространения циановодорода в производственных зданиях объектов энергетики, а также определены критические времена воздействия HCN . Представлено численное решение аналитического решения интегральной модели пожара (3) при горении кабельной продукции в производственном помещении. Результаты представлены в виде графических зависимостей на рисунках 10 и 11. Из представленных результатов видно, что аналитическое решение интегральной модели пожара (3) с использованием экспериментальных данных по образованию HCN и потреблению O_2 с погрешностью не более 5% совпадает с экспериментальными значениями парциальной плотности циановодорода для всех рассматриваемых материалов. Таким образом, выражение (3) позволяет определять изменения по времени среднеобъемной плотности циановодорода при пожаре в полномасштабном помещении без решения дифференциальных уравнений закона сохранения масс токсичного газа и кислорода.

Численное решение предложенного подхода к определению показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода выполнялось в соответствии с формулой (6) и представлено в виде графических зависимостей на рисунке 12.

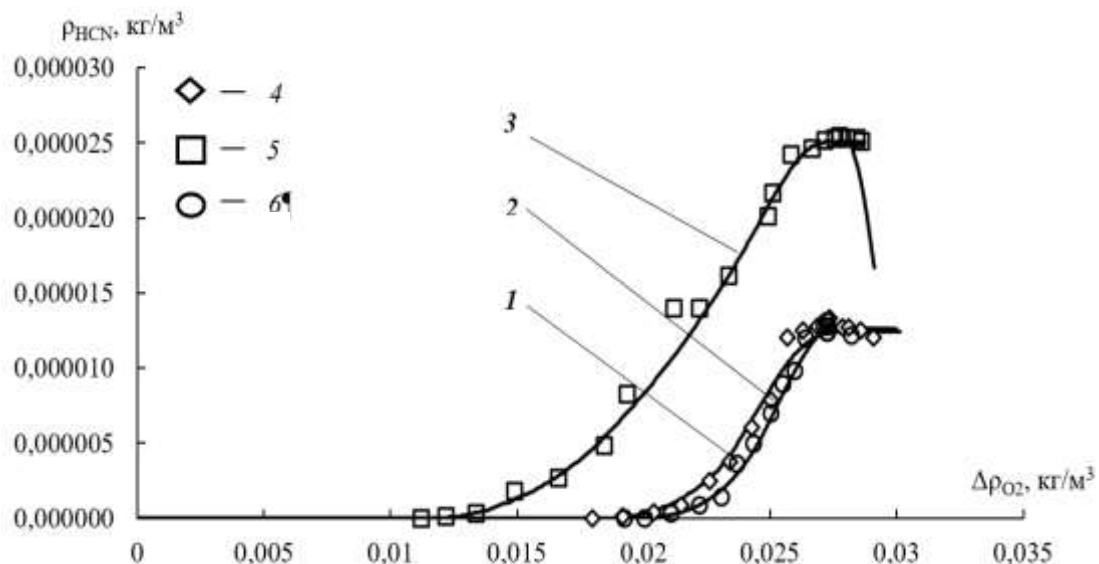


Рисунок 10 – Зависимости среднеобъемной плотности циановодорода от изменения среднеобъемной плотности кислорода при горении изоляции кабеля «Low smoke»: 1, 2, 3 – экспериментальные значения; 4, 5, 6 – расчет по формуле (3)

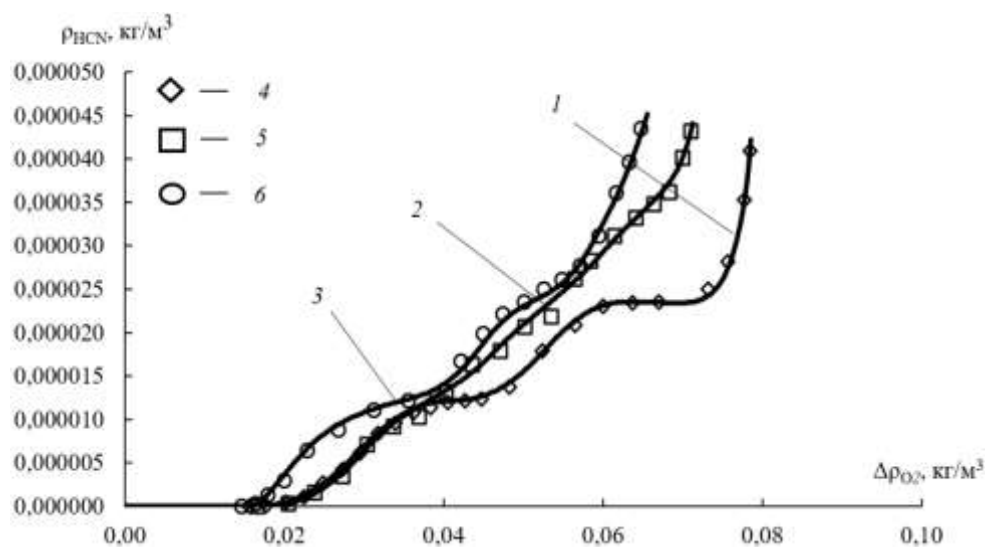


Рисунок 11 – Зависимость среднеобъемной плотности циановодорода от изменения среднеобъемной плотности кислорода при горении изоляции кабеля ВВГнг: 1, 2, 3 – экспериментальные значения; 4, 5, 6 – расчет по формуле (3)

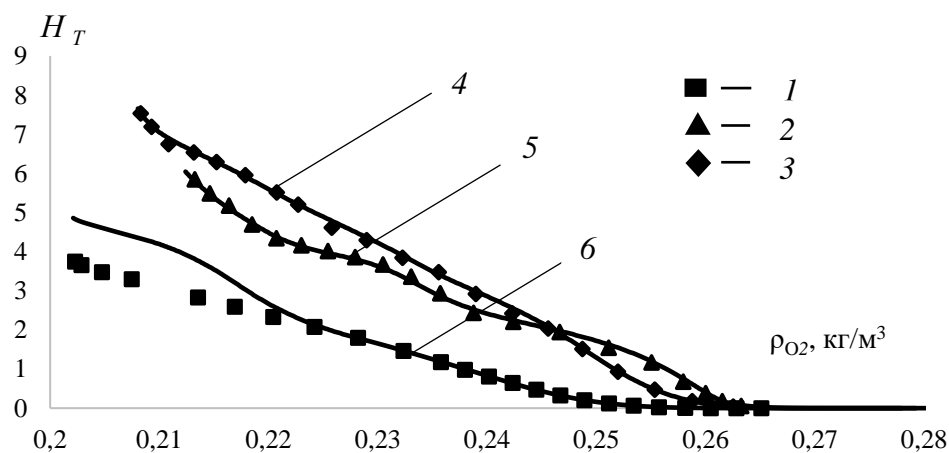


Рисунок 12 – Зависимости показателя токсичности от среднеобъемной парциальной плотности кислорода при горении изоляции кабеля: 1-3 – эксперимент; 4-6 – расчет (формула (6))

Из рисунка 12 видно, что теоретическое значение показателя токсичности, полученное с использованием формулы (6) и экспериментальных значений удельных коэффициентов (L_{HCN} , L_{CO} и L_{O_2}), совпадает с экспериментальными значениями с погрешностью, не превышающей 10%.

Численное решение математической модели отравления циановодородом основывается на определении критического времени воздействия в зависимости от массового содержания HCN в крови человека. В соответствии с формулами (7, 8, 9) результаты численных экспериментов для различной скорости вентиляции легких представлены в виде графических зависимостей массового содержания HCN в крови от времени экспозиции и концентрации циановодорода (рисунок 13).

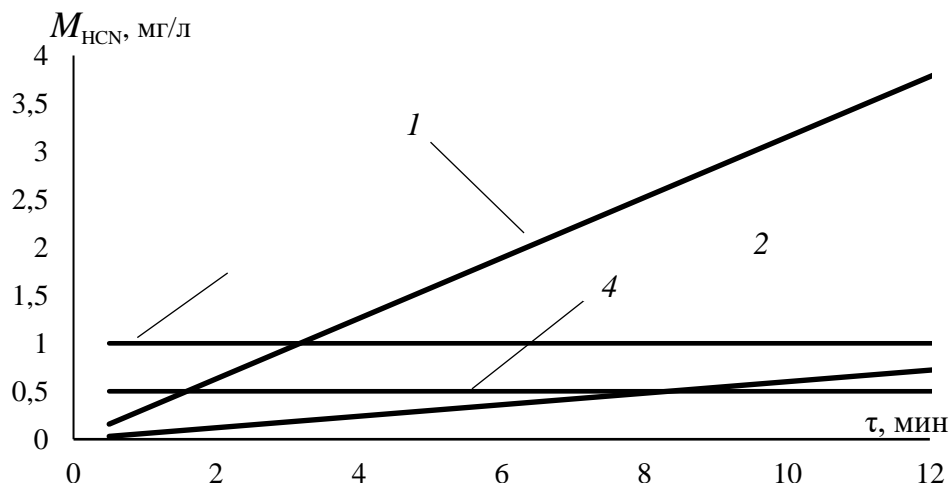


Рисунок 13 - Зависимость массового содержания циановодорода в крови человека при спокойном дыхании и постоянной концентрации HCN в воздухе: 1 – расчет формула (7) $\rho_{\text{HCN}} = 2 \cdot 10^{-4}$; 2 – расчет формула (7) $\rho_{\text{HCN}} = 1 \cdot 10^{-5}$; 3,4 – критические значения

Из результатов численного эксперимента видно, что при постоянной плотности циановодорода, принятой как критической в нормативной литературе, тяжелая степень отравления (при $M_{\text{HCNкр.}} = 1$ мг/л) наблюдается на ранних стадиях эксперимента. При постоянной концентрации $\rho_{\text{HCN}} = 1 \cdot 10^{-5}$, принятой критической в данной работе, легкая степень отравления (при $M_{\text{HCNкр.}} = 0,5$ мг/л) наблюдается в более поздних стадиях эксперимента. Таким образом, рассмотрение концентрации циановодорода, принятой в качестве критической в нормативно-правовой документации, может привести к необоснованному завышению критических времен воздействия циановодорода.

Численное решение физико-математической модели отравления циановодородом при изменяемой во времени концентрации циановодорода было проведено при следующих исходных данных:

- при спокойном дыхании, в условиях отсутствия физических нагрузок, объемную скорость вентиляции легких принимаем $W = 25$ л/мин;
- при учащенном дыхании объемную скорость вентиляции легких принимаем $W = 70$ л/мин;
- дыхательный объем и объем мертвого пространства взрослого человека $V_d = 0,5$ л и $V_m = 0,15$ л;
- критическое значение массовой доли циановодорода в крови человека $(M_{\text{HCN}})_{\text{кр.}} = 0,5$;

– модельные помещения с геометрическими размерами 4×6×2, 13×8×4 (длина×ширина×высота);

– величины среднеобъемных плотностей циановодорода были рассмотрены с учетом динамики изменения в зависимости от продолжительности численного эксперимента.

Результаты численных экспериментов по определению массового содержания HCN при пожаре в характерном помещении объекта энергетики эвакуирующихся представлены на рисунках 14 и 15.

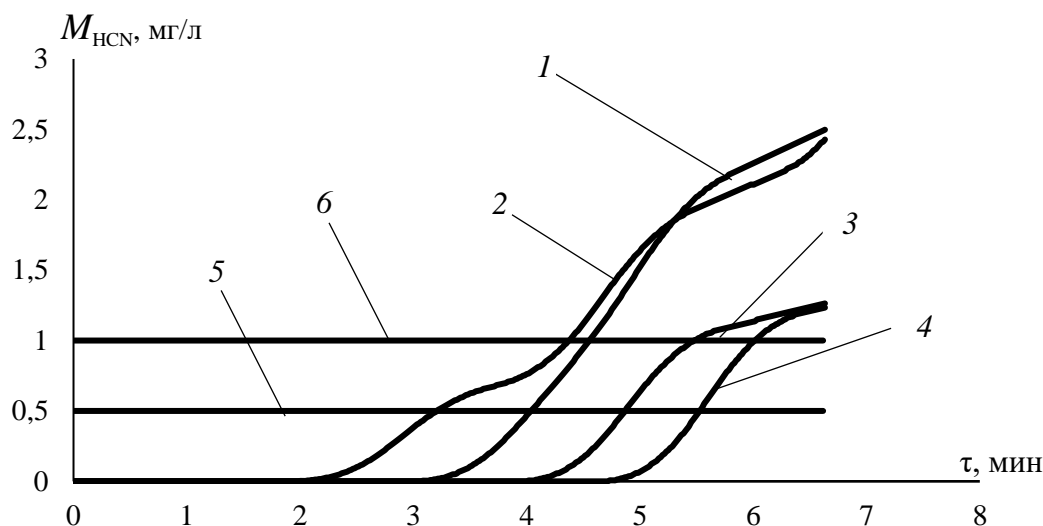


Рисунок 14 – Зависимость массового содержания циановодорода в крови эвакуирующихся от времени пожара при спокойном дыхании: 1 – помещение 1 (4×6×2 м) при горении кабеля ВВГнг; 2 - помещение 1 (4×6×2 м) при горении кабеля *Low Smoke*; 3 - помещение 2 (13×8×4 м) при горении кабеля ВВГнг; 4 - помещение 2 (13×8×4 м) при горении кабеля *Low Smoke*; 5,6 – критические значения M_{HCN}

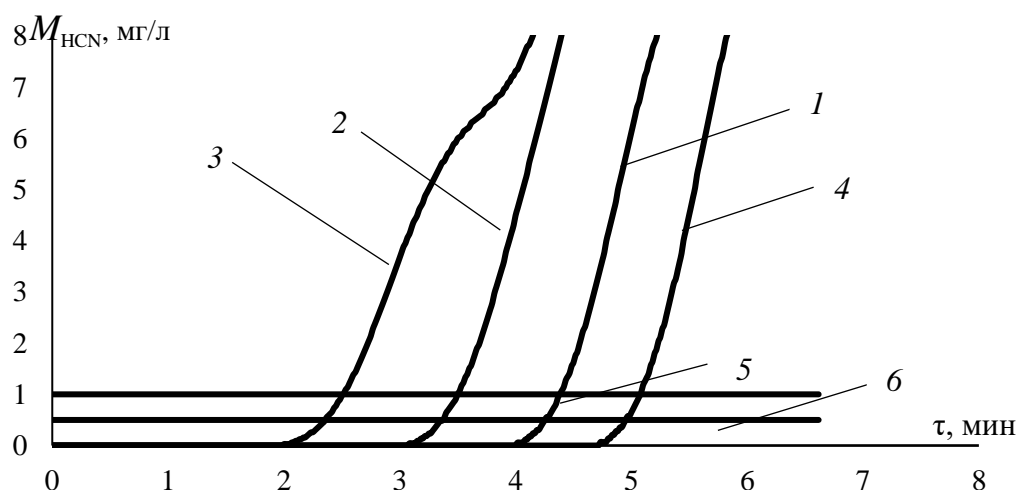


Рисунок 15 – Зависимость массового содержания циановодорода в крови эвакуирующихся от времени пожара при учащенном дыхании: 1 – помещение 1 (4×6×2 м) при горении кабеля ВВГнг; 2 - помещение 1 (4×6×2 м) при горении кабеля *Low Smoke*; 3 - помещение 2 (13×8×4 м) при горении кабеля ВВГнг; 4 - помещение 2 (13×8×4 м) при горении кабеля *Low Smoke*; 5,6 – критические значения M_{HCN}

Из представленных результатов численного эксперимента видно, что при пожарах в помещениях (1 и 2), при горении кабеля силового ВВГнг и кабеля коммуникационного «*Low Smoke*» и спокойном дыхании эвакуирующихся критические времена воздействия циановодородом наступают при начальных

стадиях пожара. Из результатов численных экспериментов видно, что Представленные результаты эксперимента показывают, что повышенная скорость вентиляции легких оказывает достаточно сильное влияние на массовое содержание циановодорода в крови человека, что подтверждает необходимость учета данного фактора при определении времени блокирования путей эвакуации циановодородом. Анализ полученных данных указывает на необходимость более обосновано принимать величины критической плотности циановодорода, вследствие большого разрыва во временных пределах достижения легкой и среднетяжелой степени поражения организма при различной скорости легочной вентиляции. На основании полученных экспериментальных данных о массовом содержании циановодорода в крови, получены величины критических времен воздействий HCN, путем сопоставления массового содержания циановодорода с величинами, соответствующими легкой и среднетяжелой степеням отравления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Современные методики расчета динамики развития опасных факторов пожара не рассматривают процесс образования и распространения циановодорода, образующегося при термическом разложении полимерных материалов. Предложенный подход позволяет рассматривать динамику изменения парциальной плотности циановодорода в полномасштабном помещении с учетом масштабного фактора и характеристик образования циановодорода при горении материалов, характерных для объекта энергетики.

2. Разработана физико-математическая модель отравления циановодородом, которая позволяет учитывать психофизиологические факторы человека, характерные для условий пожара, и рассчитать критические времена воздействия циановодорода в зависимости от массового содержания HCN в крови эвакуирующихся.

3. Предложен экспериментально-теоретический подход к расчету времени блокирования путей эвакуации циановодородом в полномасштабном помещении, позволяющий использовать экспериментальные зависимости среднеобъемной парциальной плотности циановодорода от изменения среднеобъемной парциальной плотности кислорода, полученные в маломасштабной экспериментальной установке. При использовании данного подхода отсутствует необходимость в решении дифференциального уравнения закона сохранения массы циановодорода, в которое входит величина $LHCN$, существенно зависящая от времени осреднения.

4. Разработана модифицированная экспериментальная установка, на которой получены величины удельных коэффициентов образования и парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода, а также коэффициент удельного потребления кислорода в случае горения современной кабельной продукции, характерной для объектов энергетики. Сопоставление результатов численного и экспериментального исследования показало достаточную для инженерных расчетов сходимость предложенного метода расчета с погрешностью не более 5%.

5. Результаты численных исследований показали, что критические времена воздействия циановодорода на организм человека наступают на ранних стадиях пожара, а изменяемая по времени концентрация HCN в совокупности с увеличением у эвакуирующихся скорости легочной вентиляции значительно влияют на скорость и степень интоксикации циановодородом.

6. В целях обеспечения свободной и беспрепятственной эвакуации людей из производственных зданий объектов энергетики, а также их персонала, необходимо рассматривать возможность образования и распространения токсикологически значимых концентраций циановодорода с учетом реальных свойств горючей нагрузки и термогазодинамических особенностей распространения HCN.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях, включенных в список ВАК России

1. Болдрушкиев, О.Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода при пожаре в помещении [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Безопасность жизнедеятельности. – 2019. – № 10. – С. 31-36.

2. Болдрушкиев, О.Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – №5. – С. 19-26.

3. Болдрушкиев, О.Б. Новый подход к определению парциальной плотности циановодорода при пожарах на объектах энергетики [Электронный ресурс] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 3. – С. 5-10.

4. Болдрушкиев, О. Б. Новый подход к определению показателя токсичности при совместном воздействии циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 2. – С. 38-45.

Публикации в международных журналах, индексируемых в базе данных Scopus

5. Болдрушкиев, О.Б. Experimental-theoretical approach to calculating the partial density of hydrogen cyanide during fires at energy facilities [Электронный ресурс] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // «Journal of Physics: Conference Series». – 2020. – Выпуск 1683. – 31022055.

Остальные публикации по теме диссертации

6. Болдрушкиев, О.Б. Циановодород в токсичных продуктах горения, и его влияние на организм человека [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы XXVII международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 163-167.

7. Болдрушкиев, О.Б. Определение удельного выхода циановодорода входящего в состав продуктов горения для моделирования пожара [Электронный ресурс] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы XII научно

- практической конференции «Ройтмановские чтения». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 104-107.

8. Болдрушкиев, О.Б. Определение зависимости парциальной плотности циановодорода от температуры для расчета времени блокирования путей эвакуации [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2018». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 48-52.

9. Болдрушкиев, О.Б. Особенности образования циановодорода при термическом разложении полимерных материалов [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы IX международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести». – Минск, 2019. – С. 244-245.

10. Болдрушкиев, О.Б. Экспериментальное определение зависимости парциальной плотности циановодорода от плотности кислорода при пожаре в помещении [Текст] / Материалы XXVIII международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2019». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 381-386.

11. Болдрушкиев, О.Б. Экспериментально-теоретическое определение концентрации циановодорода при пожарах в помещении [Текст] / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы XIII научно - практической конференции «Ройтмановские чтения». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 91-94.

12. Болдрушкиев, О.Б. Экспериментально-теоретический подход к расчету парциальной плотности циановодорода при пожарах на объектах энергетики [Текст] / / С.В. Пузач, О.Б. Болдрушкиев, Е.В. Сулейкин // Материалы III Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики». – Москва.: МЭИ. – С. 230-231.

13. Болдрушкиев, О.Б. Определение показателя токсичности при воздействии циановодорода [Текст] / О.Б. Болдрушкиев, С.В. Пузач, Е.Н. Косьянова // Материалы X международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2021». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 178-185.

14. Болдрушкиев, О.Б. Физико-математическая модель отравления циановодородом в условиях пожара [Текст] / О.Б. Болдрушкиев, С.В. Пузач // Материалы XIV научно - практической конференции «Ройтмановские чтения». – Москва.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 91-94.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

15. Болдрушкиев, О.Б. Программа для обработки и формирования базы параметров пожарной нагрузки / Правообладатели: Болдрушкиев О.Б., Мустафин В.М., Пузач С.В., Акперов Р.Г. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664548.; заявка № 2021619872 12.06.2021; регистрация 08.09.2021.