

*На правах рукописи*



Васильев Андрей Олегович

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ПРЕДЕЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ ПО  
ПОГЛОЩЕНИЮ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,  
материалов и изделий

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2012

Работа выполнена в Новороссийском политехническом институте (филиал) ФГБОУ  
ВПО Кубанский государственный технологический университет

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
кафедры общенаучных дисциплин Новороссийского  
политехнического института (филиал) Кубанского  
государственного технологического университета

Шеманин Валерий Геннадьевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, ведущий  
научный сотрудник лаборатории оптики заряженных  
частиц и моделирования Института аналитического  
приборостроения РАН

Новиков Лев Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры  
автоматизации процессов химической  
промышленности Санкт-Петербургского  
Государственного технологического института  
(технического университета)

Жаринов Константин Анатольевич

Ведущая организация: НПК Государственный оптический институт  
им. С. И. Вавилова, г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. в \_\_ час., ауд. \_\_\_\_\_  
на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.230.03  
при Санкт-Петербургском Государственном технологическом институте  
(техническом университете)

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке  
института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью  
просим направлять по адресу: 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26,  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический  
университет), Ученый совет, тел. (812)494-93-75, факс. (812)712-77-91, email:  
dissovet@technolog.edu.ru

Автореферат разослан: «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



В. И. Халимон

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Важной задачей при эксплуатации резервуарных парков и судов по транспортировке нефти и нефтепродуктов является сохранение качества и количества продукта. Сохранение нефти и нефтепродуктов от испарения требует обеспечения максимальной герметизации всех процессов слива, налива и хранения, а также разработки оптимальных условий эксплуатации емкостей хранения и транспортировки. Испарение углеводородов оказывает негативное воздействие на качество окружающей среды, условия труда и приводит к экономическим убыткам. Последние непосредственно связаны с ресурсосбережением, так как основными компонентами выбросов являются легкие фракции нефти – предельные углеводороды (алканы), которые являются основным сырьем для нефтехимических производств. Таким образом, при испарении легких углеводородов ухудшается качество продукта, понижается октановое число, что сказывается на качестве продукции при производстве бензина.

На сегодняшний день на предприятиях, занимающихся хранением и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, используются разные методики, стандарты и рекомендации по расчетам массовых потерь углеводородного сырья из-за испарения, как отечественные, так и зарубежные. Основными недостатками таких методик являются: отсутствие прямого инструментального метода измерения в реальном времени и использование эмпирических зависимостей для описания физики процесса испарения углеводородов в емкости.

Таким образом, разработка газоаналитического оборудования для инструментального измерения суммарных потерь предельных углеводородов нефти в условиях эксплуатации емкостей хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов является актуальной задачей.

**Цель работы.** Целью настоящей диссертации является разработка малогабаритного, простого в эксплуатации измерителя суммарной концентрации предельных углеводородов нефти в газовой среде на выходе дыхательной арматуры при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов по величине интегрального поглощения инфракрасного излучения.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- экспериментально и теоретически исследован состав воздушного потока предельных углеводородов нефти при выбросах и испарении из емкостей хранения и транспортировки;
- исследованы спектры инфракрасного поглощения молекул анализируемых предельных углеводородов нефти и обоснован выбор рабочего спектрального диапазона для разрабатываемого прибора;

– разработан экспериментальный образец инфракрасного измерителя с рабочей длиной волны в максимуме излучения 3,4 мкм для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в газовой среде на выходе дыхательной арматуры;

– экспериментально и теоретически обоснован выбор градуировки предлагаемого прибора по одному компоненту;

– выполнен анализ метрологических характеристик инфракрасного измерителя массовой концентрации предельных углеводородов разных сортов нефти при различных температурных условиях.

**Научная новизна:**

1. Разработана методика измерения суммарной концентрации предельных углеводородов разных сортов нефти при разных температурных условиях, основанная на поглощении инфракрасного излучения.

2. Теоретически и экспериментально обоснована возможность градуировки инфракрасного измерителя суммарной концентрации предельных углеводородов по одному компоненту (н-гексан).

3. Разработан малогабаритный, простой в обслуживании и эксплуатации экспериментальный образец инфракрасного измерителя для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в газовой среде на выходе дыхательной арматуры емкостей хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов.

**Практическая значимость:**

1. Прибор предназначен для использования на объектах нефтеперерабатывающей промышленности, нефтеперевалочных базах, резервуарных парках, нефтеналивных терминалах и танкерах на дыхательной арматуре емкостей хранения и транспортировки для контроля суммарных потерь предельных углеводородов нефти и нефтепродуктов.

2. Использование инфракрасного измерителя позволяет выполнять автоматический непрерывный мониторинг выбросов в реальном времени с целью сокращения экологического и экономического ущерба и обеспечение взрыва- и пожаробезопасности в области рабочей зоны, а также мониторинг эксплуатации инженерно-технических средств по сокращению потерь.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы были представлены на следующих конференциях:

XVI, XVII, XVIII международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геологии» в Новороссийске в 2008, 2009, 2010, 2011 гг;

15 Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых в Кемерово-Томск в 2009 г;

17 Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых в Екатеринбурге в 2011 г;

Международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация» в Санкт-Петербурге в 2009, 2010, 2011 гг.;

63-я Студенческой научной конференции «Нефть и газ-2009» в Москве, РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина в 2009 г;

Всероссийском молодежном образовательном форуме «Селигер-2010» смена «Инновации и техническое творчество» в 2010 г.;

Инновационные проекты студентов, аспирантов и молодых ученых Российской Федерации «Обеспечение промышленной и экологической безопасности на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах», Башкирская Ассоциация Экспертов в 2009 г.;

SPIE Международном симпозиуме «Инженерная оптика и ее применение». Конференция «Инфракрасные сенсоры, приборы и их применение», SPIE, Сан-Диего в 2011 г.

Результаты работы были получены при поддержке следующих грантов:

– 2009 г. гос. контракт № 10109 «Разработка схемы спектрометра и алгоритма обработки ИК спектров поглощения на основе синхронного детектирования для измерения концентрации молекул углеводородов нефти».

– 2010 г. гос. контракт № 13118 «Измерение эффективного сечения поглощения молекул предельных углеводородов ИК спектрометром».

– Грант РФФИ № 11-08-09283 (2011 г.) Участие в SPIE Optical Engineering + Applications секция «Infrared Sensors, Devices, and Applications».

– Грант им. выдающихся ученых нефтяной и газовой промышленности (Байбакова Н.К., Динкова В.А. и др.) за работу «Мониторинг углеводородов в воздухе по интегральным инфракрасным спектрам поглощения» - 2009 г.

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 12 работах, являющихся частью списка литературы, цитируемого в диссертации, в том числе 5 статей, из них 2 статьи в рецензируемых ВАК журналах, 7 докладов на конференциях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 145 страниц машинописного текста, в том числе 15 таблиц и 61 рисунок. Список литературы содержит 111 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во «Введении»** обоснована актуальность решаемой в диссертации задачи, приведен краткий обзор существующих способов ее решения, определены исходные параметры, подлежащие исследованию и анализу, кратко изложено содержание диссертации и указаны защищаемые положения.

**В главе 1** исследован компонентный состав воздушных выбросов предельных углеводородов нефти из емкостей хранения и транспортировки. Основным источником воздушных выбросов на нефтебазах и танкерах являются испарения нефти и нефтепродуктов во время сливно-наливных операций. Был выполнен анализ молекулярного состава воздушных выбросов на примере хроматограмм, полученных апробированием выбросов во время заполнения резервуара нефтью, а также графиков и зависимостей, полученных при исследовании воздушных выбросов из танков танкеров во время загрузки. Таким образом, установлено, что основная доля потерь углеводородного сырья за счет выбросов приходится на легкие фракции нефти и нефтепродуктов,

которые представлены гомологическим рядом алканов преимущественно от метана до гексана и выше.

Приведен обзор и анализ существующих методик по определению массовых выбросов углеводород в атмосферу. В качестве примера изложены два метода, используемые в России и США. Широкое распространение получили Методические указания по определению выбросов вредных загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. Недостатками этой методики являются: наличие большого числа аналитических замеров; высокая сложность проведения расчета; определение большого количества опытных коэффициентов с использованием метода линейной аппроксимации, что приводит к увеличению погрешности; отсутствуют методы определения насыщенных паров нефтепродуктов, не являющихся индивидуальными жидкостями; не учитываются характеристики региона расположения объекта и влияние потока солнечного излучения и окраски резервуара. В качестве примера зарубежного стандарта рассмотрено руководство по определению потерь нефти и нефтепродуктов от испарения Американского института нефти API-2518 Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 19 – Evaporative Loss Measurement. Недостатками этого руководства являются использование большого количества эмпирических и полуэмпирических коэффициентов, кроме того в данном стандарте не рассматриваются случаи потерь нефтепродуктов при изменении погодных явлений.

Также проанализированы основные инструментальные методы измерения взрывоопасных концентраций углеводородов в рабочей зоне. В качестве примера приведен каталитический сенсор как контактный способ измерения, и бесконтактный способ, использующий технологию поглощения измеряемой средой инфракрасного излучения.

Приведены основные понятия и зависимости, используемые в инфракрасной спектроскопии газов и в процессе выполнения теоретических и натуральных экспериментов с исследуемыми молекулами и их смесями в процессе решения поставленной задачи. Проанализированы основные рекомендации и правила по обработке спектров инфракрасного поглощения для получения достоверных данных и уменьшения погрешности при проведении количественного анализа.

Основываясь на результатах проведенных исследований, сделан вывод о том, что для решения поставленной задачи необходимо разработать прибор на основе спектрального анализа воздушной среды с небольшими массогабаритными показателями и простым обслуживанием для прямого и автоматического измерения потерь нефти в реальном времени.

**В главе 2** выполнен теоретический анализ спектров инфракрасного поглощения анализируемых молекул предельных углеводородов нефти и их смесей.

Для оценки величины интегральной интенсивности поглощения инфракрасного излучения молекулами предельных углеводородов были теоретически исследованы спектры инфракрасного поглощения. Расчет данной величины выполнен с помощью программного обеспечения для записи и

обработки спектров Thermo Scientific OMNIC. По измеренному интегральному сечению поглощения молекулы н-гексана на длине волны 3,4 мкм и величинам интегральной интенсивности поглощения были рассчитаны интегральные сечения для остальных гомологов предельных углеводородов ряда метан-октан.

Для изучения диапазона изменения величины интегрального сечения поглощения молекул предельных углеводородов, был выбран ряд разных сортов нефти из разных месторождений: Арланская товарная, Игровская, Салымская, Усть-Балыкская, Северо-Варьеганская, Виннобанковская, Никольская, Коленидская и Роднинская. Интегральное сечение поглощения рассчитывалось с учетом весового содержания каждого гомолога предельного углеводорода при разных температурных условиях.

Результаты расчетов для выбранной нефти при разной температуре представлены на графике зависимости среднего интегрального сечения поглощения предельных углеводородов от температуры (рисунок 1).

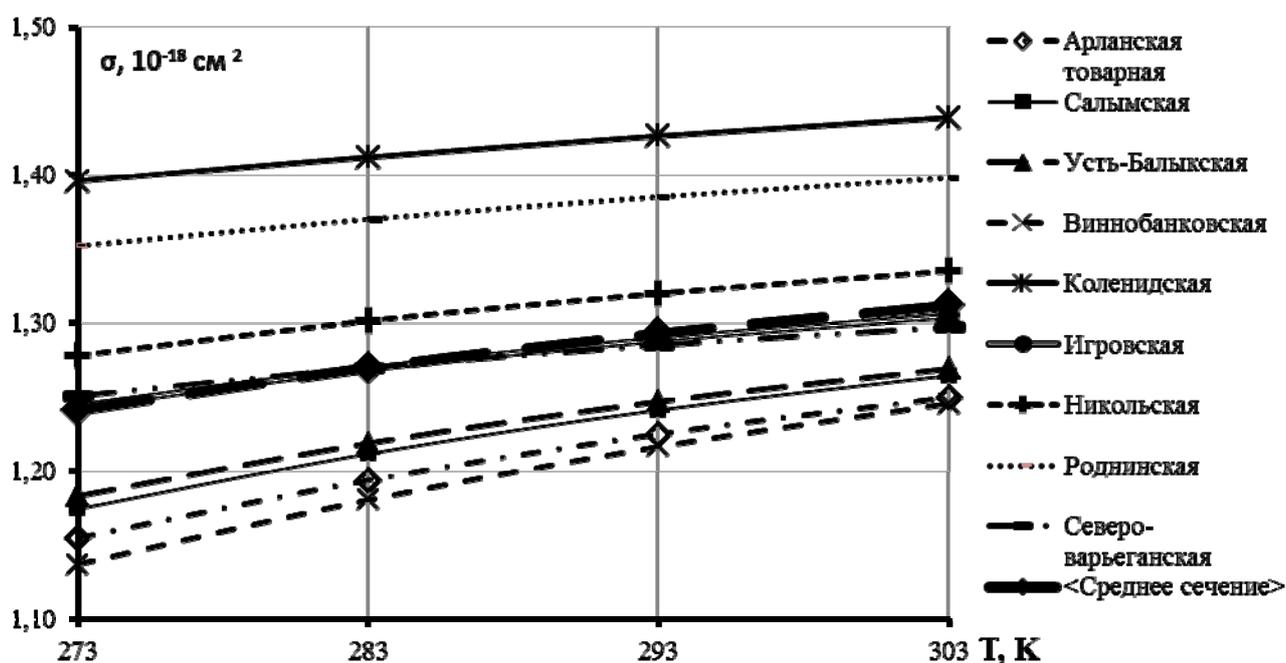


Рисунок 1 - Зависимость величины интегрального сечения молекул предельных углеводородов от температуры в различной нефти

Таким образом установлено, что среднее сечение поглощения молекул предельных углеводородов гомологического ряда этан-октан лежит в диапазоне  $(1,14-1,4) \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ . Среднее значение интегрального сечения поглощения по всей нефти составило  $1,3 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ . Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для калибровки разрабатываемого прибора можно использовать один компонент, величина сечения поглощения которого близка к расчетной величине.

В главе 3 представлены результаты разработки инфракрасного измерителя суммарной концентрации предельных углеводородов нефти. Подробно рассмотрены его оптическая и структурная схемы, принцип работы.

Особое внимание уделяется спектральным характеристикам источника и приемника излучения.

Для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов был разработан измеритель, работающий в средней области инфракрасного спектра поглощения.

Метод измерения поглощения средой в инфракрасном диапазоне для определения концентрации углеводородов реализован в двухлучевой схеме измерителя с применением полупроводниковых диодов производства компании ООО «Июффе ЛЕД» – светодиода LED34Sr в качестве излучателя и двух фотодиодов PD34Sr в качестве приемников в измерительном и опорном каналах (рисунок 2).

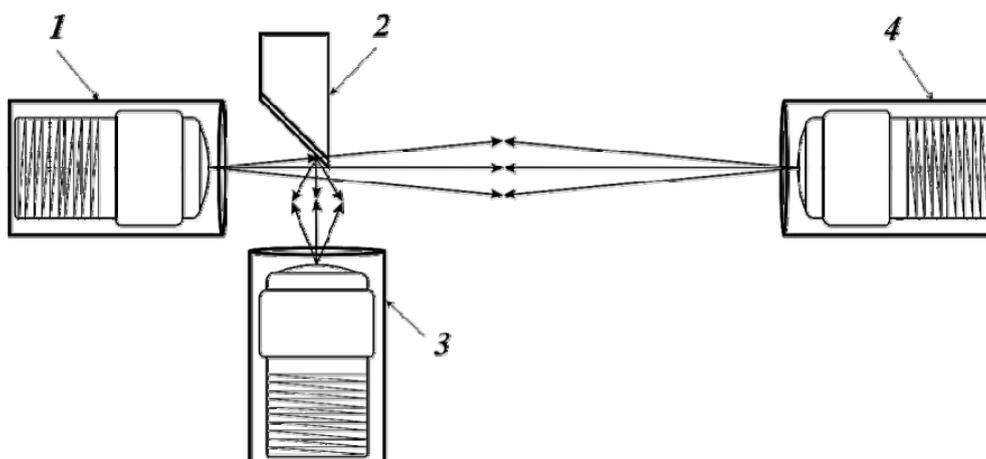


Рисунок 2 – Оптическая схема измерителя

1 – светодиод; 2 – поворотное зеркало; 3 – фотодиод опорного канала;  
4 – фотодиод измерительного канала

В качестве излучателя был выбран светодиод с максимумом излучения на длине волны 3,4 мкм ( $2941 \text{ см}^{-1}$ ) и соответствующие ему приемники излучения – иммерсионные фотодиоды для измерительного и опорного каналов измерения. Фотодиод опорного канала необходим для измерения сигнала, пропорционального величине падающего излучения  $I_0$ , а также для обеспечения требуемой точности измерения за счет исключения зависимости измерения от внешних воздействий, таких как условия эксплуатации прибора и арматуры, где он будет установлен, а также конденсации паров на оптической поверхности диодов.

Структурная схема ИК измерителя приведена на рисунке 3.

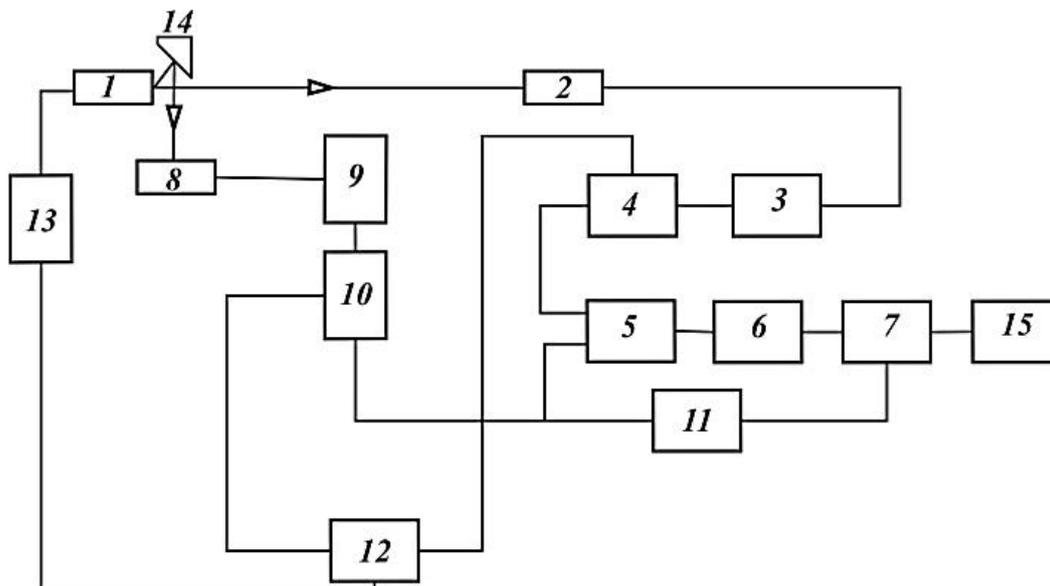


Рисунок 3 – Структурная схема ИК измерителя: 1-светодиод, 2-фотодиод измерительного канала, 3-дифференциальный усилитель измерительного канала, 4-синхронный детектор измерительного канала, 5-вычитающее устройство, 6-масштабный усилитель измерительного канала, 7-делитель сигнала, 8-фотодиод опорного канала, 9-дифференциальный усилитель опорного канала, 10-синхронный детектор опорного канала, 11-масштабный усилитель опорного канала, 12-генератор, 13-блок усилителя мощности светодиода, 14-поворотное зеркало, 15-регистрирующее устройство

В алгоритме обработки регистрируемых сигналов ИК измерителем в концентрацию используется величина интегрального сечения поглощения н-гексана, оптические длины путей между светодиодом и фотодиодами и выходной сигнал измерителя. Для получения величины концентрации измеряемых углеводородов было получено следующее выражение:

$$C = \frac{\ln \frac{1}{1 - UK_M}}{(l_n - l_0)\sigma} \quad (1)$$

где  $\sigma$  – интегральное сечение поглощения молекулы; размерность данной величины представляется в квадратных сантиметрах ( $\text{см}^2$ );  $K_M$  - коэффициент усиления масштабного усилителя опорного канала;  $U = U_{\text{вых}}/U_{\text{изм.канала}}$  – выходной сигнал с измерителя;  $l_0$  – расстояние между светодиодом и фотодиодом опорного канала, см;  $l_n$  – расстояние между светодиодом и фотодиодом измерительного канала, см.

Экспериментальные измерения суммарной концентрации насыщенных паров предельных углеводородов был выполнены для трех различных сортов нефти при разных температурных условиях. Схема экспериментального образца ИК измерителя представлена на рисунке 4.

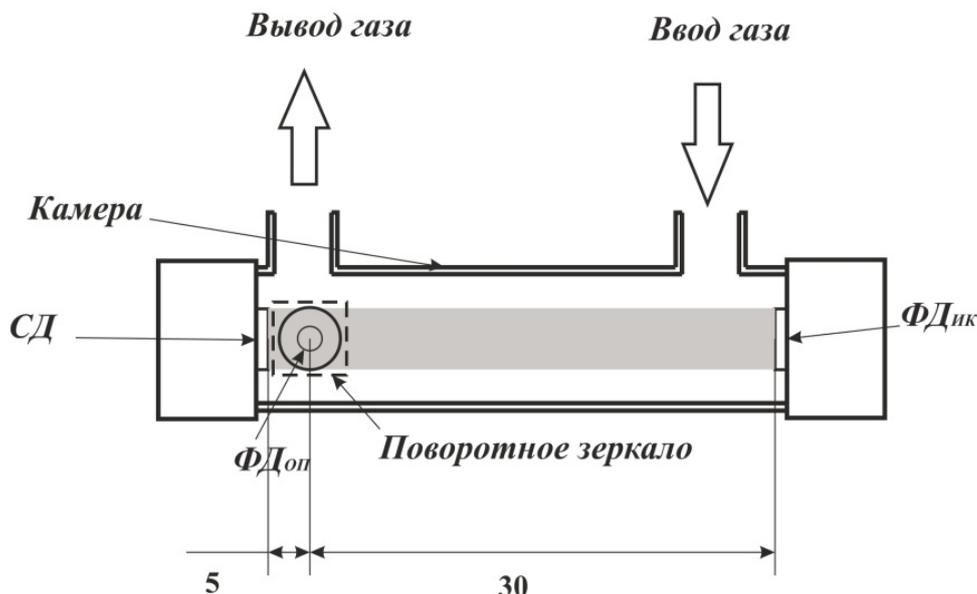


Рисунок 4 – Стальная газовая камера для измерения концентрации углеводородов:  $\Phi D_{оп}$  – фотодиод опорного канала;  $\Phi D_{ик}$  – фотодиод измерительного канала;  $СД$  - светодиод

В таблице 1 приведены результаты измерений суммарной концентрации предельных углеводородов для трех сортов нефти при разной температуре.

Таблица 1 - Результаты измерений концентрации предельных углеводородов нефти ИК измерителем  $C$  и хроматографом  $C_{хр}$

$t, ^\circ\text{C}$	0			10			20			30		
Нефть №	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$U$	0,77	0,83	0,81	1,19	1,38	1,33	1,22	1,43	1,38	1,1	1,22	1,16
$C, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	25,9	40,2	41,0	37,7	28,5	44,8	45,8	41,0	27,6	43,7	44,8	39,4
$C_{хр}, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	21,3	48,8	49,0	45,8	27,5	56,2	58,2	51,1	24,7	52,0	52,2	46,3

Зависимость измеряемого сигнала от суммарной концентрации представлена на рисунке 5. Результат расчетов суммарной концентрации предельных углеводородов нефти по интегральному сечению поглощения молекулы н-гексана на примере одного сорта нефти с указанием пределов относительной погрешности хроматографа  $\pm 23\%$  представлен на рисунке 6. На приведенном графике зависимости присутствует систематическая погрешность, обусловленная тем, что для градуировки прибора взят н-гексан с величиной интегрального сечения поглощения  $1,7 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$  при среднем расчетном сечении для разных сортов нефти  $1,3 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ . Выбор н-гексана обусловлен удобством его использования и стабильностью при колебаниях условий хранения.

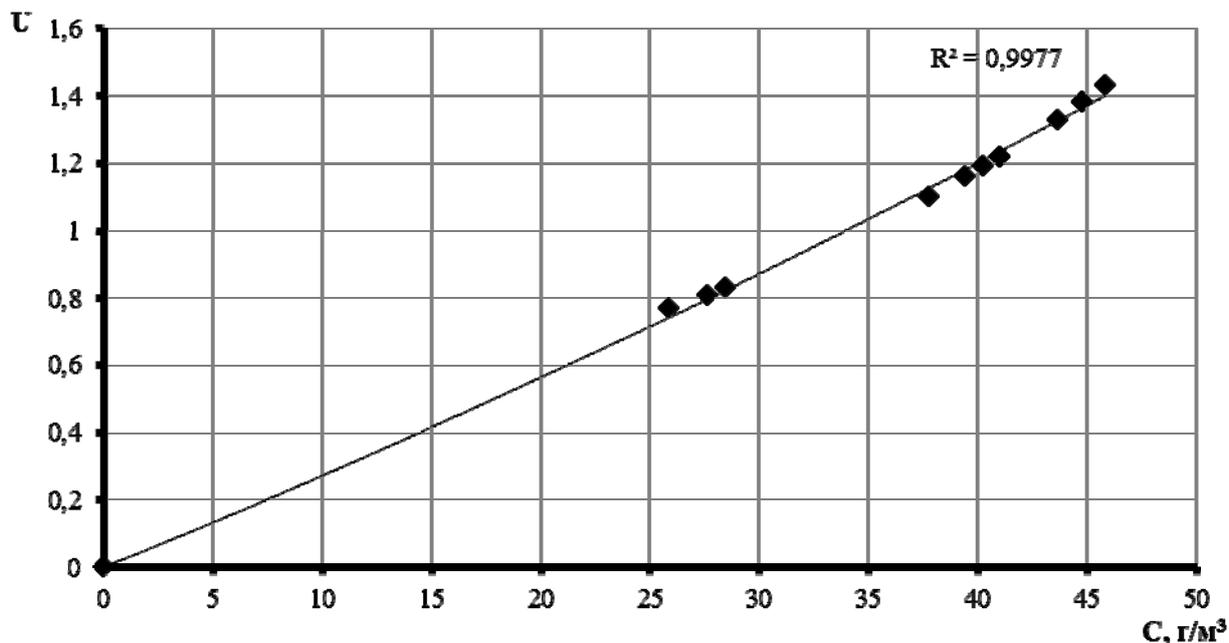


Рисунок 5 - Зависимость измеряемого сигнала от концентрации насыщенных паров предельных углеводородов нефти

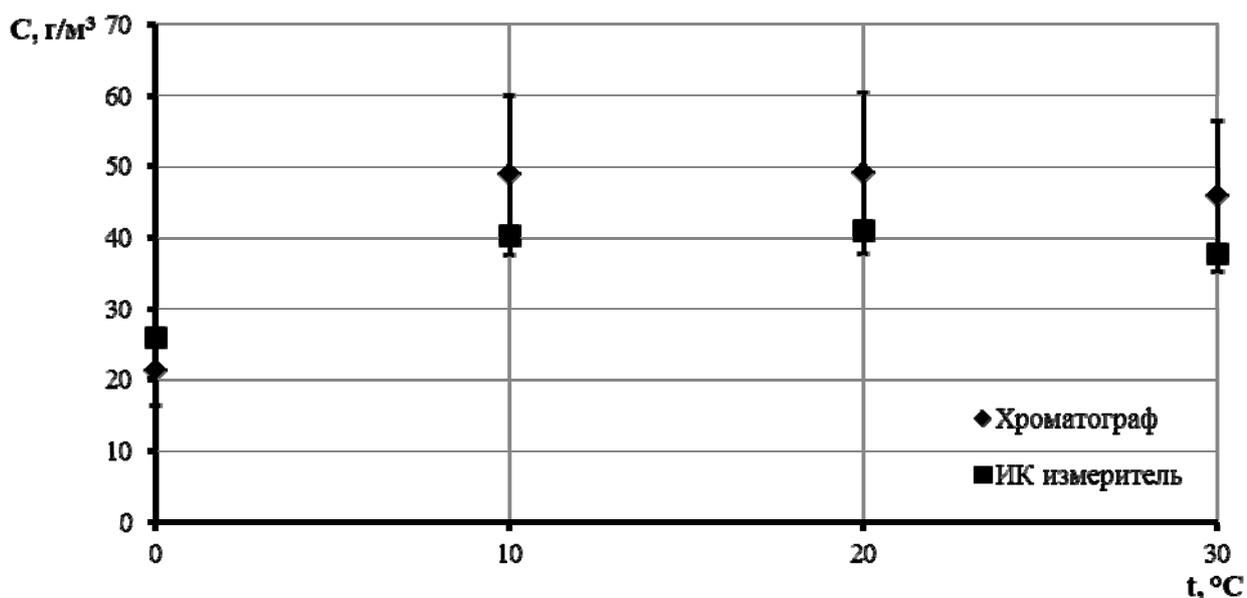


Рисунок 6 - Нефть №1. Зависимость концентрации насыщенных паров нефти от температуры

Выполнен метрологический анализ инфракрасного измерителя для многократных измерений трех сортов нефти при разных температурных условиях. Погрешность многократного измерения с учетом систематической погрешности (11 г/м³) составила 3%. Суммарная погрешность измерений с учетом погрешности методики газохроматографического анализа (23%) составила 25%, что удовлетворяет требованиям, установленным для газоаналитического оборудования в ГОСТе 12.1.005-88. График зависимости средних результатов измерений суммарной концентрации предельных углеводородов нефти при разной температуре на инфракрасном измерителе от

суммарной концентрации, полученной на хроматографе (данные приведены в таблице 1), представлен на рисунке 7.

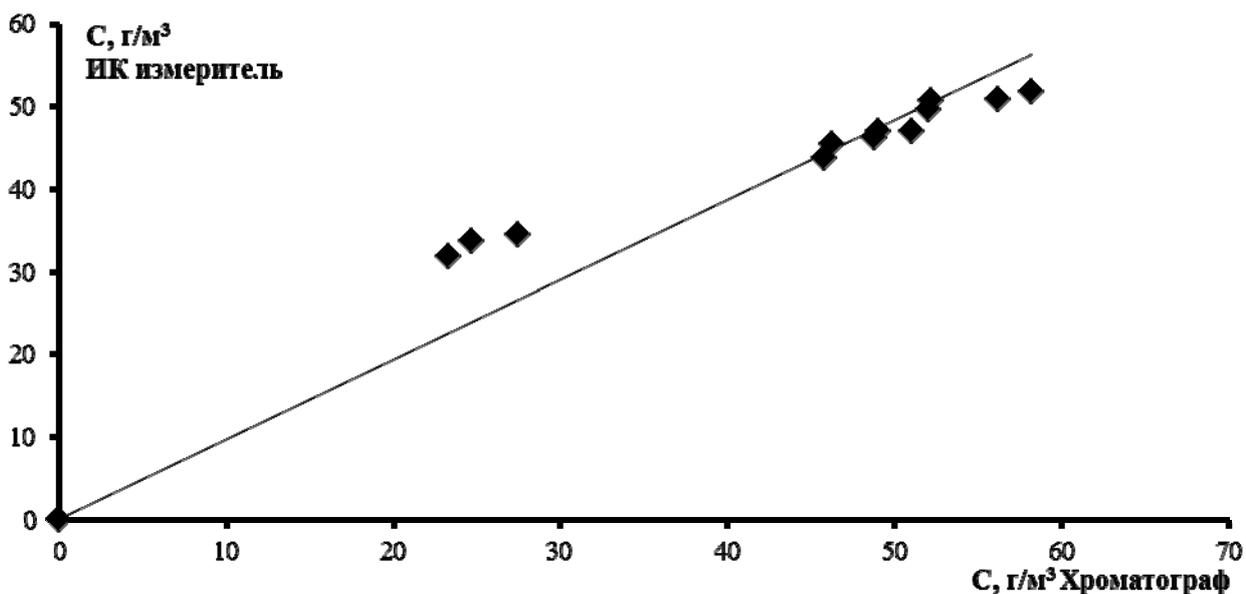


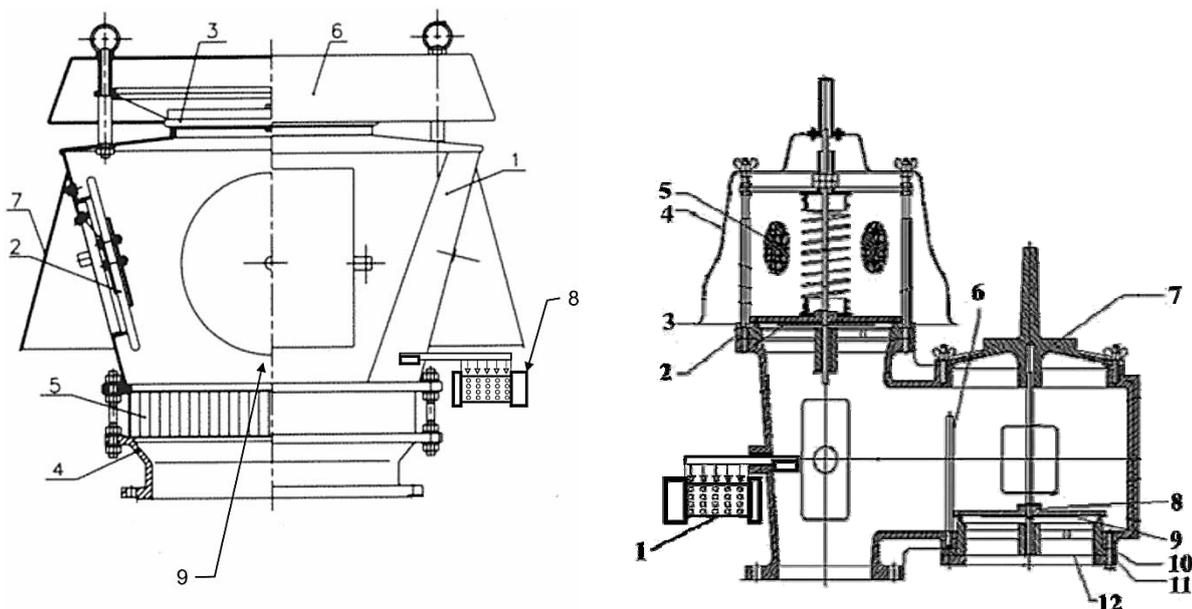
Рисунок 7 – График зависимости результатов измерения суммарной концентрации предельных углеводородов двумя методами

На графике видно, что три точки, соответствующие суммарным концентрациям, измеренным при 0 °С, отклоняются от теоретической прямой. Это вызвано тем, что при указанной температуре приготовление пробы насыщенных паров нефти было затруднено неоднородностью консистенции самой нефти.

Метрологическая оценка погрешности прибора по градуировке по н-гексану и экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов различной нефти при разной температуре позволяют сделать вывод: предложенный метод измерения и градуировка прибора по одному компоненту являются допустимыми для измерения суммарных потерь легких фракций нефти в пределах установленной погрешности 25% и диапазоне концентрации 20...60 г/м<sup>3</sup>.

**В главе 4** предложено практическое применение разработанного ИК измерителя в промышленной среде, где есть необходимость мониторинга выбросов углеводородов. Для решения этой задачи разработан вариант монтирования измерителя на существующей дыхательной арматуре емкостей хранения и транспортировки нефти или нефтепродуктов.

Для выполнения поставленной задачи было предложено монтировать ИК-измеритель в существующую дыхательную арматуру, используемую на нефтяных резервуарах рисунок 8 (а) и танков танкеров рисунок 8 (б).



а

б

Рисунок 8 – Схема расположения ИК измерителя:

а – дыхательный клапан резервуара: 1 – корпус клапана; 2 – тарелка клапана; 3 – тарелка давления; 4 – переходник; 5 – огневой предохранитель; 6 – крышка; 7 – козырек; 8 – ИК измеритель; б – дыхательный клапан танка: 1 – ИК измеритель; 2 – седло тарелки давления; 3 – тарелка; 4 – зонт; 5 – защитные экраны; 6 – диафрагма, вакуум; 7 – корпус; 8 – тарелка вакуума; 9 – диафрагма, давление; 10 – седло тарелки давления вакуума; 11 – защитный экран фланца; 12 – защитный экран, вакуум

Применение инфракрасного измерителя позволит выполнять автоматический непрерывный мониторинг выбросов в реальном времени с целью сокращения экологического и экономического ущерба и обеспечение взрыво- и пожаробезопасности в области рабочей зоны, а также мониторинг эксплуатации инженерно-технических средств по сокращению потерь.

## ВЫВОДЫ

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлен компонентный состав выбросов предельных углеводородов нефти из емкостей хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов. Проанализированы параметры спектров инфракрасного поглощения молекул исследуемых предельных углеводородов.

2. Теоретически и экспериментально доказано, что величина интегрального сечения поглощения молекул предельных углеводородов разных сортов нефти при разной температуре колеблется в незначительных пределах, позволяя таким образом использовать интегральное сечение поглощения одного вещества для оценки интегрального поглощения всей анализируемой смеси.

3. Теоретически и экспериментально обоснована возможность градуировки инфракрасного измерителя суммарной концентрации предельных углеводородов по одному компоненту (н-гексан).

4. Теоретически обоснован выбор рабочего спектрального диапазона инфракрасного измерителя с максимумом поглощения на длине волны  $3,35 \pm 0,05$  мкм ( $2958 \pm 43$  см<sup>-1</sup>).

5. Разработан малогабаритный, простой в обслуживании и эксплуатации экспериментальный образец инфракрасного измерителя для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в газовой среде на выходе дыхательной арматуры емкостей хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов с суммарной погрешностью измерения 25% в диапазоне концентраций от 20 до 60 г/м<sup>3</sup>.

6. Полученные результаты измерений позволяют использовать инфракрасный измеритель в системе мониторинга воздушных выбросов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов для определения суммарной концентрации предельных углеводородов нефти, контроля качества состояния окружающей природной среды, снижения экономических убытков, контроля взрывоопасных концентраций в рабочей зоне, а также мониторинга эксплуатации средств по сокращению потерь за счет испарения.

7. По результатам работы подана заявка на патент на изобретение Инфракрасного детектора для измерения концентрации молекул токсичных газов в воздушном потоке // Заявка на патент РФ на изобретение № 2011147876, G01N21/61 (2009.01) от 24.11.2011.

8. Измерения концентрации выполнены на инфракрасном измерителе и в эко-аналитической лаборатории перевалочной нефтебазы «Шесхарис» ОАО «Черномортранснефть». На основании полученных экспериментальных данных получено положительное заключение, подтверждающее, что для предлагаемого прибора могут быть сформулированы технические требования на опытный образец с учетом соответствующих технических, технологических и эксплуатационных условий во взрывоопасной среде ПНБ «Шесхарис» и других предприятий нефтегазовой отрасли.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### **Журналы из списка ВАК:**

1. Васильев А. О., Шеманин В. Г., Чартий П. В. Детектор для измерения потерь углеводородов при испарении из емкостей хранения нефти и нефтепродуктов // Экологические системы и приборы. 2011. №8. С. 3-7.

2. Васильев А. О., Шеманин В. Г., Чартий П. В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов // Безопасность в техносфере. 2011. №5. С. 3-7.

### **Статьи и доклады:**

1. Васильев А. О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Спектрометр для мониторинга углеводородов в воздухе / /Петербургский журнал электроники №1. 2010. С. 101-111.

2. Andrey O. Vasilyev, Valeriy G. Shemanin, Pavel V. Chartiy " IR detector for hydrocarbons concentration measurement in emissions during petroleum and oil products storage and transportation " in Infrared Sensors, Devices, and Applications; and Single Photon Imaging II, edited by Paul D. LeVan, Ashok K. Sood, Priyalal S. Wijewarnasuriya, Manijeh Razeghi, Jose Luis Pau Vizcaíno, Rengarajan Sudharsanan, Melville P. Ulmer, Tariq Manzur, Proceedings of SPIE Vol. 8155 (SPIE, Bellingham, WA, 2011) 81550T.

3. Васильев, А. О., Хачатуров Ю. Ю., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Инфракрасный детектор для измерения концентрации углеводородов в выбросах при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов // Труды конференции «Лазеры. Измерения. Информация-2011». СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. С. 87-88.

4. Васильев А. О., Хачатуров Ю. Ю., Чартий П.В., Шеманин В. Г. Одноканальный ИК спектрометр для контроля выбросов из дыхательной арматуры нефтяных резервуаров // Труды XVII международной научной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии-2009». Новороссийск: Изд-во Вариант 2009. С. 137-139.

5. Васильев А.О., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Измерение сечения ИК поглощения молекул метана, пропана и гексана // Труды конференции «Лазеры. Измерения. Информация-2010». СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. С. 89-90.

6. Васильев А.О., Хачатуров Ю.Ю. Мониторинг углеводородов в воздухе по интегральным инфракрасным спектрам поглощения // Тезисы докладов 63-й Студенческой научной конференции «Нефть и газ-2009». Москва. Изд-во РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009. С. 70-71.

7. Васильев А. О. Мониторинг углеводородов в воздухе по интегральным инфракрасным спектрам поглощения // Труды XV Всероссийской научной конференции Студентов-физиков и молодых ученых. Волгоград.: Изд-во АСФ России, 2009. С.807-808.

8. Васильев А.О., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Спектрометр ИК поглощения для мониторинга углеводородов в воздухе // Труды конференции

«Лазеры. Измерения. Информация-2009». СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. С. 61-62.

9. Васильев А. О., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Спектрометр ИК поглощения для мониторинга углеводородов в атмосфере // Труды конференции «Лазеры. Измерения. Информация – 2009». СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. С. 170-185.

10. Васильев А. О., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Измерение эффективности сечения поглощения предельных углеводородов // Труды XVII всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. Екатеринбург. Изд-во АСФ России. 2011. С. 303.