

На правах рукописи

ГОЛОВКОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**КОНДЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА
ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Подвезенный В.Н.

Красноярск – 2007

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном
учреждении высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Подвезенный Валерий Никифорович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Кашкин Валентин Борисович кандидат технических наук, доцент Сельский Андрей Анатольевич
Ведущая организация	Федеральное государственное унитарное предприятие «Красмаш завод»

Защита состоится «8» *ноября 2007 г.* в *14* часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.05 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ауд. Г 4-17,

тел. (факс) 8(3912) 43-06-92.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Политехнического института ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».

Автореферат разослан « 5 » октября 2007 г. и выставлен на сайте СФУ
<http://www.sfu-kras.ru>

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор

Е.А. Вейсов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы. Актуальность темы обусловлена необходимостью мониторинга загрязнения воздушной среды парами углеводородов. С этой целью необходимо разрабатывать методы, устройства и технологии, позволяющие определять количество выделяющихся паров углеводородов, поступающих в атмосферу при технологических операциях с нефтепродуктами, снизить уровень выделяющихся загрязнений, а также уровень пожаровзрывоопасности объектов нефтепродуктообеспечения.

Объектом исследований являются элементы системы мониторинга загрязнений воздушной среды, **предметом исследований** – методы определения количества загрязнений воздушной среды и методы их сокращения.

Цель работы. Разработка метода и устройства определения количества парогазовой смеси при приеме и хранении нефтепродуктов и технологии его реализации, позволяющего коррелировать значения эмпирических коэффициентов известных расчетных методик для определения количества образующейся парогазовой смеси.

Основные задачи.

1. Произвести анализ известных методов определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов при их приеме и хранении.
2. Разработать метод определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов при их приеме и хранении.
3. Разработать методику и техническое оснащение для использования метода.
4. Провести исследования интенсивности испарения топлива с поверхности раздела фаз в зависимости от давления и температуры в реальном времени.
5. Провести исследование интенсивности конденсации парогазовой смеси, содержащей пары нефтепродуктов, пары атмосферной влаги и воздух, на оребренной поверхности.
6. Произвести натурные испытания разработанного метода, методики и устройства для реализации метода.

Научная новизна.

1. Предложен конденсационный метод измерения количества парогазовой смеси, образующейся при приеме и хранении нефтепродуктов в резервуаре, позволяющий осуществлять мониторинг загрязнений воздушной среды парами углеводородов, а также позволяющий снизить уровень выделяющихся загрязнений и уровень пожаровзрывоопасности объектов нефтепродуктообеспечения.
2. Получены зависимости интенсивности испарения топлива с поверхности раздела фаз в зависимости от давления и температуры в реальном времени.

3. Получены зависимости интенсивности конденсации парогазовой смеси, содержащей пары нефтепродуктов, пары атмосферной влаги и воздух, в реальном времени.

Положения, выносимые на защиту.

1. Конденсационный метод определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов при их приеме и хранении.

2. Устройство, предназначенное для определения количества парогазовой смеси.

3. Методика проведения натурных испытаний конденсации парогазовой смеси, содержащей пары нефтепродуктов, пары атмосферной влаги и воздух, в реальном времени.

Методология, методы и фактический материал. При исследованиях использовались: теория тепломассообмена при испарении и конденсации, физико-химические методы исследования топлив, метод наименьших квадратов в регрессионной обработке результатов эксперимента.

Для решения задач разработки метода определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов использовался следующий материал:

- данные исследования интенсивности испарения нефтепродуктов;
- статистические данные колебаний температуры, давления и влажности окружающей среды.

Эти данные были получены с помощью приборов и устройств экспериментальным путем, что позволило в диссертационной работе спрогнозировать состав парогазовой смеси, направляемой на конденсацию.

Практическая значимость и востребованность результатов.

Прикладным результатом исследований является решение задач уменьшения выбросов в атмосферу паров углеводородов, снижение пожаровзрывоопасности автозаправочных станций, сохранение качественного состава нефтепродуктов при приеме и хранении за счет применения устройства, работа которого основана на предложенном методе. Эти задачи являются актуальными, поскольку защита окружающей среды от воздействия техногенных факторов, является одним из важнейших направлений инновационного развития страны.

Работа выполнялась в рамках инновационного проекта Красноярского государственного технического университета «Создание установки для рекуперации паров нефтепродуктов на автозаправочных станциях селитебных зон».

Достоверность полученных результатов исследования подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных, применением сертифицированных поверенных приборов и оборудования, а также представленной апробацией в реферируемом издании.

Апробация. Результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на международных и межрегиональных конференциях:

- Международная специализированная выставка-конференция «Весь нефтегазовый комплекс» (Москва, РГУ нефти и газа им. Губкина, 2005);

- Межрегиональная научно-практическая конференция «Инновационное развитие регионов Сибири» (Красноярск, КГТУ, 2006);
- IV Международная научно-практическая конференция «Новые топлива с присадками» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Научный Центр РАН, 2006);
- Международная научно-техническая конференция «Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин» (Тюмень, ТГНУ, 2006, 2007).

Публикации и личный вклад. По теме диссертации опубликовано 7 работ в сборниках статей и трудах международных научно-практических конференций, в том числе 1 патент РФ № 2283160 «Способ конденсации смеси паров» от 10 сентября 2006 г., приравняемый к публикации, рекомендованной ВАК.

Личный вклад автора состоит: в проведении теоретических и практических исследований, которые определяют основу диссертации и новизну полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 100 страницах машинописного текста, содержит 8 таблиц и иллюстрирована 32 рисунками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и задачи исследований. Определена научная новизна полученных результатов исследований, их практическая значимость.

В **первой главе** приведена классификация потерь нефтепродуктов от испарения при различных технологических операциях, рассмотрен процесс тепломассообмена нефтепродуктов при испарении, дан анализ существующих расчетных методик определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов при приеме и хранении, проведен анализ методов определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов, дан анализ теплообменных поверхностей.

Рассматривая объекты нефтепродуктообеспечения как источники загрязнения окружающей среды парами углеводородов, потери нефтепродуктов от испарения при различных технологических операциях на данных объектах обуславливают количество паров углеводородов, загрязняющих воздушный бассейн.

Удельные доли потерь по видам в % от общего количества потерь от испарения нефтепродуктов из резервуаров составляют (см. таблицу 1).

Операции приема и отпуски нефтепродукта сопровождаются большими дыханиями, операция хранения – малыми.

Количество паров углеводородов, загрязняющих окружающую среду, вследствие потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров при больших дыханиях приведено в таблице 2.

Таблица 1 – Потери парогазовой смеси нефтепродуктов от испарения из резервуаров

Большие дыхания	Малые дыхания	Потери от насыщения	Потери от дополнительного выдоха	Потери от вентиляции
70 %	15 – 20 %	5 %	5 %	0 – 5 %

Таблица 2 – Зависимость годовых потерь бензина (т) от количества сливо-наливных операций

Вместимость резервуара, м ³	Количество сливо-наливных операций в год, шт		
	12	48	96
400	2,9/4,8	9,4/12,4	15,9/22,6
1000	6,7/11,5	19,4/29,4	36,4/58,4
2000	12,6/22,2	35,5/55,6	66,0/100,3
3000	20,5/34,8	57,9/88,3	107,0/159,7
5000	28,4/50,4	80,8/126,2	150,6/227,2

Примечание: числитель – средняя климатическая зона; знаменатель – южная климатическая зона.

Количество паров углеводородов, загрязняющих окружающую среду, вследствие потерь нефтепродуктов от испарения из резервуара вместимостью 5000 м³ при малых дыханиях приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Потери бензина в резервуаре емкостью 5000 м³ от малых дыханий

Время года	Потери бензина, кг	
	за одно дыхание	за весь период
Зима	3,0	271,8
Весна – осень	24,6	4500,0
Лето	87,3	8020,0
В среднем за год	35,0	12792,0

Изложена теория тепломассообмена при испарении. Скорость изотермического испарения [кг/(с·м²)] при однонаправленной диффузии пара в расположенный над поверхностью жидкости неподвижный слой бинарной парогазовой смеси толщиной δ (в м.) может быть найдена по формуле Стефана:

$$j_n = (D/R_n \cdot T) \cdot (p/\delta) \ln[(p - p_{n, \text{сп}})/(p - p_n)]^{-1}, \quad (1)$$

где D – коэффициент взаимной диффузии, м²/с;
 R_n – газовая постоянная пара, Дж/кг (кг·К) или м²/(с²·К);

T – температура смеси, К;

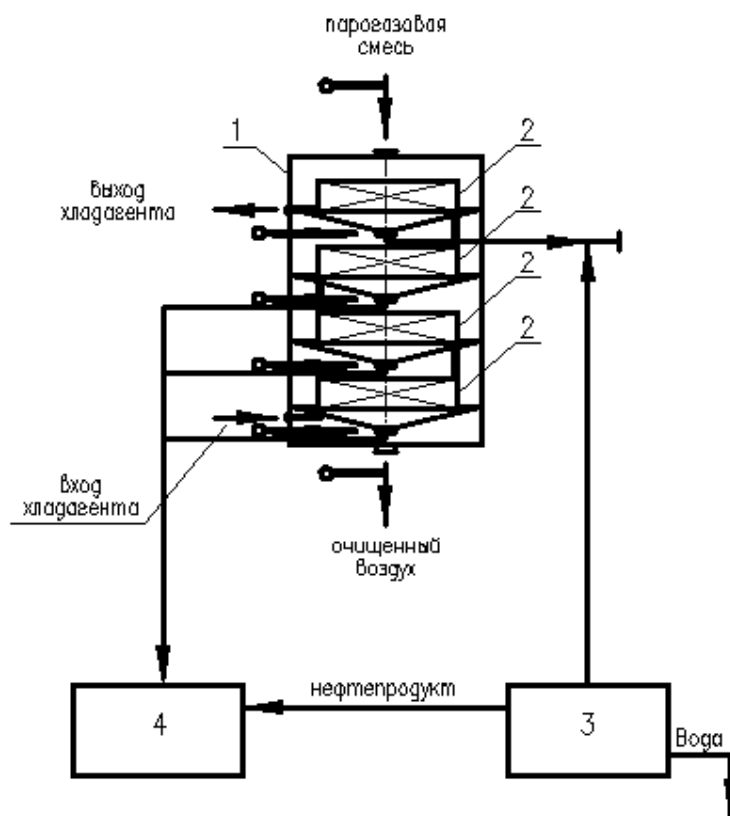
p – давление парогазовой смеси, Па;

$p_{n, \text{гр}}$ и p_n – парциальное давление пара у поверхности раздела и на наружной границе слоя смеси, Па.

Нами произведен анализ известных расчетных методик определения количества парогазовой смеси при приеме и хранении нефтепродуктов, а также при заправке автотранспортной техники, в которых нами выявлен ряд недостатков. Данные методики являются несовершенными, требующими при расчетах некоторых допущений, а также использования экспериментальных данных, что увеличивает трудоемкость методик.

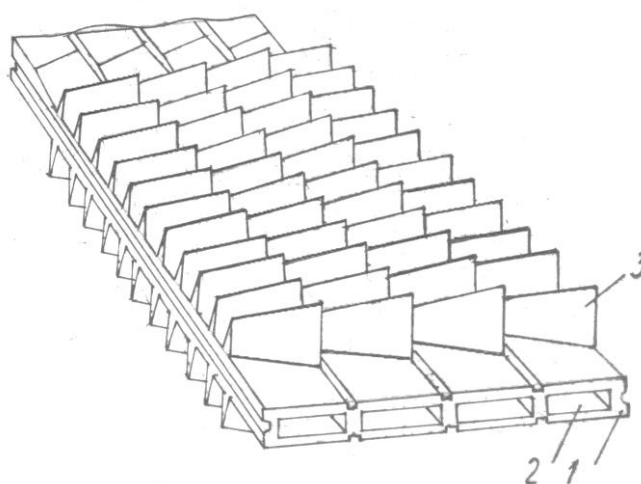
В работе дана оценка методов определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов и устройств для их реализации. На основании проведенного анализа существующих методов нами предложен менее трудоемкий конденсационный метод определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов, образующейся при их приеме и хранении, отличающийся тем, что, проводят постадийное переохлаждение и конденсацию парогазовой смеси, содержащей пары нефтепродуктов атмосферную влагу и воздух, в многосекционном теплообменнике. Парогазовую смесь, содержащую пары воды и нефтепродуктов, направляют в многосекционный теплообменник 1, согласно рисунку 1, перпендикулярно плоскости движения хладагента в конденсаторах 2. Парогазовая смесь переохлаждается и конденсируется посредством контакта с поверхностями многоканальных лепестковых конденсаторов 2, причем переохлаждение в первой секции ведут до температуры ниже температуры плавления воды, но не более, чем на 3 градуса, а в последующих секциях – ниже температуры плавления фракций нефтепродуктов, но не более, чем на 9 градусов. Данный температурный режим выбран с целью предотвращения обледенения поверхностей конденсаторов 2 теплообменника 1. Температуру переохлаждения подаваемой парогазовой смеси контролируют при помощи средовых датчиков термосопротивления, установленных в каждой секции теплообменника. В результате из первой секции выводят конденсат, содержащий воду и фракции нефтепродуктов, который направляют на дальнейшее расслоение в разделитель 3, откуда очищенные от воды фракции нефтепродуктов попадают в сборник 4 товарных нефтепродуктов. В сборнике 4 происходит смешение упомянутых фракций с фракциями сконденсировавшихся нефтепродуктов, отбираемых из последующих секций теплообменника. На выходе из многосекционного теплообменника получают воздух, очищенный от паров воды и нефтепродуктов. Определение количества сконденсированного нефтепродукта в сборнике 4 осуществляется с помощью расходомера с относительной погрешностью измерения массы $\pm 0,5\%$.

Высокая эффективность метода (до 98 %) достигается за счет применения в качестве конденсаторов теплообменников с высокой удельной поверхностью (рисунок 2).



1 – многосекционный теплообменник; 2 – многоканальные лепестковые конденсаторы; 3 – разделитель; 4 – сборник

Рисунок 1– Схема устройства для реализации метода конденсации смеси паров



1 – теплообменная секция; 2 – канал ,3 – лепестки

Рисунок 2 – Теплообменник

Основными достоинствами выбранного теплообменника по сравнению с аналогами являются:

- однородность материала плоской трубы и материала оребрения, что обуславливает отсутствие термосопротивления на стыке труба – ребро;
- высокая степень разветвленности поверхности и наличие каналов внутри плоской трубы, интенсифицирующих теплообмен.

Во **второй главе** нами предложено техническое оформление метода, с этой целью произведен тепловой расчет оребренных поверхностей. Задачей теплового расчета оребренных поверхностей является определение связи передаваемого теплового потока с температурами теплоносителей и стенки, коэффициентами теплоотдачи, геометрическими размерами оребрения и теплопроводности. Данные зависимости описаны такими авторами как С.С. Кутателадзе, В.П. Исаченко, А.А. Жукаускас, В.В. Бурков, И.И. Дьяков, Л.И. Розейн, И.Н. Дулькин, А.М. Кутепов и др.

Наибольшее распространение получил метод теплового расчета оребренных поверхностей по одномерной модели, который исходит из системы уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную стенку.

Основные допущения: температуры теплоносителей $t_{ж}$ и $t_{пг}$, температура плоской стенки $t_{ст}$ – однородны; температуры со стороны оребрения, под ребрами и между ними одинаковы и равны t_0 (рисунок 3).

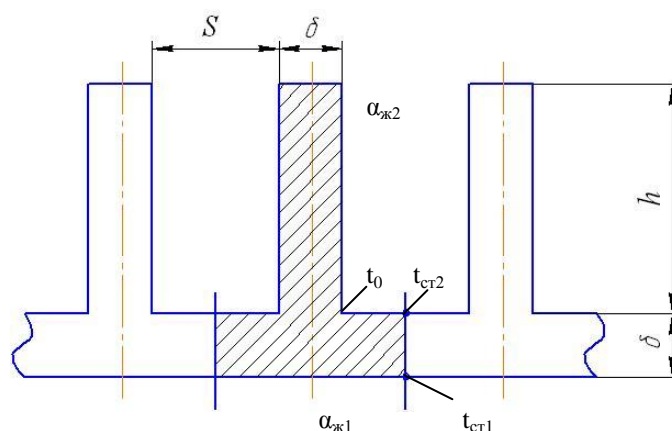


Рисунок 3 – Теплообмен через оребренную стенку

При заданных температурах на внешних поверхностях и внутри стенки, геометрических параметров оребренной стенки и соответствующих коэффициентах теплопроводности теплопередача от парогазовой смеси через оребренную стенку холодной жидкости описывается системой уравнений:

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot F_c \cdot (t_{жс} - t_{ст1}); \quad (2)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta_c} \cdot F_c \cdot (t_{ст1} - t_0); \quad (3)$$

$$Q_3 = \alpha_{np} \cdot F_p \cdot (t_0 - t_{ж2}); \quad (4)$$

где α_l – коэффициент теплоотдачи с неоребреной стороны;
 F_c – площадь поверхности с неоребреной стороны;
 $t_{жс}$ – температура теплоносителя;
 t_c – температура стенки;
 λ – коэффициент теплопередачи стенки;
 δ_c – толщина стенки;
 α_{np} – приведенный коэффициент теплоотдачи;
 F – площадь поверхности с оребренной стороны;
 t_{ng} – температура парогазовой смеси;
 t_0 – температура в основании ребра.

Уравнения (2 – 4) описывают теплоотдачу на гладкой поверхности, теплопроводность внутри стенки до оребрения и теплоотдачу со стороны оребрения соответственно.

Площадь поверхности со стороны оребрения рассчитывается по формуле:

$$F = F_p + F_n, \quad (5)$$

где F_p – площадь ребер;

F_n – площадь неоребреной части со стороны оребрения;

Приведенный коэффициент теплоотдачи в зависимости от площади оребренной поверхности, эффективности ребра определяется по формуле:

$$\alpha_{np} = \frac{\alpha_p \cdot F_p \cdot \eta + \alpha_c \cdot F_n}{F}, \quad (6)$$

где α_p – коэффициент теплоотдачи ребра;

η – эффективность ребра;

α_c – коэффициент теплоотдачи неоребреной части стенки со стороны оребрения.

Под эффективностью ребра η понимают отношение отводимого им теплового потока к тому тепловому потоку, который отдало бы такое же ребро с бесконечно большой теплопроводностью и постоянной температурой всей поверхности, равной температуре основания ϑ_0 :

$$\eta = \frac{\int_l \alpha \vartheta dl}{\vartheta_0 \int_l \alpha dl}, \quad (7)$$

где l – расстояние вдоль контура профиля ребра.

Теплоотдача потока при движении теплоносителя в канале плоского алюминиевого теплообменника с гладкими прямолинейными стенками для

ламинарного и турбулентного режимов определяется по следующим уравнениям:

$$Nu = 1,86 Re^{0,33} \left(\frac{l}{d_3} \right)^{-0,33} \quad (\text{при } Re < 2100), \quad (8)$$

где $\left(\frac{l}{d_3} \right)$ – отношение геометрических параметров, характеризующее

геометрию канала;

Re – параметр Рейнольдса.

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} \varepsilon_L \quad (\text{при } Re > 10^4), \quad (9)$$

где Pr – параметр Прандтля;

ε_L – коэффициент, учитывающий влияние на теплоотдачу длины канала.

Определение коэффициента теплопередачи по скорости теплоносителя и геометрическим параметрам поверхностей с лепестковыми ребрами, имеющими различный наклон, осуществляется по формулам:

- для переходного режима течения ($Re_{кр1} \leq Re \leq Re_{кр2}$)

$$k = \frac{0,043 \omega^{-3,7} \lambda}{(\gamma \beta \nu)^{1,07} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{-0,1}} \cdot d_3^{1,07} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{-0,1} (\gamma \nu_L)^{1,07} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{-0,1} \cdot \nu_W^{0,15} \cdot \eta_o, \quad (10)$$

- для турбулентного режима течения

$$k = \frac{0,262 \lambda d_3^{0,615} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{0,04} \omega^{0,4-1} \omega^{-2,6}}{\left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{-0,4} (\gamma \beta \nu)^{0,615} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{0,04} \omega^{0,4}} \cdot (\gamma \nu_L)^{0,615} \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{0,04} \omega^{0,4} \cdot \nu_W^{0,15} \cdot \eta_o, \quad (11)$$

где ω – объемный расход теплоносителя, м³/ч;

λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м · К);

d_3 – эквивалентный диаметр канала, м;

l_1 – длина лепестка, м;

γ – плотность теплоносителя, кг/м³;

ν_L – средняя скорость газов перед фронтом сердцевин, м/с;

v_w – скорость жидкости в каналах, м/с;
 η_o – КПД поверхности охлаждения;
 β – коэффициент живого сечения.

$$\text{Re}_{kp1} = 1,05 \cdot 10^3 \cdot (l_1 / d_3)^{0,28}, \quad (12)$$

$$\text{Re}_{kp2} = 10^3 \cdot (l_1 / d_3)^{1,35}. \quad (13)$$

Площадь теплообмена необходимая для конденсации нефтепродуктов на оребренной поверхности рассчитывается по уравнениям (2, 4). Тепловые потоки Q_1 , Q_3 можно найти из уравнений:

$$Q_1 = m_{жс} \cdot C_{жс} \cdot (t_{жс} - t_c); \quad (14)$$

$$Q_3 = m_{нз} \cdot C_{нз} \cdot (t_{нз} - t_c); \quad (15)$$

где $m_{жс}$, $m_{нз}$ – массы фреона, и парогазовой смеси нефтепродукта соответственно;

$C_{жс}$, $C_{нз}$ – теплоемкость фреона и парогазовой смеси нефтепродукта соответственно.

Приравняв правые части уравнений (2, 4) и (14, 15), получим уравнения для расчета площади теплообмена оребренной и неоребренной частей теплообменника:

$$F_c = \frac{m_{жс} \cdot C_{жс}}{\alpha_1}, \quad (16)$$

$$F_p = \frac{m_{нз} \cdot C_{нз}}{\alpha_{np}}. \quad (17)$$

Тогда общая площадь теплообмена будет определяться по следующему уравнению:

$$F_o = F_c + F_p + F_m, \quad (18)$$

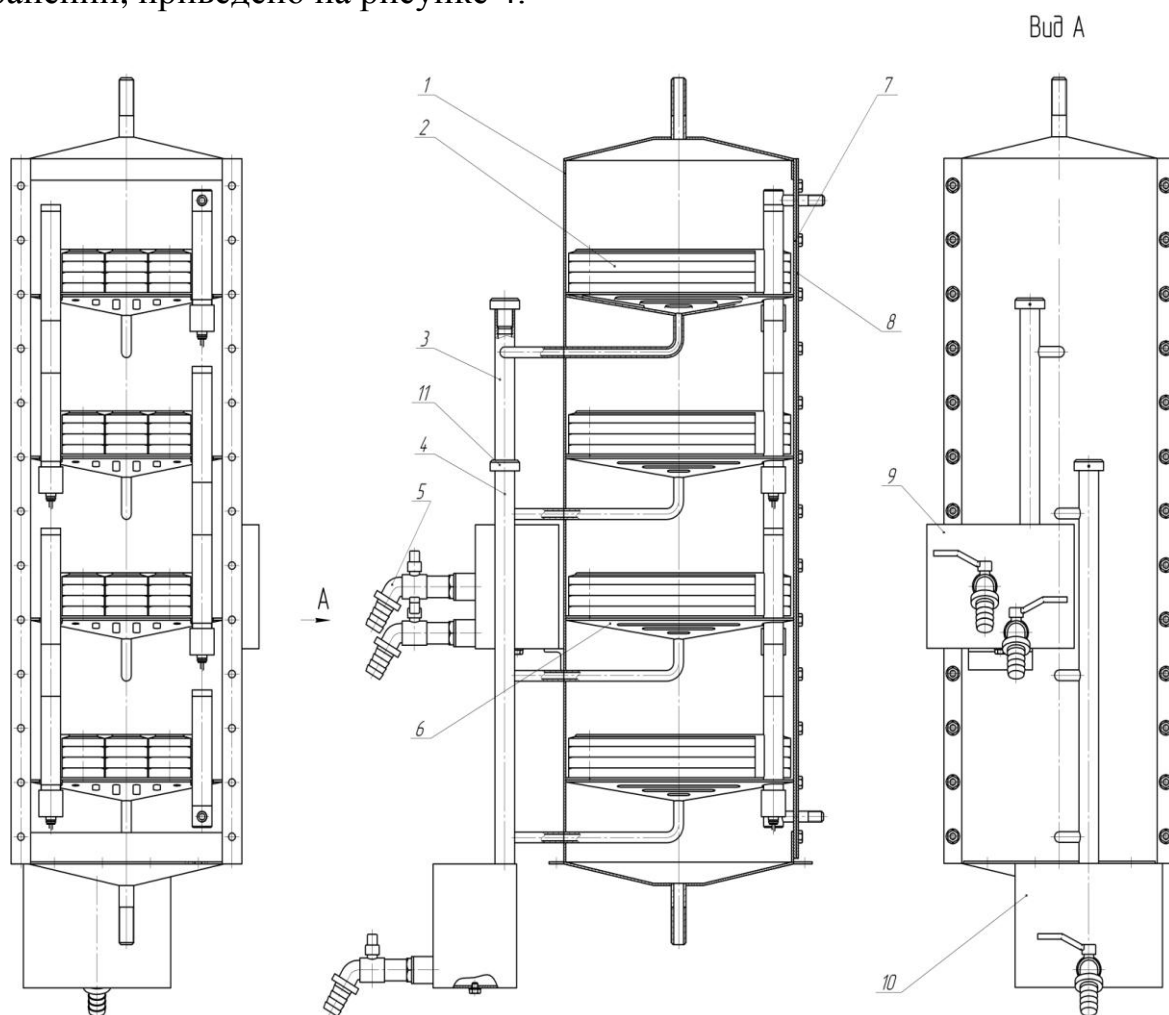
где F_o – общая площадь теплообмена;

F_c – площадь не оребренной части теплообменника;

F_p – площадь оребренной части теплообменника;

F_m – площадь торцевой части теплообменника.

Техническое оформление конденсационного метода определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов, образующейся при приеме и хранении, приведено на рисунке 4.



1 – корпус; 2 – конденсатор; 3, 4 – трубопроводы для отвода конденсата; 5 – кран шаровый; 6 – тарелка; 7 – прокладка; 8 – крышка; 9 – разделитель; 10 – сборник; 11 – пробка

Рисунок 4 – Установка для определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов

Установка представляет собой корпус 1 с размещенными внутри конденсатором 2 и тарелками для сбора конденсата 6, соединенными с разделителем 9 и сборником 10 трубопроводами для отвода конденсата 3, 4. Разделитель 9 и сборник 10 оборудованы шаровыми кранами 5 для слива конденсата и воды. Верхняя часть трубопроводов 3, 4 для отвода конденсата заглушена пробками 11. Корпус 1 герметично закрывается крышкой 8 с прокладкой 7 из маслобензостойкой резины или паронита с помощью болтового соединения. Конденсатор 2 состоит из четырех алюминиевых змеевиковых плоских многоканальных лепестковых элементов охлаждения, соединенных между собой трубками. Фреон в конденсатор 2 подается в

вертикальной плоскости противотоком поступающей в установку парогазовой смеси с целью интенсификации теплообмена. Установка условно разделена на секции. Под секцией понимается часть пространства установки, с расположенным в ней элементом охлаждения, на поверхности которого происходит конденсация части парогазовой смеси, и тарелкой для сбора конденсата.

Определение количества конденсата парогазовой смеси, находящейся в сборнике 10, осуществляется путем взвешивания или пропусканием конденсата через датчик расхода с относительной погрешностью измерения массы $\pm 0,5\%$.

В **третьей главе** приведены результаты исследований интенсивности испарения нефтепродуктов с поверхности раздела сред в зависимости от давления и температуры с целью уточнения интенсивности испарения нефтепродуктов, а также качественного состава нефтепродуктов обедненных низкокипящими компонентами, вследствие их испарения.

Для этих целей нами создана лабораторная установка и проведены исследования. Предметом исследований нами выбран бензин марки А-92 как массово используемый вид моторного топлива.

Результаты проведенных нами исследований интенсивности испарения бензина в зависимости от давления и температуры приведены в виде графиков на рисунке 5.

Анализируя графики на рисунке 5 видно, что изменение интенсивности испарения топлива во времени имеет экстремальный характер. Это объясняется тем, что в первоначальный отрезок времени из топлива испаряются компоненты низкокипящей фракции, содержание которых в последующие отрезки времени в жидком топливе резко сокращается.

Пересечение кривых на графике (рисунок 5) обусловлено суточными колебаниями атмосферного давления, влияющего на интенсивность испарения бензина.

Изменение состава топлива А-92 дополнительно подтверждается испытаниями, проведенными на установке по определению теплоты испарения топлив (рисунок 6).

Повышение температуры кипения топлив свидетельствует об изменении их качества, поскольку увеличивается энергетика испарения топлив в двигателе.

Экспериментальные зависимости интенсивности испарения топлива А-92, полученные при различных температурах характеризуются высокой сходимостью результатов. Коэффициенты корреляции для графиков на рисунке 5 больше 0,95, на рисунке 6 – 0,99. Стандартные отклонения s для зависимостей, приведенных на рисунке 5, составляют $\pm (0,73 \div 0,98)$, стандартные отклонения среднего арифметического s_m составляют $\pm (0,3 \div 0,4)$ и t -значения распределения Стьюдента $\pm (0,8 \div 1,0)$. Стандартные отклонения s для зависимостей, приведенных на рисунке 6, составляют $\pm (0,25 \div 0,4)$, стандартные отклонения среднего арифметического s_m составляют $\pm (0,1 \div 0,16)$ и t -значения распределения Стьюдента $\pm (0,25 \div 0,4)$.

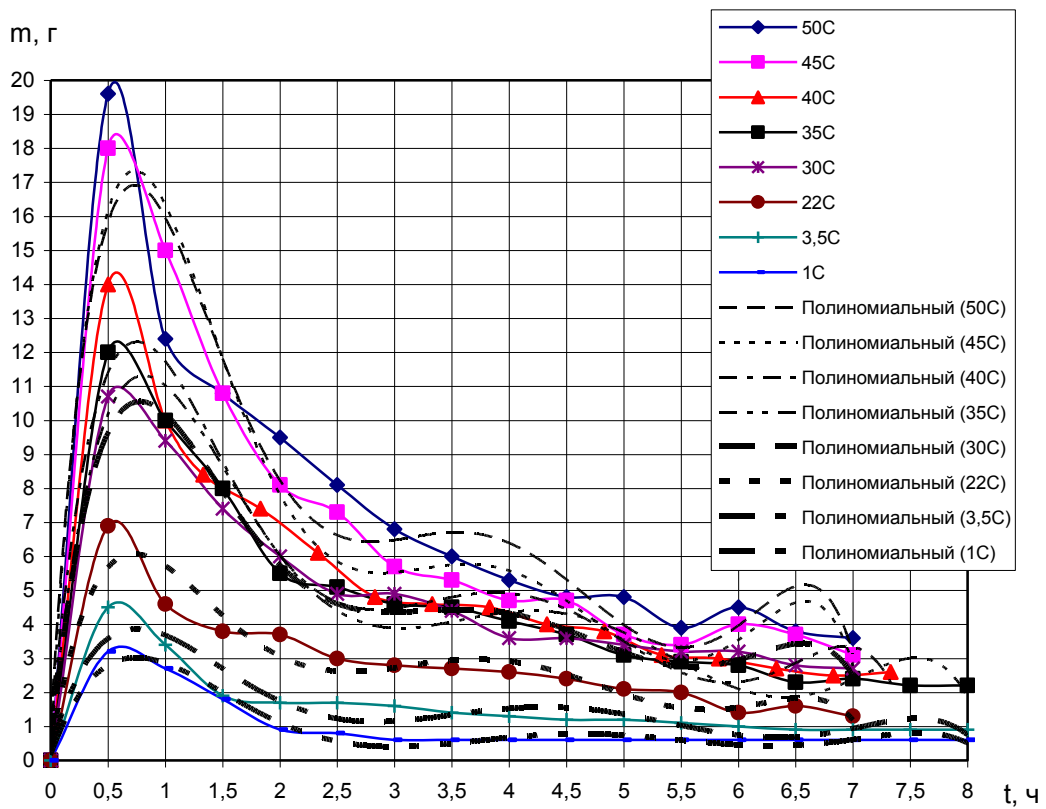


Рисунок 5 – График зависимостей изменения массы испарившегося топлива марки А-92 от времени при различных температурах

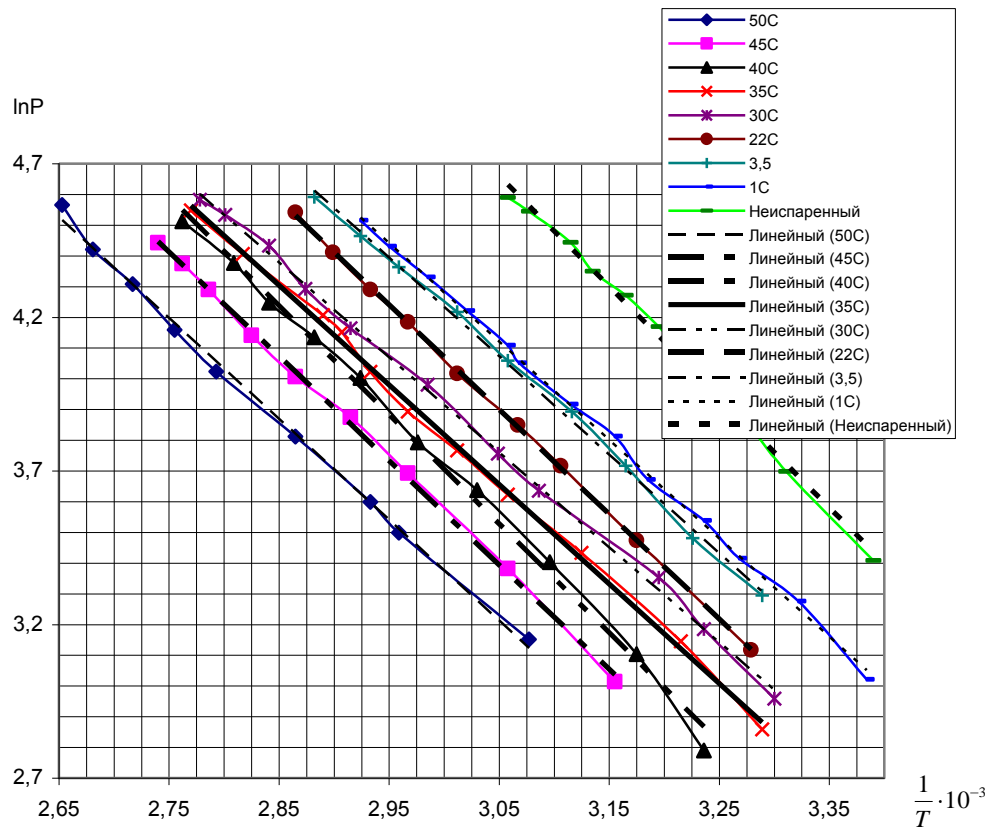


Рисунок 6 – График зависимостей $\ln P$ от $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3}$ для бензина А-92

С целью установления состава парогазовой смеси, образующейся вследствие испарения бензина А-92 при его сливе из автоцистерны в резервуар на автозаправочной станции, нами было проведено хроматографическое исследование проб бензина А-92. Хроматограммы бензина до и после слива из автоцистерны в резервуар приведены на рисунке 7 и 8 соответственно.

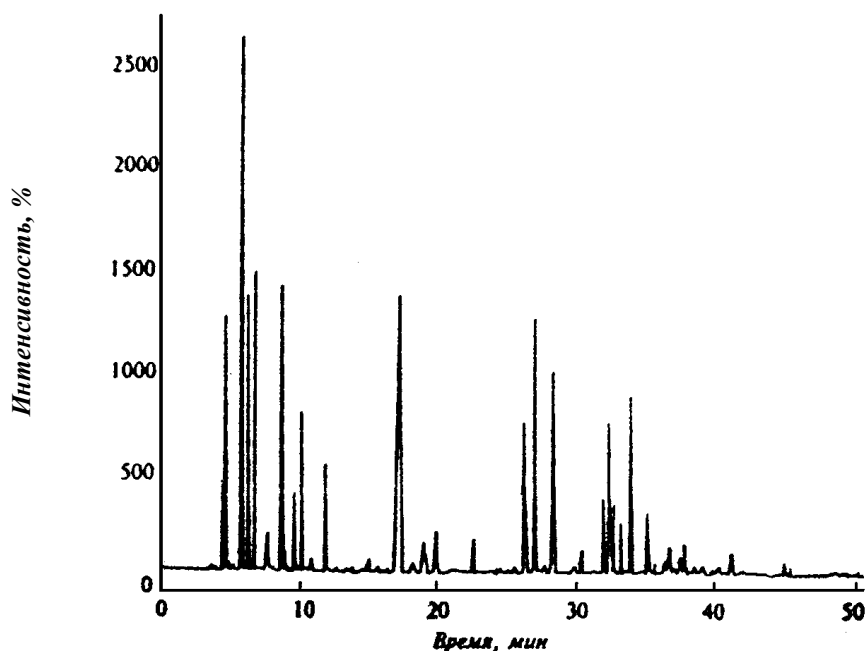


Рисунок 7 – Хроматограмма бензина А-92 до испарения легкой фракции

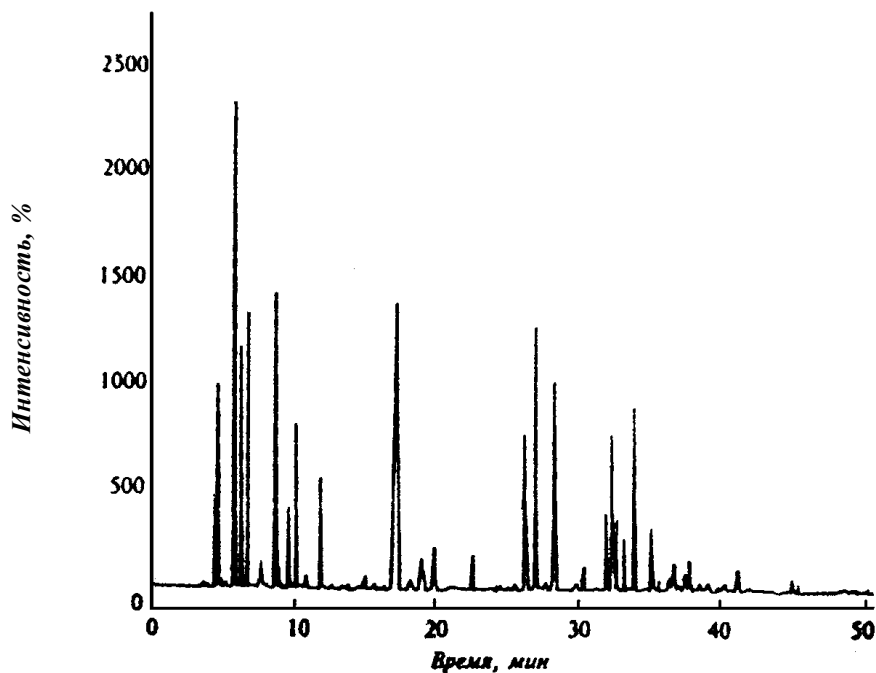


Рисунок 8 – Хроматограмма бензина А-92 после испарения легкой фракции

Согласно хроматограмме, приведенной на рисунке 7, процентное содержание компонентов бензина с температурой кипения от минус 0,5 °С до плюс 36 °С от 2-ой до 6-ой хроматографической группы (от n-бутана до n-пентана) составляет 37,3 % от общего состава и содержание 6 – 9 хроматографической группы (между n-пентаном и n-гексаном) с температурой кипения от плюс 36 °С до плюс 68 °С составляет 14 % от общего состава.

Вследствие частичного испарения легкой фракции бензина А-92 при его сливе из автоцистерны в резервуар содержание компонентов бензина 2 – 9 хроматографической группы согласно хроматограмме, приведенной на рисунке 8, изменяется на 0,3 %.

Снижение количества компонентов бензина с содержанием углерода C_4 – C_6 сопровождается снижением октанового числа бензина, т. к. октановый коэффициент 2 – 9 хроматографических групп значительно выше, по сравнению с другими компонентами топлива.

С целью уточнения эффективности метода, рабочих параметров установки и исследования интенсивности процесса конденсации нами проведены натурные испытания. Результаты испытаний при выходе установки на режим приведены на рисунках 9, 10. Результаты испытаний установки в рабочем режиме на рисунках 11, 12.

Для исследования интенсивности процесса конденсации парогазовой смеси нефтепродукта нами выбрано топливо марки А-92, содержащее значительное количество низкокипящей фракции по сравнению с А-80 и ДТ, и выделяющейся в процессе слива топлива в резервуар.

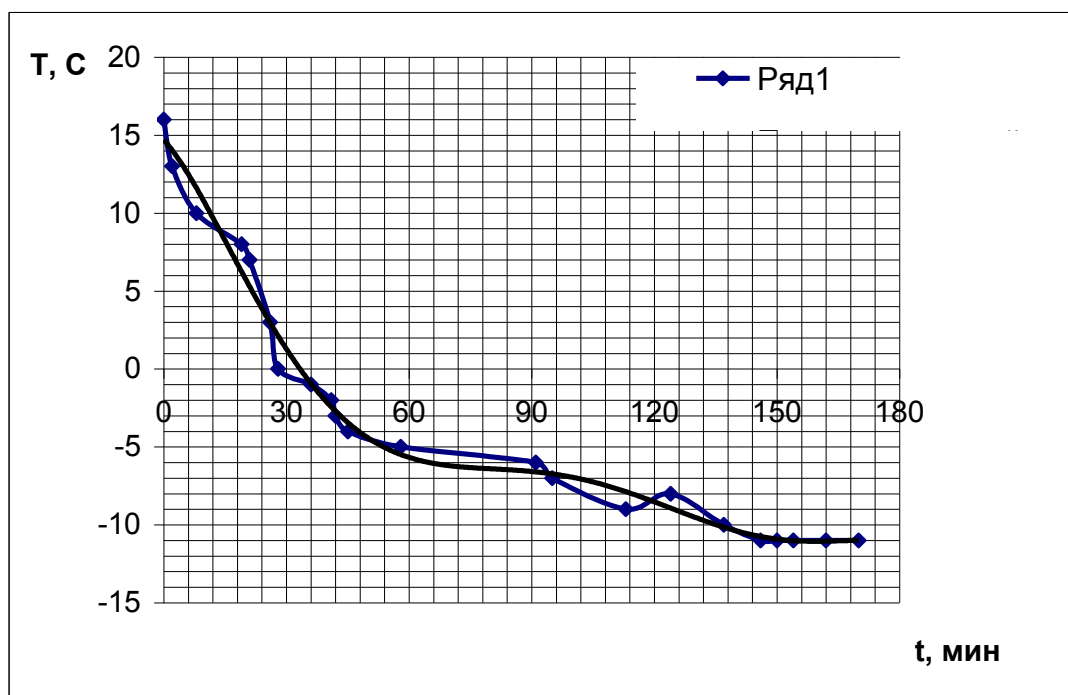


Рисунок 9 – Скорость охлаждения газового пространства установки

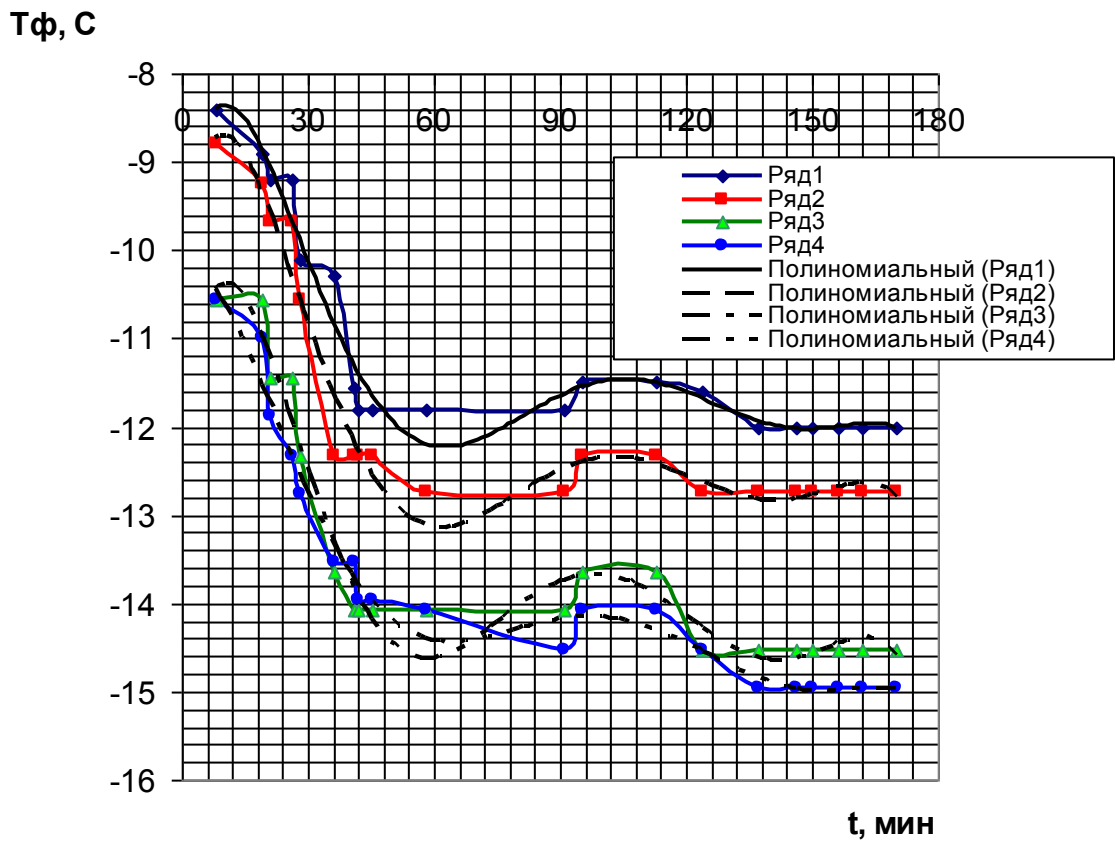


Рисунок 10 - Скорость выхода установки на режим

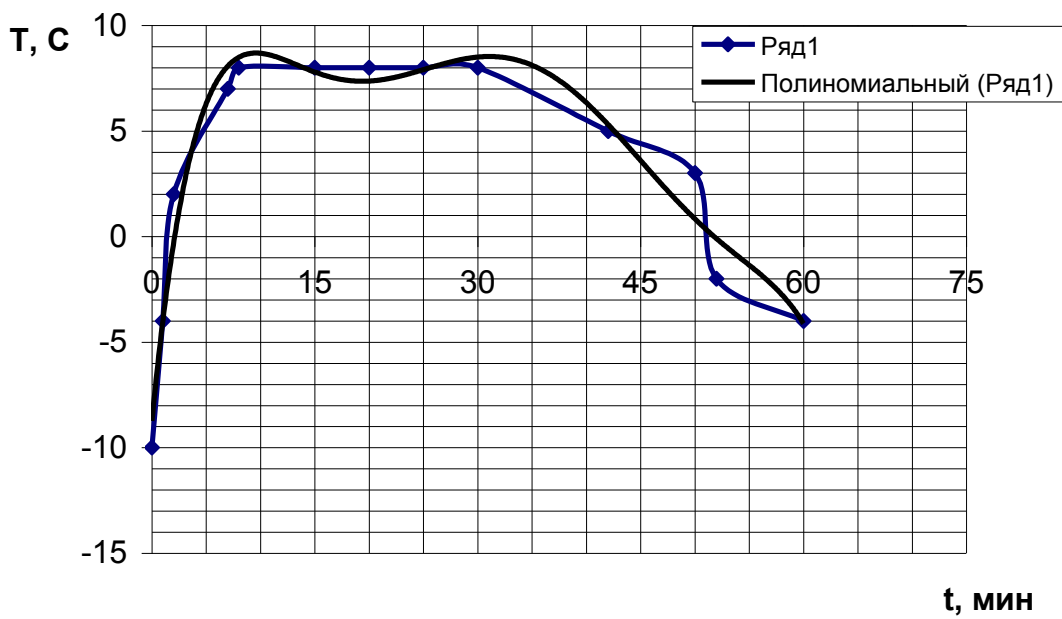


Рисунок 11 – Изменение температуры парогазовой смеси топлива А-92 во времени

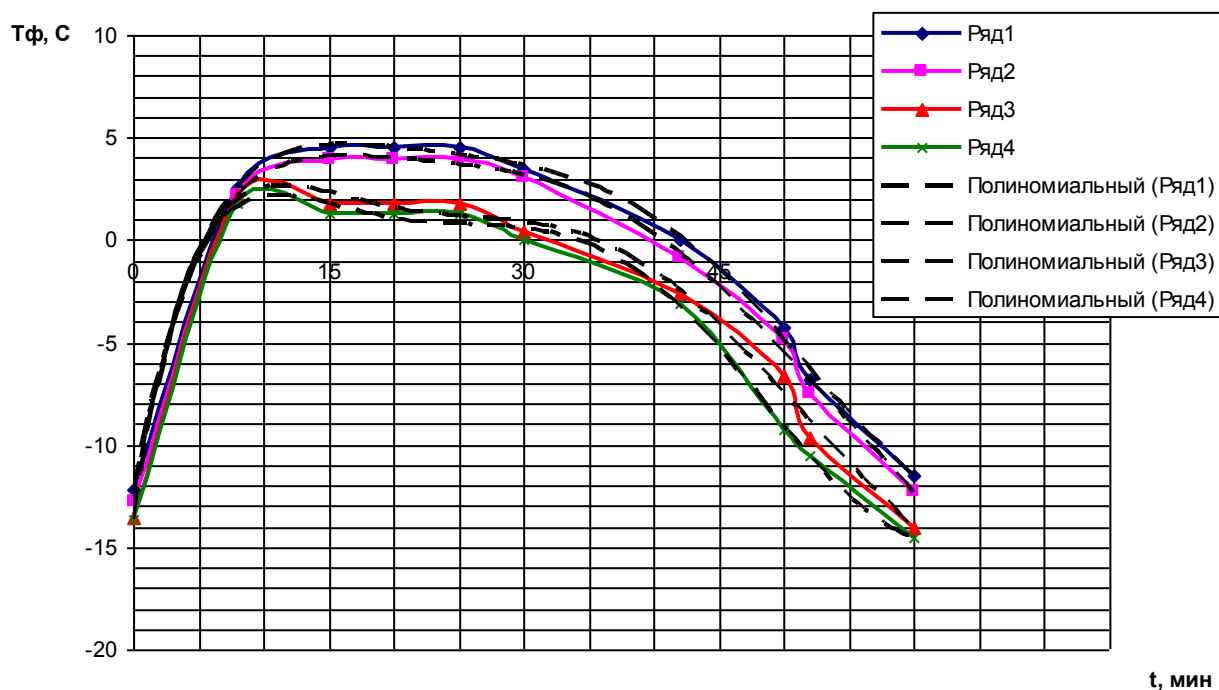


Рисунок 12 – Изменение температуры паров фреона на выходе из каждой секции во времени

Примечание: на рисунке 10 приведены показания 1 – 4 датчиков, характеризующие скорость выхода каждой секции установки на режим.

Топливо А-95 для проведения эксперимента нами не рассматривалось в виду его низкого грузооборота и как следствие, редкой поставки на автозаправочную станцию (около 1 раза в месяц).

Эксперимент являлся многофакторным и не планируемым в виду многосуточности и погодных условий, а также разницы температур и плотностей топлива между первой и последующими поставками на автозаправочную станцию. Также необходимо отметить, что уровень остатка топлива в резервуаре к моменту начала приема топлива из автоцистерны различен, следовательно, и площадь испарения была различна.

На основании проведенных нами исследований выход установки на режим составляет 2 часа 18 минут. Об этом можно судить по выравниванию кривых графиков на рисунке 10. Температура среды внутри газового пространства установки достигается равная минус 11,0 °С, а температура паров фреона на выходе из первой и последующих секций минус 15,0 °С, минус 14,5 °С, минус 12,7 °С и минус 12,0 °С соответственно (нумерация секций установки осуществляется сверху вниз). Самая низкая температура устанавливается в первой секции, поскольку, здесь происходит закипание фреона, сопровождаемое наибольшим поглощением тепла.

Наличие пиков на графике скорости охлаждения газового пространства установки (рисунок 9) и графике скорости выхода секций на режим (рисунок 10) в интервале от 90 до 137 минут обусловлено малым дыханием резервуара, которое наблюдается 1 – 3 раза в сутки и может быть вызвано колебанием температуры и/или давлением окружающей среды.

На момент проведения эксперимента атмосферное давление оставалось неизменным. Однако, температура окружающей среды с момента пуска установки за 90 минут повышалась на 2 - 3 градуса, что и стало причиной возникновения малых дыханий резервуара.

Проведение эксперимента в рабочем режиме установки составляло 60 минут, что соответствовало сливу автоцистерны вместимостью 12 м³

В начале слива топлива из автоцистерны в резервуар температура внутри газового пространства установки возрастает и достигает 8 °С, а температура паров фреона на выходе из первой и последующей секции достигает 1,3 °С, 1,8 °С 4,0 °С и 5,1 °С соответственно (см. рисунки 11 и 12). При данном температурном режиме в интервале от 8 до 30 минут наблюдается устойчивый процесс конденсации.

Кривые значений температуры газового пространства (рисунок 11) и температуры фреона в секциях (рисунок 12) в интервале времени от 0 до 8 минут стремительно возрастают. Это обусловлено интенсивным замещением парогазовой смеси нефтепродукта, находящейся в газовом пространстве резервуара, на сливаемый нефтепродукт, а также увеличением скорости образования паров нефтепродукта за счет разницы температур хранимого и наливаемого нефтепродукта.

Падение температуры газового пространства (рисунок 11) и температуры паров фреона на выходе из каждой секции (рисунок 12) в интервале времени от 30 до 60 минут обусловлено снижением количества низкокипящей фракции в образующейся парогазовой смеси нефтепродукта, возникающей при сливе из автоцистерны в резервуар. Наибольшее количество испаряющейся низкокипящей фракции приходится на интервал слива автоцистерны от 8 до 30 минут.

В ходе эксперимента установлена интенсивность конденсации компонентов топлива и составила в первой секции составила 0,26 г/с, второй – 0,14 г/с, третьей – 0,04 г/с и четвертой – 0,02 г/с. Интенсивность конденсации устанавливалась по скорости набегания конденсата в мерные емкости с последующим взвешиванием.

Количество сконденсировавшихся компонентов топлива за время эксперимента в каждой из четырех секций установки представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Количество сконденсировавшихся компонентов топлива

Номер секции	Масса, г
1	9295
2	5082
3	1327
4	876
ИТОГО:	16580

Из таблицы 4 видно, что наиболее эффективными секциями являются первая и вторая с рабочими температурами по фреону 1,3 °С и 1,8 °С соответственно.

Невысокое количество уловленной парогазовой смеси нефтепродукта обуславливается частичной конденсацией парогазовой смеси на стенках резервуара. Конденсация происходит за счет низкой температуры стенок резервуара и остатка нефтепродукта (5 °С) по сравнению с температурой сливаемого в резервуар нефтепродукта (20 °С). Поскольку уровень нефтепродукта составляет 260 мм (едва перекрывает заборную трубу), объем газового пространства позволяет замещение подогреваемого нефтепродукта значительным количеством парогазовой смеси.

С целью установления наличия воды и фракционного состава конденсата, нами проведен анализ конденсата, отбираемого по секциям.

Содержание воды в бензине обычно определяют визуально.

Метод количественного определения содержания воды в нефтепродуктах основан на принципе отгонки воды и растворителя от нефтепродукта с последующим их разделением в градуированном приемнике на два слоя в соответствии с ГОСТ 2177-99. Перегонка с н-гептаном методом Дина-Старка показала отсутствие растворенной воды во всех 4 пробах.

Отсутствие физически растворенной воды в составе парогазовой смеси обусловлено низкой относительной влажностью 53,5 % в дни проведения эксперимента и в ночи предшествующие проведению эксперимента – 65,0 %. Подтоварная вода, которая могла бы содержаться в парогазовой смеси, при проведении замеров уровня топлива в резервуаре не обнаружена. Отсутствие воды также объясняется тем, что конденсат легких фракций бензина содержит низкокипящие углеводороды, которые воду практически не растворяют.

Однако, в состав конденсата входит химически растворенная вода. Об этом свидетельствует образование кристаллогидратов на концах конденсатоотводных трубок 1 – 3 секции во время проведения серии натуральных экспериментов.

Фракционный состав конденсатов парогазовой смеси топлива А-92 приведен на рисунке 13.

Фракционный состав четвертой пробы получить не удалось, так как по ГОСТу для проведения анализа требуется 200 мл исследуемого вещества, а нам удалось получить лишь 87 г, что при известной плотности исходного продукта (бензина А-92), примерно составляет 115 мл. Однако, анализируя графики отгонки проб конденсата, отобранного из 1 – 3 секций, пробы имеют схожий состав на 30 %, далее присутствие легких (низкокипящих) компонентов увеличивается. Об этом свидетельствуют температуры конца кипения фракций.

Фракционный состав конденсатов показывает, что большинство их компонентов относятся к пятой хроматографической группе, т.е. пентан и его производные, с температурами начала кипения от 28 до 36 °С, наличие которых в топливе влияет на его октановое число и пусковые характеристики

двигателя в зимний период. Следовательно, предлагаемый нами конденсационный метод определения количества парогазовой смеси нефтепродуктов при их приеме и хранении, позволяет не только уменьшить уровень загрязнения окружающей среды парами углеводородов и снизить уровень пожаровзрывоопасности объектов нефтепродукто- и топливообеспечения, но и сохранить качество самого продукта.

	№1	№2	№3
Тнк(0%)	34	34	35
10	41	41	41
20	44	44	44
30	48	48	48
40	52	52	51
50	56	56	55
60	62	62	60
70	73	70	68
80	83	82	82
90	122	110	101
Ткк(91%)	123		
Ткк(93%)		120	
Ткк(94%)			116

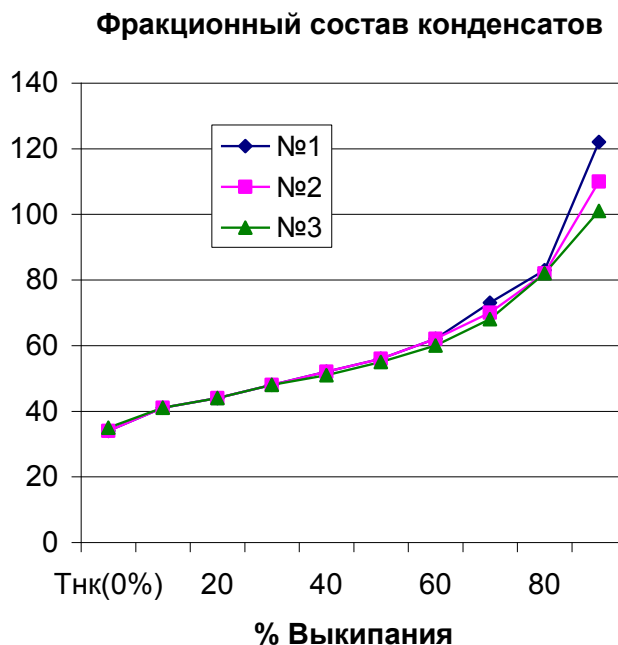


Рисунок 13 – Фракционный состав конденсатов парогазовой смеси топлива А-92

В **приложении 1** представлен акт внедрения научной продукции на Ачинском специализированном управлении «Монтаж-сервис» в процесс производства установки для рекуперации паров нефтепродуктов.

В **приложении 2** представлен акт внедрения научной продукции на ЗАО Красноярское топливное агентство в технологические процессы приема и хранения нефтепродуктов на автозаправочной станции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ существующих математических моделей, показывающий необходимость уточнения результатов расчета и количественной оценки испаряемости высокооктановых компонентов смеси.

2. Разработана экспериментальная установка, позволяющая создать условия для процесса конденсации максимального количества низкокипящих компонентов топлив, загрязняющих атмосферу при больших и малых дыханиях резервуаров.

3. Получен патент РФ № 2283160 «Способ конденсации смеси паров».

4. Результаты проведенных исследований на созданной экспериментальной установке позволяют скоррелировать систему мониторинга в процессе заправки и слива нефтепродуктов с целью повышения точности количественной оценки потерь нефтепродуктов и стабилизации их качества.

5. Полученные результаты исследований дают возможность практической реализации предлагаемого устройства на производстве.

Список использованных публикаций

1. Головков, А.В. Исследование интенсивности испарения топлив в зависимости от давления и температуры/ А.В. Головков, С.Г. Преснов, В.Н. Подвезенный // Межвуз. сб. науч. тр. Краснояр. гос. техн. ун-та. Вып.9: Транспортные средства Сибири. – Красноярск, 2003. – С. 365-370.

2. Пат. 2283160 РФ, М Кл2. В 01 D 5/00. Способ конденсации смеси паров / А.В. Головков, В.Н. Подвезенный. От 10 сентября 2006 г.

3. Головков, А.В. Способ утилизации паров нефтепродуктов на АЗС / А.В. Головков, В.Н. Подвезенный // Материалы межрегиональной научно-практической конференции Инновационное развитие регионов Сибири. – Красноярск, 2006 г. – С. 239-242.

4. Головков, А.В. Теплообменник-конденсатор для рекуперации паров углеводородов / А.В. Головков, В.Н. Подвезенный, И.И. Дьяков // Доклады международной научно-технической конференции. Проблемы обслуживания транспортно-технологических машин. – Тюмень, 2006. – С. 38-44.

5. Головков, А.В. Снижение уровня загрязнения атмосферы мегаполисов парами углеводородных топлив / А.В. Головков, В.Н. Подвезенный // Доклады международной научно-практической конференции. Новые топлива с присадками. – СПб., 2006 – С. 257-260.

6. Головков, А.В. Установка для улавливания паров углеводородных топлив при заправке автотранспортной техники / А.В. Головков, В.Н. Подвезенный // Доклады международной научно-технической конференции. Проблемы обслуживания транспортно-технологических машин. – Тюмень, 2007. – С. 72-75.

7. Головков, А.В. Установка для рекуперации паров углеводородных топлив на автозаправочных станциях // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск, 2007. – С. 261-264.