

На правах рукописи



Ле Вьет Хай

**БЕЗОПАСНОСТЬ ОТКАЧКИ НЕФТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА
С ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ СОСЕДНЕГО РЕЗЕРВУАРА
НА НЕФТЕСКЛАДАХ ВЬЕТНАМА**

Специальность: 05.26.03. Пожарная и промышленная безопасность
(технические науки, отрасль нефтегазовая)

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 пожарной безопасности технологических процессов (Академия ГПС МЧС России)

Научный руководитель: Заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Рубцов Владимир Валентинович

Официальные оппоненты: **Гражданкин Александр Иванович**, доктор технических наук, ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», отдел системного анализа безопасности, заведующий

Корольченко Дмитрий Александрович кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кафедра комплексной безопасности в строительстве, заведующий

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Защита состоится «27» сентября 2022 г. в 12 часов 00 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/7a4/7a4204403b812cb8fd979ea6cd6dd348.pdf>

Автореферат разослан «27» июля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.Б. Сивенков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Пожары в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов возникают довольно часто и продолжаются в течение многих часов. При этом пожары в крупногабаритных резервуарах (от 10000 м³ и более) приводят к травмам и гибели людей, а также к значительному материальному ущербу.

В настоящее время в Социалистической Республике Вьетнам (далее – СРВ) изучен способ безопасной откачки светлых нефтепродуктов из горящих резервуаров вертикальных стальных вместимостью до 10000 м³. Однако условия и режимы безопасной ускоренной откачки нефти из резервуаров вертикальных стальных с плавающей крышей (далее – РВСПК) вместимостью более 10000 м³ соседних с горящим резервуаром во Вьетнаме практически не исследованы.

Опыт эксплуатации РВСПК показывает, что концентрации паров нефти над поверхностью плавающей крыши (далее – ПК) малозначительны и, по мнению ряда специалистов, не достигают опасных значений нижнего концентрационного предела распространения пламени (далее – НКПР). Поэтому научный интерес представляет оценка формирования взрывоопасных концентраций над ПК в условиях экстремальной откачки нефти из крупногабаритных РВСПК при пожаре в соседнем резервуаре. Поиск решения этих проблем является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Обеспечению пожарной безопасности технологических процессов, в том числе, откачке жидких углеводородов из горящих резервуаров, минимизации остатков этих жидкостей в резервуарах, оценки критической высоты уровня разлива для предотвращения кавитации в насосных системах, посвящены труды К. Рогана, И.С. Беркутова, П.И. Поликовского, Р.Г. Перельмана, О.М. Волкова, Х.К. Фама и других авторов. Однако условия безопасности технологического процесса откачки нефти из РВСПК при пожаре соседнего резервуара до настоящего времени изучены недостаточно.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованных рекомендаций по безопасной откачке нефти из крупногабаритных РВСПК при пожаре соседнего резервуара во Вьетнаме.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

- проанализировать характерные пожары в резервуарных парках хранения нефти, в том числе во Вьетнаме;
- исследовать параметры насосных систем в условиях экстремальной откачки нефти из негорящих РВСПК номинальной вместимостью 14000, 65000 и 120000 м³;
- исследовать формирование взрывоопасных концентраций паровоздушных смесей над плавающей крышей РВСПК объемом 65000 м³ при откачке из него нефти;
- оценить влияние различных скоростей ветра на параметры тепловых потоков, падающих от горящего резервуара на соседний негорящий РВСПК;

– разработать научно-обоснованные рекомендации по безопасной откачке нефти из крупногабаритных РВСПК при пожаре соседнего резервуара во Вьетнаме.

Объектом исследования являлся процесс откачки нефти из РВСПК, расположенного рядом с горящим резервуаром.

Предметом исследования являлись параметры, влияющие на безопасность экстремальной откачки нефти из РВСПК: время работы насосных систем при экстремальной откачке; концентрации над ПК; тепловые потоки от соседнего, горящего резервуара.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Экспериментально установлено, что скорость изменения уровня разлива при откачке нефти определяется параметрами работы насосных систем. Обоснованы и представлены расчетные значения трёх коэффициентов k , характеризующих уменьшение скорости снижения уровня откачиваемой жидкости в зависимости от количества и производительности работающих насосов. Установлено, что диапазон значений коэффициентов k от 1,09 до 1,15 характерен для всех исследуемых типоразмеров РВСПК.

2. На основании обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости для оценки параметров безопасной откачки нефти из РВСПК в экстремальных условиях. Доказано, что для РВСПК соседнего с горящим резервуаром время откачки определяется режимом и производительностью насосной системы. Предложена универсальная зависимость для определения времени откачки нефти из типовых РВСПК номинальной вместимостью от 5000 м³ до 120000 м³.

3. Экспериментально определена возможность образования взрывоопасных концентраций паров нефти, достигающих значения НКПР, над ПК РВСПК-65000, на завершающем этапе откачки при достижении минимального уровня разлива и опирании ПК на опорные стойки.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования заключается в:

– расширении представлений о применении экстремальной работы насосных систем нефтесклада для безопасной откачки нефти из РВСПК при пожаре соседнего резервуара;

– обосновании экспериментального метода исследования безопасности при экстремальной работе насосных систем в процессе откачки негорящей нефти из РВСПК номинальной вместимостью 14000, 65000 и 120000 м³;

– использовании полученных зависимостей для определения времени экстремальной откачки нефти из РВСПК вместимостью от 5000 до 120000 м³;

– разработке промышленной экспериментальной установки для исследования формирования взрывоопасных концентраций в паровоздушном пространстве РВСПК и экспериментальном подтверждении образования взрывопожароопасных концентраций в зоне уплотняющего затвора над ПК;

– применении метода компьютерного моделирования для оценки влияния различных скоростей ветра на величину теплового потока, падающего на соседний РВСПК от горящего нефтяного резервуара.

Разработаны практические рекомендации для включения Главным управлением пожарной охраны (далее – ГУПО) Министерства общественной безопасности (далее – МОБ) СРВ в документы оперативного планирования тушения пожаров в резервуарных парках нефтескладов Вьетнама, которые позволят обеспечить эффективное и безопасное удаление нефти из зоны действия опасных факторов пожара от горящего резервуара, предотвратить распространение пожара на соседние нефтяные резервуары и сократить материальные потери от пожара РВСПК.

Методология и методы исследования. Использованы методы теории планирования эксперимента, теории подобия, математического моделирования, вращающихся координат. Результаты численных расчетов подтверждены результатами экспериментальных исследований с использованием современных поверенных приборов и оборудования.

Положения, выносимые на защиту:

- основные положения методик проведения экспериментов по оценке работы насосных систем при экстренной откачке нефти из РВСПК вместимостью 14000, 65000 и 120000 м³;

- результаты теоретического решения задачи по обоснованию коэффициентов k , характеризующих уменьшение скорости снижения уровня откачиваемой жидкости в зависимости от изменения количества и производительности работающих насосов;

- эмпирические зависимости для определения времени откачки нефти из РВСПК номинальной вместимостью от 5000 до 120000 м³;

- основные положения методики экспериментального определения концентраций паров нефти над поверхностью плавающей крыши при откачке нефти из РВСПК-65000 м³;

- результаты математического моделирования влияния скорости ветра на величину теплового потока от пожара нефтяного резервуара.

Достоверность результатов исследования подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретического и экспериментального исследования безопасности откачки нефти из негорящего РВСПК; применением апробированного математического аппарата; проведением экспериментов по оценке концентраций паров нефти над плавающей крышей с применением поверенных, сертифицированных приборов газового анализа; воспроизводимостью результатов экспериментов; удовлетворительным согласованием полученных результатов с данными других исследователей.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, Академия Государственной противопожарной службы (далее – ГПС) МЧС России, 2019 г.); IV Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона на страже мира и безопасности», (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2020 г.); Международной конференции «Роль пожарной полиции в борьбе с нетрадиционными угрозами безопасности» (г. Ханой, Институт пожарной безопасности МОБ Вьетнама, 2020 г.);

Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022 г.); IX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022 г).

Публикации. Материалы диссертационной работы изложены в 11 научных работах, из них 4 статьи – в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Материалы диссертации реализованы: в разработке оперативных планов и карточек пожаротушения на резервуарные парки хранения нефти нефтеперерабатывающих заводов Вьетнама; в составлении учебных планов проведения пожарно-тактических учений по ликвидации пожаров в нефтяных резервуарах Вьетнама с откачкой нефти из РВСПК, соседних с горящим – ГУПО МОБ СРВ, 2022 г.; в подготовке текстов фондовых лекций и презентаций, планов практических и семинарских занятий на тему «Пожарная безопасность резервуарных парков хранения нефти» по дисциплине «Пожарная безопасность технологических процессов» в Институте пожарной безопасности МОБ СРВ и в Институте развития Академии ГПС МЧС России, 2022 г.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 124 наименований и приложения. Работа изложена на 147 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков, 17 таблиц, список сокращений и условных обозначений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, указаны теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении и апробации результатов.

В первой главе «Пожарная опасность резервуарных парков для хранения нефти» рассматриваются общие сведения о резервуарных парках Вьетнама, примеры характерных пожаров в резервуарных парках, произошедших в СРВ, России и за рубежом, в том числе при тушении которых применялся способ откачки нефти; результаты анализа пожарной опасности резервуарных парков для хранения нефти.

Рассмотрены работы по исследованию диффузионного горения нефти в различных РВСПК, в которых установлен ряд закономерностей характеризующий процесс выгорания нефти. В частности, в работах Блинова В.И., Худякова Г.Н., Петрова И.И., Фама Х.К. показано, что скорость выгорания нефти в резервуаре зависит, в основном, от скорости ветра, высоты стенки РВС над поверхностью горящей жидкости и охлаждения резервуара водой.

Установлено, что исследования по откачке нефти из РВСПК при пожаре в СРВ и в России не проводились. Анализ работ по исследованию процесса откачки технологическими насосами показал, что по характеру истечения жидкостей из

резервуаров (емкостей) их можно разделить на две группы: первая группа включала исследования донного слива, вторая - истечение жидкости из боковых патрубков (работы Бронштейна И.С., Куркова Л.М., Рогана К., Беркутова И.С., Фама Х.К.). Установлено, что параметрами, влияющими на скорость откачки горючей жидкости из РВСПК являются: высота уровня разлива; диаметр и количество приемо-раздаточных патрубков; производительность и количество продуктовых насосов, задействованных при откачке; минимально возможный уровень жидкости, до которого можно произвести откачку; время откачки. Для учета влияния этих параметров на процесс откачки нефти из РВСПК, соседнего с горящим резервуаром, были организованы и проведены в СРВ натурные эксперименты.

Во второй главе приведена характеристика РВСПК вместимостью 14000, 65000 и 120000 м³, задействованных при проведении крупномасштабных натурных экспериментов по откачке из них сырой нефти, разработана методика, проведены натурные эксперименты, получены и обработаны результаты.

РВСПК-14000, из которого проводилась откачка, расположен в резервуарном парке сырой нефти нефтеперерабатывающего завода (далее - НПЗ) «Нги Сон». Его диаметр 30 м, высота стенки 19,9 м и площадь зеркала 706,5 м². РВСПК оборудован двумя приемо-раздаточными патрубками диаметром 0,5 м и одним патрубком для подачи нефти в систему размыва парафинистых отложений.

РВСПК-120000, из которого проводилась откачка, расположен в резервуарном парке сырой нефти НПЗ «Нги Сон». Его диаметр 89 м, высота стенки 19,9 м и площадь зеркала 6218 м². РВСПК оборудован двумя приемо-раздаточными патрубками диаметром 0,6 м и одним патрубком для подачи нефти в систему размыва парафинистых отложений.

РВСПК-65000, из которого проводилась откачка, расположен в резервуарном парке сырой нефти НПЗ «Зунг Куат». Его диаметр 69 м, высота стенки 22,4 м и площадь зеркала 3737,385 м². Он оборудован двумя приемо-раздаточными патрубками диаметром 0,6 м и одним патрубком для подачи нефти в систему размыва парафинистых отложений.

Натурный эксперимент включал в себя две части исследований: первая часть - исследование времени откачки при нормальной работе насосов; вторая часть - исследование времени откачки при экстремальной работе насосов при аварийной откачке нефти из резервуара, соседнего с горящим.

В экспериментах участвовали: 1 руководитель экспериментов, оператор (находился на своем рабочем месте в диспетчерской); 2 наблюдателя - исследователя.

Материальное обеспечение: радиотелефоны взрывозащищенного исполнения, стационарные электронные уровнемеры, часы, операционные компьютеры, аккумуляторные электрические фонари взрывозащищенного исполнения, секундомеры.

В опытах измерялись: изменение уровней разлива во времени при откачке при разных режимах работы насосов, время откачки в первой и второй частях экспериментов. Уровни разлива нефти измерялись стационарными электронными уровнемерами и фиксировались наблюдателями и оператором. Основная

погрешность замеров уровня ± 5 см. Наблюдатель фиксировал уровень взлива и подавал сигнал оператору по радиотелефону на отключение или включение насосов.

При откачке нефти из РВСПК-14000 было задействовано два центробежных насоса марки НМП 2400/78 с паспортной производительностью каждого $2400 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Сначала откачку нефти проводили двумя рабочими насосами с общей производительностью $4800 \text{ м}^3/\text{ч}$. При опускании ПК до минимального уровня - $2,03 \text{ м}$ был выключен один основной насос и откачка была продолжена вторым основным насосом с производительностью $2400 \text{ м}^3/\text{ч}$. При проявлении признаков кавитации второй насос отключали и включали зачистной насос производительностью $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Далее откачку продолжили зачистным насосом. При повторном проявлении кавитации, зачистной насос был выключен, а процесс откачки закончен. Результаты измерения уровня взлива при откачке приведены на графике (рис. 1).

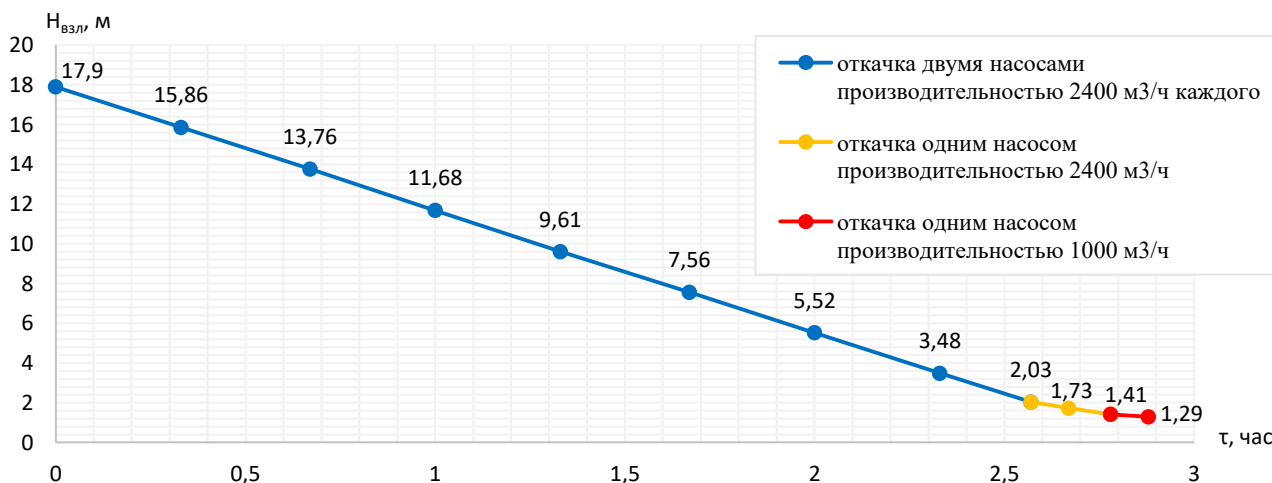


Рисунок 1 – Зависимость высоты уровня взлива нефти в РВСПК-14000 м^3 от времени ее откачки насосами

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость для определения времени откачки нефти от $H_{взл}$ до $H_{кон.2}$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1,09 \left(\frac{H_{взл} - H_{min}}{V_1} \right) + 1,12 \left(\frac{H_{min} - H_{кон.1}}{V_2} \right) + 1,15 \left(\frac{H_{кон.1} - H_{кон.2}}{V_3} \right) \quad (1)$$

где τ - время откачки жидкости из РВСПК от $H_{взл}$ до $H_{кон.2}$, час; k - расчетный поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение скорости понижения уровня жидкости при откачке, $k = 1,09 \div 1,15$; $H_{взл}$ - начальный уровень взлива, м; H_{min} - минимальный уровень взлива при опускании ПК на опорные стойки, м; $H_{кон.1}$ - уровень взлива при первом проявлении кавитации, м; $H_{кон.2}$ - уровень взлива при повторном проявлении кавитации, м; V_1, V_2, V_3 - скорость понижения уровня при откачке жидкости, м/ч.

Изменение уровня взлива жидкости во времени при нормальной и экстремальной работе насосов по откачке нефти приведено на графике (рис. 2).

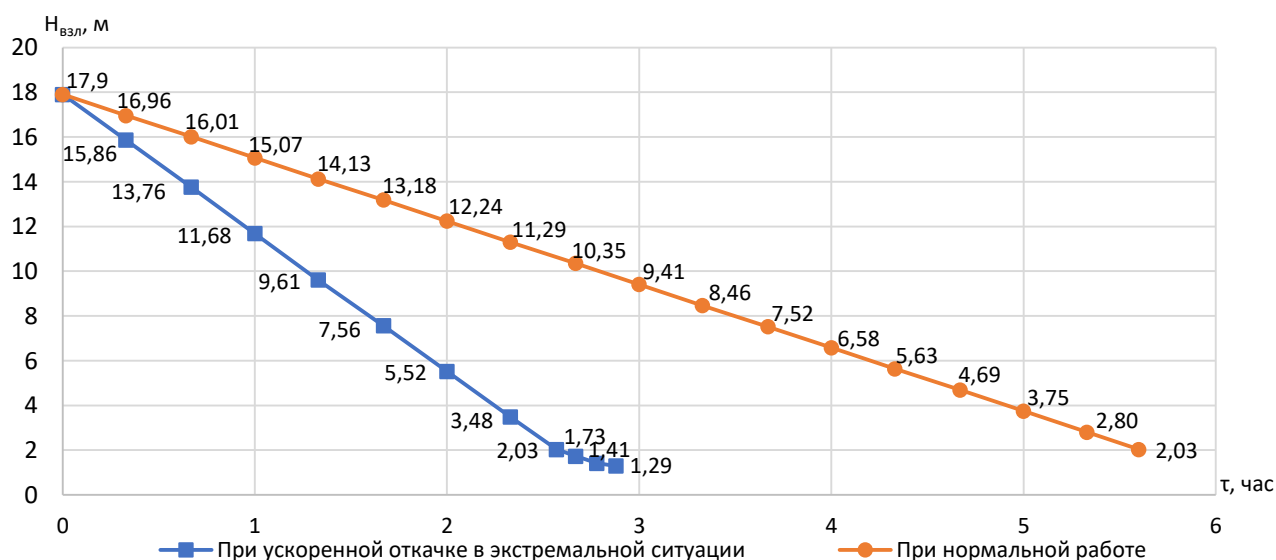


Рисунок 2 – Зависимость уровня взлива от времени ее откачки из РВСПК-14000 м³

Из рис. 2 следует, что в экстремальном режиме время откачки сокращается примерно вдвое по сравнению с нормальным режимом. При этом признаки кавитации возникают только на завершающей стадии откачки, когда уровень сырой нефти опускается ниже днища плавающей крыши, но не достигает места установки ПРП. В процессе эксперимента по откачке нефти из РВСПК-120000 м³ было задействовано три насоса: два насоса с паспортной производительностью каждого 3600 м³/ч и один зачистной насос производительностью 1000 м³/ч. В начале эксперимента откачку производили двумя насосами с суммарной производительностью 7200 м³/ч. При опускании плавающей крыши до минимального уровня – 2,03 м, выключали один основной насос и откачка продолжалась вторым основным насосом с производительностью 3600 м³/ч. При появлении признаков кавитации второй насос отключали и включали зачистной насос производительностью 1000 м³/ч. Далее откачку продолжили зачистным насосом. При повторном проявлении кавитации, зачистной насос был выключен, а процесс откачки завершен. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

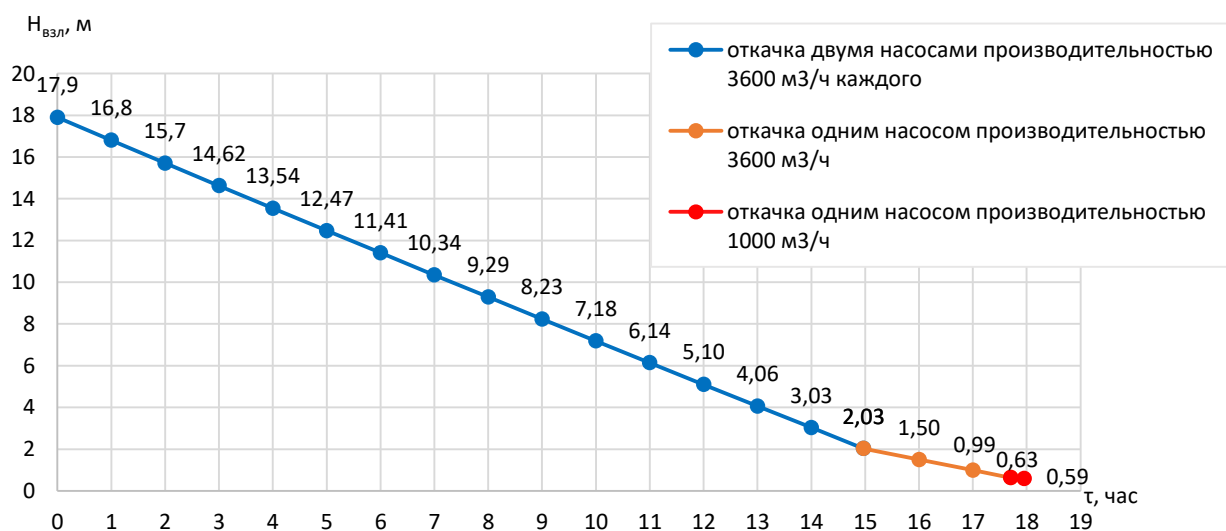


Рисунок 3 – Зависимость высоты уровня взлива нефти в РВСПК-120000 от времени ее откачки насосами

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость для определения времени откачки нефти от $H_{\text{взл}}$ до $H_{\text{кон.2}}$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1,09\left(\frac{H_{\text{взл}} - H_{\text{мин}}}{V_1}\right) + 1,12\left(\frac{H_{\text{мин}} - H_{\text{кон.1}}}{V_2}\right) + 1,15\left(\frac{H_{\text{кон.1}} - H_{\text{кон.2}}}{V_3}\right) \quad (2)$$

Изменение уровня взлива жидкости во времени при нормальной и экстремальной работе насосов по откачке нефти приведено на графике (рис. 4).

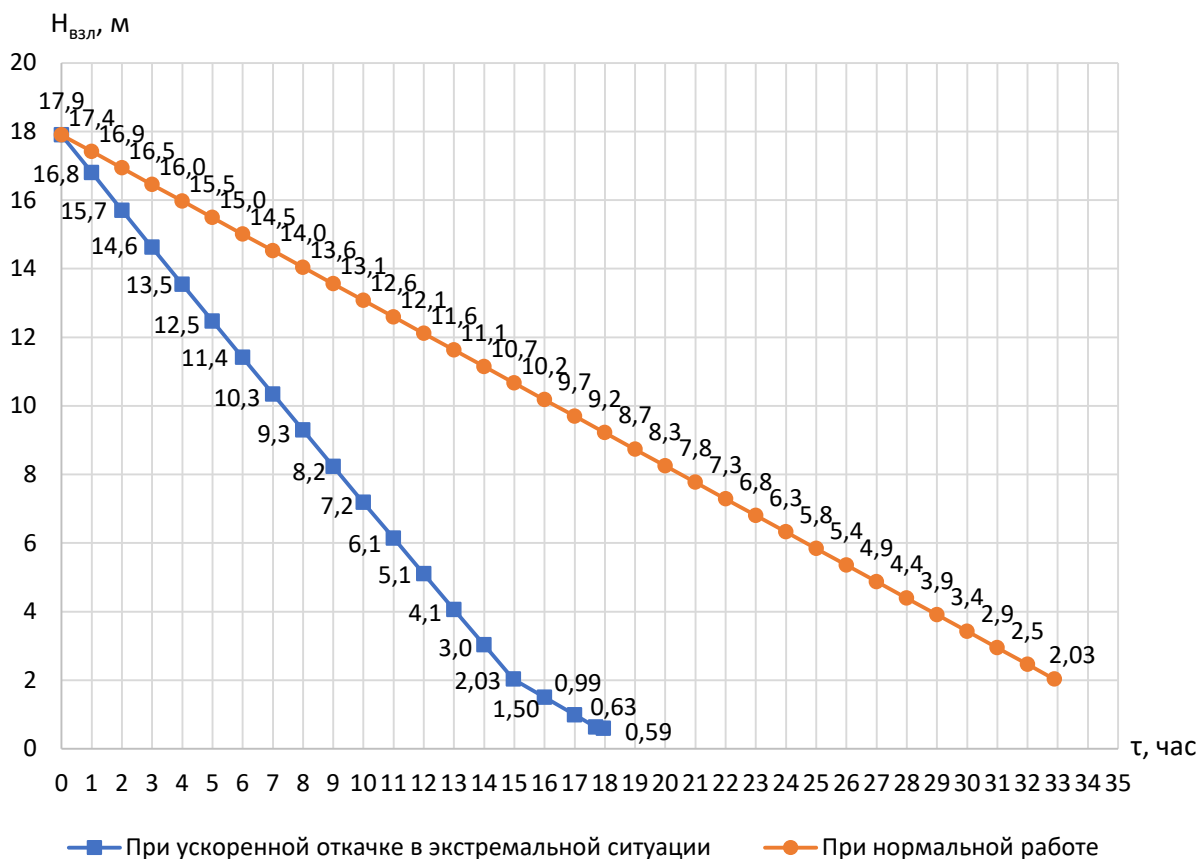


Рисунок 4 – Зависимость уровня взлива от времени ее откачки из РВСПК-120000

Из графика следует, что в экстремальном режиме время откачки сокращается примерно вдвое по сравнению с нормальным режимом. Признаки кавитации возникают только на завершающей стадии откачки, когда уровень сырой нефти опускается ниже днища плавающей крыши.

В процессе эксперимента по откачке нефти из РВСПК-65000 было задействовано три насоса: в начальный период эксперимента задействовали два насоса с паспортной производительностью 3600 м³/ч каждый и один зачистной насос производительностью 1000 м³/ч.

При опускании плавающей крыши резервуара до минимального уровня - 2,0 м, выключали один основной насос и откачка продолжалась вторым основным насосом с производительностью 3600 м³/ч. При появлении признаков кавитации второй насос отключали и включали зачистной насос производительностью 1000 м³/ч. Далее откачку продолжали зачистным насосом. При повторном появлении кавитации зачистной насос отключали и откачка прекращалась. Результаты эксперимента приведены на рис. 5.

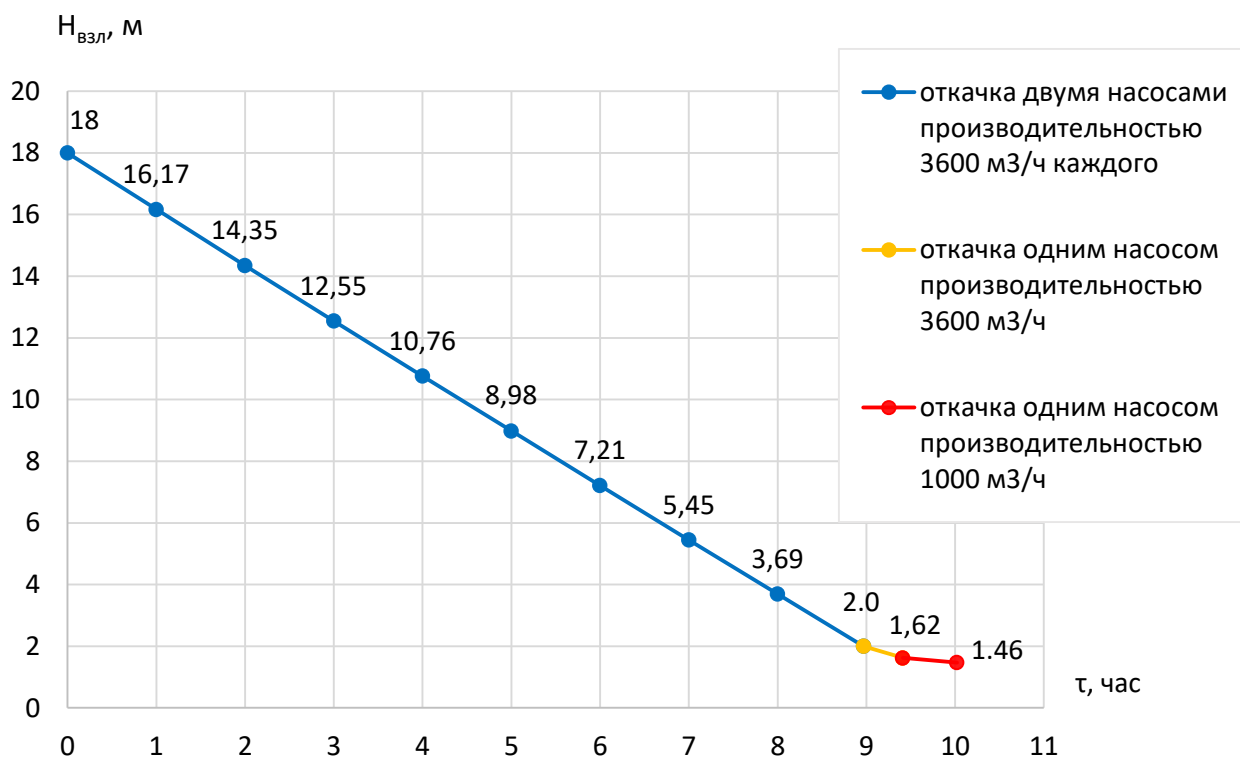


Рисунок 5 – Зависимость высоты уровня взлива нефти в РВСПК-65000 м³ от времени ее откачки насосами

Изменение уровня взлива жидкости во времени при нормальной и экстремальной работе насосов по откачке нефти приведено на графике (рис. 6).

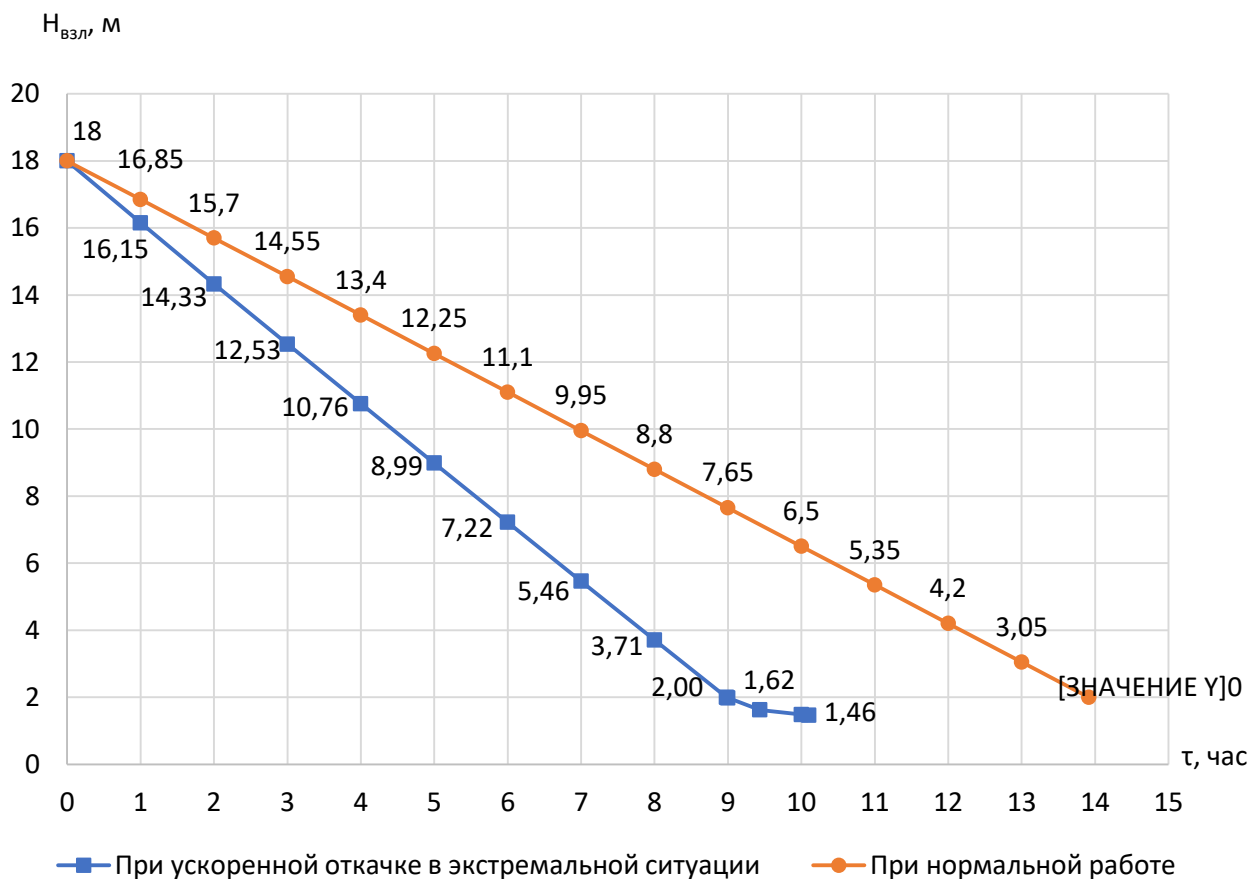


Рисунок 6 – Зависимость уровня взлива от времени ее откачки из РВСПК-65000

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость для определения времени откачки нефти от $H_{\text{взл}}$ до $H_{\text{кон.2}}$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1,09\left(\frac{H_{\text{взл}} - H_{\text{min}}}{V_1}\right) + 1,12\left(\frac{H_{\text{min}} - H_{\text{кон.1}}}{V_2}\right) + 1,15\left(\frac{H_{\text{кон.1}} - H_{\text{кон.2}}}{V_3}\right) \quad (3)$$

Анализируя зависимости (1), (2) и (3) получено выражение для оценки общего времени откачки жидкости из РВСПК вида:

$$\tau = \sum \tau = k_1 \left(\frac{H_{\text{взл}} - H_{\text{min}}}{V_1}\right) + k_2 \left(\frac{H_{\text{min}} - H_{\text{кон.1}}}{V_2}\right) + \sum_{i=3}^n k_i \left(\frac{H_{\text{кон.}(i-2)} - H_{\text{кон.}(i-1)}}{V_i}\right), \quad (4)$$

где τ - время откачки жидкости из РВСПК от $H_{\text{взл}}$ до $H_{\text{кон.}n}$, час; k - расчетный поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение скорости понижения уровня жидкости при откачке (чем больше k , тем ниже скорость откачки); $H_{\text{взл}}$ - начальный уровень взлива, м; H_{min} - уровень взлива при крыши до минимального уровня, м; $H_{\text{кон.}i}$ - уровень взлива при проявлении кавитации, м; V_i - скорость понижения уровня при откачке жидкости от $H_{\text{кон.}(i-2)}$ до $H_{\text{кон.}(i-1)}$, м/ч.

Данные натурных экспериментов позволили уточнить расчетную формулу для определения времени достижения критической высоты взлива при опускании плавающей крыши до уровня нефти, при котором проявляются признаки кавитации насосов.

Третья глава содержит результаты изучения процесса формирования взрывопожароопасных концентрации паровоздушной смеси (далее – ПВС) над ПК при откачке нефти из РВСПК-65000, расположенного в резервуарном парке НПЗ «Зунг Куат» в СРВ (рис. 7).



Рисунок 7 – РВСПК-65000 м³ для хранения сырой нефти на НПЗ «Зунг Куат» в СРВ

Рассмотрены теоретические особенности формирования паровоздушной взрывопожароопасной среды над ПК и приведены результаты экспериментального исследования взрывопожароопасности ПВС внутри натурального РВСПК-65000 м³ при откачке из него нефти. Получены расчетные

формулы для оценки концентраций в РВСПК-65000.

Для изучения процесса образования ВОК ПВС в пристенном паровом пространстве РВСПК-65000 над ПК и в центре ПК при откачке нефти разработана промышленная экспериментальная установка (ПЭУ) (рис. 8).

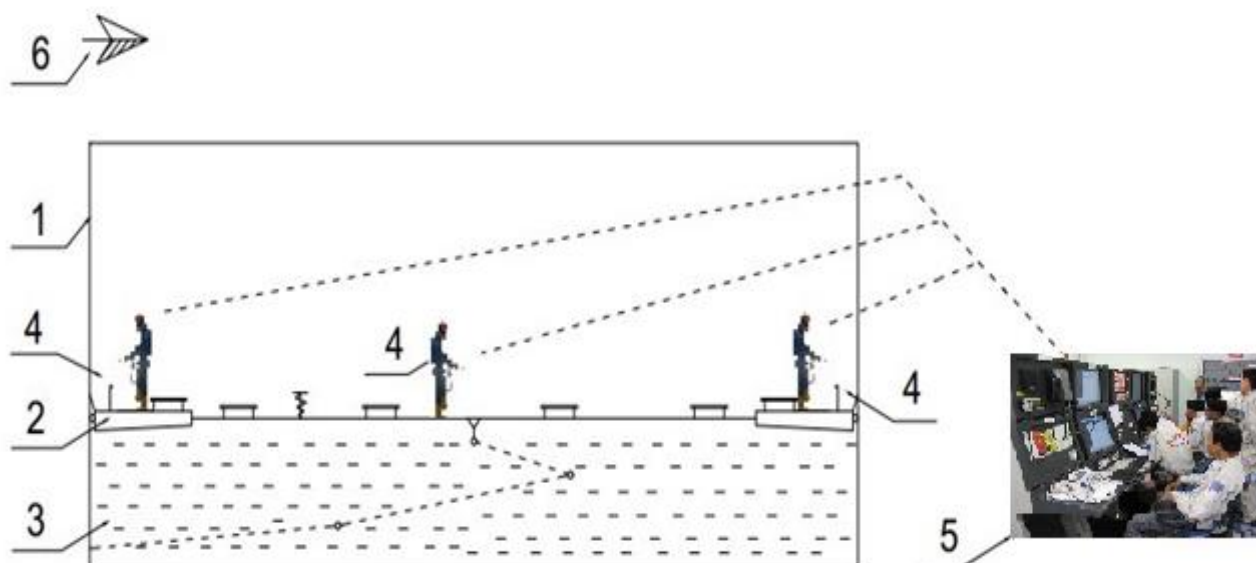


Рисунок 8 – Принципиальная схема ПЭУ:

- 1 – резервуар; 2 – плавающая крыша; 3 – нефть; 4 – оператор с газоанализатором;
5 – компьютер для обработки данных; 6 – основное направление ветра

ПЭУ включает в себя:

- натурный РВСПК - 65000 м³ с сырой нефтью на НПЗ «Зунг Куат»;
- исследовательскую группу из 8 исследователей для замера концентраций сложных углеводородных смесей (далее – СУВС) в пристенном слое и над поверхностью ПК в процессе откачки;
- 8 средств индивидуальной защиты органов дыхания исследователей марки «Dräger X-plore® 6300»;
- 8 газоанализаторов марки «Dräger X-am 7000» (первичный прибор) для замера концентраций СУВС;
- 4 компьютера для приема полученных экспериментальных данных;
- программный комплекс *Excel* для обработки экспериментальных данных;
- радиотелефоны во взрывозащищенном исполнении для связи исследовательской группы с диспетчером.

Для проведения эксперимента по откачке был выделен заполненный нефтью РВСПК - 65000: диаметр 69 м; высота стенки 22,4 м; максимальный уровень разлива нефти 18 м; высота расположения ПК на опорных стойках 2 м. Скорость откачки до минимального уровня при нормальной работе 4300 м³/ч. Время откачки при нормальной работе 13 ч 55 мин.

Группа была разделена на две подгруппы с целью организации вахтового, непрерывного процесса замеров. Каждая подгруппа работала непрерывно на крыше 2 ч, а затем заменялась другой.

Перед исследователями ставились следующие задачи:

- изучение технической и справочной литературы по обеспечению пожарной безопасности и охране труда при работе на подвижной ПК;
- определение оптимальной расстановки исследователей на ПК;
- подбор по техническим характеристикам газоанализаторов, способных фиксировать наличие ВОК СУВС в определенных точках ПВП над ПК;
- измерение концентрации паров СУВС в пристенном слое и над поверхностью ПК в процессе откачки при заранее установленных интервалах времени и высоты уровня разлива нефти;
- передача полученной первичной информации о концентрациях ПВС на вторичный прибор для вычислений;
- оповещение руководителя (оператора диспетчерской) о ходе проведения эксперимента;
- обработка экспериментальных данных и определение зон ВОК ПВС СУВС в ПВП над ПК.

В качестве первичного прибора замера концентраций ПВС был выбран переносной газоанализатор марки «*Dräger X-am 7000*», который благодаря двадцати пяти газовым сенсорам способен с точностью до сотых определять наличие сложных углеводородных смесей легких фракций нефти и имеет возможность сравнения уровней загазованности в различные промежутки времени. Процедура замера концентраций ПВС оператором в процессе откачки представлена на рис. 9.



Рисунок 9 – Замер концентраций ПВС оператором в процессе откачки

Экспериментальные данные с каждого первичного прибора транслировались на вторичный прибор для фиксации и обработки. В качестве вторичных приборов использованы персональные компьютеры, расположенные в помещении диспетчерской НПЗ. Операторы в диспетчерской контролировали уровень взлива сырой нефти в резервуаре, фиксировали изменение высоты размещения ПК, оповещали по радиоканалу исследователей о начале проведения замеров концентраций, вводили полученные результаты в компьютеры и управляли насосами откачки.

В месте проведения эксперимента дежурили подразделения пожарной охраны НПЗ и медицинская бригада. Для срочной эвакуации участников эксперимента с поверхности плавающей крыши была предусмотрена установка пожарной автомеханической лестницы, выдвинутой к площадке на борту РВСПК.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации на ПК операторы должны были сообщить о происшествии в диспетчерскую и эвакуироваться по внутренней катушей лестнице резервуара на площадку у борта РВСПК и по пожарной автолестнице – за пределы обвалования.

Цель проведения экспериментов – определение концентраций ПВС в определённых точках пристенного слоя парового пространства над ПК в процессе откачки нефти из резервуара.

Предмет исследования – концентрации ПВС.

Метод исследования – натурный эксперимент. Методика проведения экспериментов заключалась в замерах концентраций ПВС СУВС в пристенном слое ПВП над ПК в процессе откачки нефти из РВСПК. По периметру ПК у стенки корпуса располагались четыре исследователя с первичными приборами измерения концентраций и один исследователь – в центре плавающей крыши вблизи дренажного слива (рис. 10).

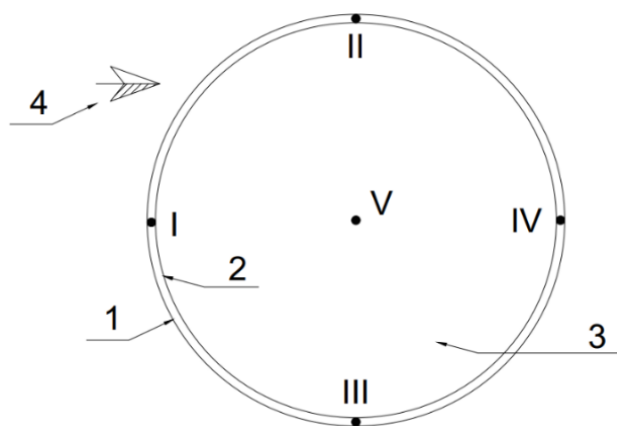


Рисунок 10 – Схема расположения мест замера концентраций ПВС на ПК

- 1 – стенка резервуара;
- 2 – пенобарьер плавающей крыши;
- 3 – плавающая крыша;
- 4 – направление ветра;

I, II, III, IV, V – Места измерения концентрации СУВС

Перед проведением замеров приборы были полностью заряжены и поверены. Из резервуара была удалена подтоварная вода. В резервуаре более 24 ч работали три мешалки для достижения однородности жидкости. Через каждый метр опускания ПК в процессе откачки со скоростью 1,15 м/ч, операторы фиксировали концентрации в заданных точках (рис. 11). Полученная информация по радиоканалам передавалась на персональные компьютеры операторам для обработки.

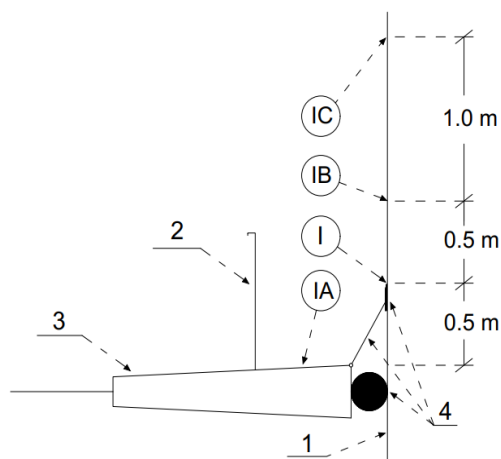


Рисунок 11 – Схема мест забора проб ПВС на ПК

1 – стенка резервуара; 2 – пенобарьер ПК;

3 – ПК; 4 – уплотняющий затвор;

I, IA, IB, IC – Места измерения концентрации ПВС.

Положение I – место измерения СУВС у края уплотняющего затвора;

Положение IA – место измерения СУВС у пола ПК между уплотняющим затвором и пенобарьером;

Положение IB – место измерения СУВС у стенки резервуара на расстоянии 1 м от пола ПК;

Положение IC – место измерения СУВС у стенки резервуара на расстоянии 2 м от пола ПК под пенопроводом АУПТ

В ходе эксперимента фиксировали: высоту взлива при откачке, время откачки, концентрацию ПВС, направление и силу ветра, температуру нефти и воздуха.

Концентрация ПВС (% (об.)) в эксперименте измерялась с помощью поверенных на СУВС газоанализаторов с погрешностью не более 5 %.

Температура, уровень нефти в резервуаре и расход насосов измерялись автоматически и отображались на экране мониторов в диспетчерской. При достижении минимального уровня взлива сырой нефти ~ 2 м (уровень установки ПК на опорные стойки) перекачка автоматически прекращалась.

В процессе откачки нефти операторы фиксировали каждый метр опускания ПК и сообщали по рации исследователям, размещенным на ПК, уровень нефти в резервуаре, которые в этот момент фиксировали изменения концентрации паров. Результаты измерений представлены на рис. 12 и 13.

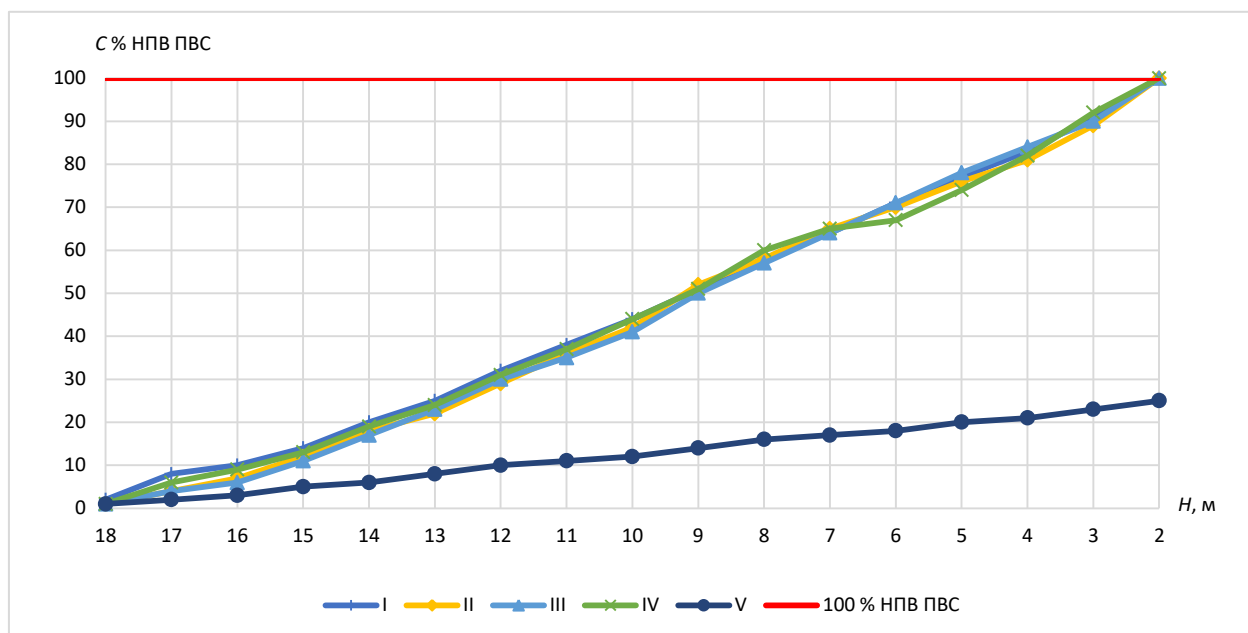


Рисунок 12 – Изменение концентрации ПВС в зависимости от уровня ПК

I, II, III, IV, V – места измерений концентрации паров (см. рис. 9);

C % НКПР ПВС – процент концентрации в процентах от НКПР на ПК;

H – высота расположения ПК

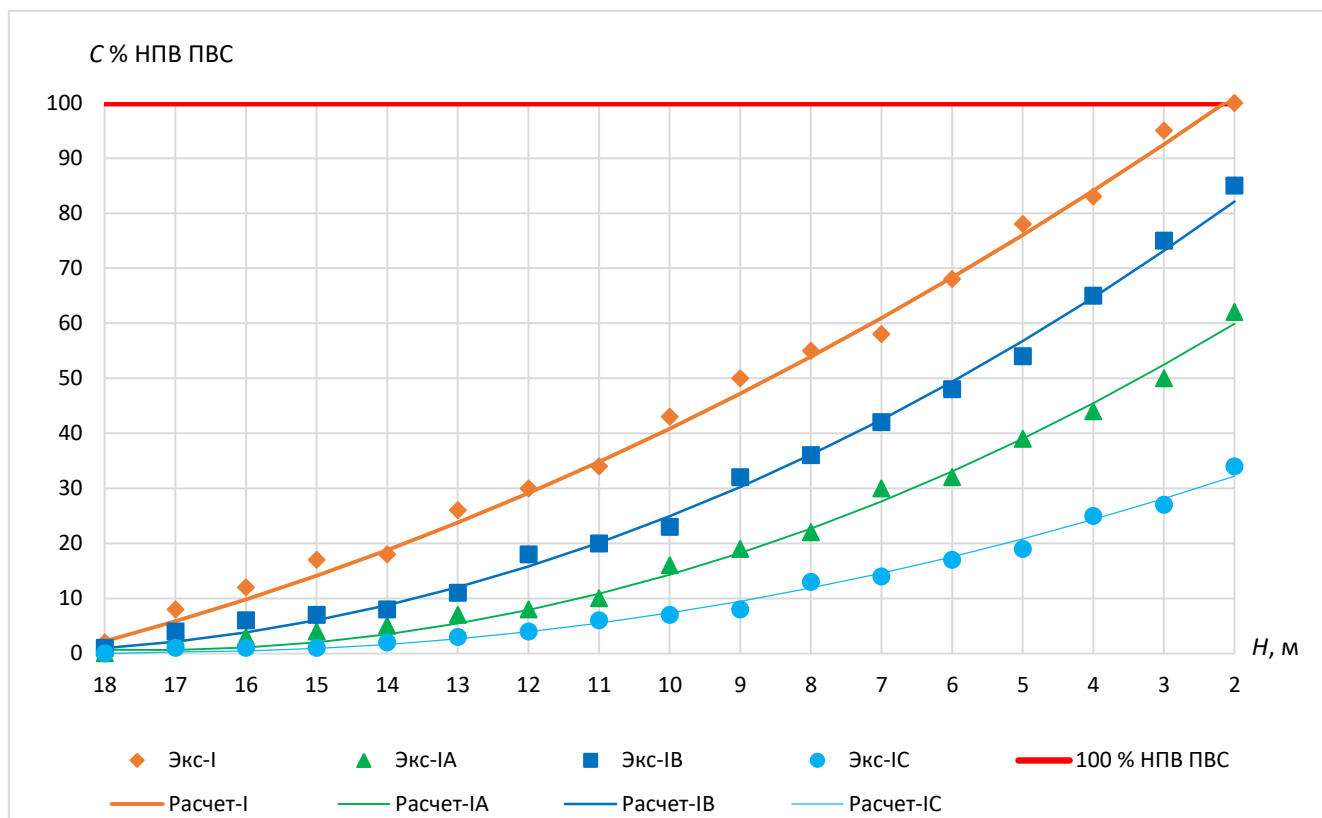


Рисунок 13 – Изменение концентрации ПВС при опускании ПК в процессе откачки:

■ - экспериментальные данные; — - расчетные данные.

I – концентрации ПВС по краю уплотняющего затвора; IA – концентрации ПВС на стенке резервуара в 1 м от ПК; IB – концентрации ПВС на полу ПК между уплотняющим затвором и пенобарьером; IC – концентрации ПВС на стенке резервуара в 2 м от ПК

Из рис. 12 и рис. 13 следует, что по мере откачки нефти из резервуара концентрация ПВС постепенно возрастала в местах замеров в районе уплотняющего затвора ПК (позиция I) и достигла нижнего концентрационного предела распространения пламени в пространстве между стенкой и пенобарьером, когда ПК опустилась на опорные стойки, т.е. до нижнего, минимального уровня откачки нефти (позиция I на рис. 14). Чем ниже расположение ПК, тем выше концентрация ПВС над поверхностью ПК.

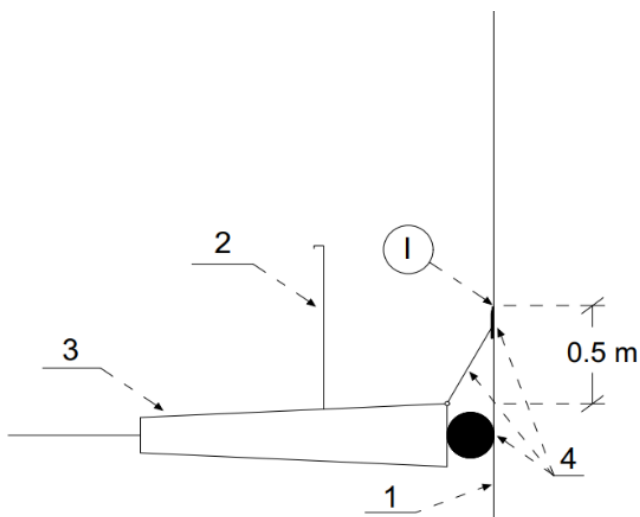


Рисунок 14 – Место фиксации максимальных значений ПВС в ПЭУ

1 – стенка резервуара; 2 – пенобарьер;
3 – ПК; 4 – уплотняющий затвор;
положение I – край уплотняющего затвора

В результате обработки экспериментальных данных, представленных на графиках, получены эмпирические зависимости для определения изменения концентрации ПВС при уменьшении высоты расположения ПК при откачке:

$$C_{\% \text{ НПВ1}} = 0,17 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}})^2 + 3,47 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}}) + 2; \quad (5)$$

$$C_{\% \text{ НПВ2}} = 0,26 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}})^2 + 0,91 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}}) + 1; \quad (6)$$

$$C_{\% \text{ НПВ3}} = 0,25 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}})^2 - 0,3 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}}) + 0,7; \quad (7)$$

$$C_{\% \text{ НПВ4}} = 0,14 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}})^2 - 0,25 \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{взл}}) + 0,4 \quad (8)$$

Преобразуя формулы (5)–(8) с учетом времени откачки и средней скорости опускания ПК получаем формулы для определения изменения концентрации ПВС в местах замеров на ПК в зависимости от времени откачки:

$$C_{\% \text{ НПВ1}} = 0,17 \cdot (\bar{V} \cdot \tau)^2 + 3,47 \cdot \bar{V} \cdot \tau + 2; \quad (9)$$

$$C_{\% \text{ НПВ2}} = 0,26 \cdot (\bar{V} \cdot \tau)^2 + 0,91 \cdot \bar{V} \cdot \tau + 1; \quad (10)$$

$$C_{\% \text{ НПВ3}} = 0,25 \cdot (\bar{V} \cdot \tau)^2 - 0,3 \cdot \bar{V} \cdot \tau + 0,7; \quad (11)$$

$$C_{\% \text{ НПВ4}} = 0,14 \cdot (\bar{V} \cdot \tau)^2 - 0,25 \cdot \bar{V} \cdot \tau + 0,4; \quad (12)$$

где $C_{\% \text{ НПВ1}}$ – процент концентрации ПВС по краю уплотняющего затвора при откачке; $C_{\% \text{ НПВ2}}$ – процент концентрации ПВС на стенке резервуара в 1 м от ПК при откачке; $C_{\% \text{ НПВ3}}$ – процент концентрации ПВС на полу ПК между уплотняющим затвором и пенобарьером при откачке; $C_{\% \text{ НПВ4}}$ – процент концентрации ПВС на стенке резервуара в 2 м от ПК при откачке; H_{max} – максимальный уровень взлива в начале откачки, м; $H_{\text{взл}}$ – уровень взлива при откачке, м; $\bar{V}$ – средняя скорость опускания плавающей крыши, м/ч; τ – время откачки, час, $H_{\text{max}} - H_{\text{взл}} = \bar{V} \cdot \tau$.

Проведено теоретическое исследование опасности распространения опасных факторов пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром. Изучены и рассчитаны: термические и геометрические параметры факела пожара; температура локального участка стенки резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром; плотность падающего теплового потока от факела горящего резервуара на элемент конструкции рядом расположенного резервуара; возможность и продолжительность нагрева элемента конструкции резервуара до температуры самовоспламенения; температура поверхностного слоя ЛВЖ в РВСПК, расположенном рядом с горящим РВСПК; количество тепла, подводимого к поверхностному слою ЛВЖ; температура поверхностного слоя ЛВЖ.

Температура участка стенки резервуара через 60 с облучения, °С:

$$t_w = \frac{0,95q_w}{2\alpha} \left[1 - \exp \left(- \frac{1,28\alpha\tau}{c_w\rho_w\delta_w} \right) \right] + t_f = 30 \text{ °С}, \quad (13)$$

Температура участка ПК через 60 с облучения, °С:

$$t_{\text{п.сл}} = \frac{Q_1+Q_2+Q_3}{\alpha_{\text{пр}}f_3} \left[1 - \exp \left(- \frac{\alpha_{\text{пр}}\tau}{c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}(h_{\text{п}}-h_{\text{ж}})+c_{\text{ж}}\rho_{\text{ж}}\delta_{\text{ж}}} \right) \right] + t_{\text{ж}} = 25,8 \text{ °С}, \quad (14)$$

где $c_{\text{п}}$ – теплоемкость паровоздушной смеси, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; $\rho_{\text{п}}$ – плотность паровоздушной смеси, кг·м⁻³; $c_{\text{ж}}$ – теплоемкость ЛВЖ, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность ЛВЖ, кг·м⁻³; $t_{\text{ж}}$ – температура основной массы ЛВЖ в резервуаре, °С; $h_{\text{п}}$ – высота резервуара, м; $h_{\text{ж}}$ – уровень взлива ЛВЖ в резервуаре, м; q_w – плотность

падающего теплового потока от факела горящего резервуара на элемент конструкции облучаемого резервуара, расположенной по нормали к основанию факела пожара, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; Q_1 - количество тепла, выносимое на поверхность ЛВЖ вдоль нагретой стенки пограничным всплывающим тепловым слоем, в единицу времени, Вт; Q_2 – количество тепла, получаемое поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с облучаемой стенкой, Вт; Q_3 – количество тепла, поступающего на поверхность ЛВЖ в результате теплообмена от нагреваемой пожаром крыши, Вт; $\alpha_{\text{пр}}$ - коэффициент теплоотдачи составило $33,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; $\delta_{\text{ж}}$ - характерная толщина теплового поверхностного слоя составило $0,053 \text{ м}$.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1 и показаны на рисунке 15.

Таблица 1 – Расчетные параметры, характеризующие процесс нагрева элементов резервуара, расположенного рядом с горящим РВСПК-65000

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Продолжительность теплового воздействия, τ , мин												
	0	1	3	5	10	15	20	60	120	180	240	300	360
Стенки резервуара	24	28	35	42	57	69	80	122	134	136	136	136	136
Плавающей крыши	24	24,6	25,8	27	29,7	32,1	34,2	45,2	51	52	53	53,2	53,2

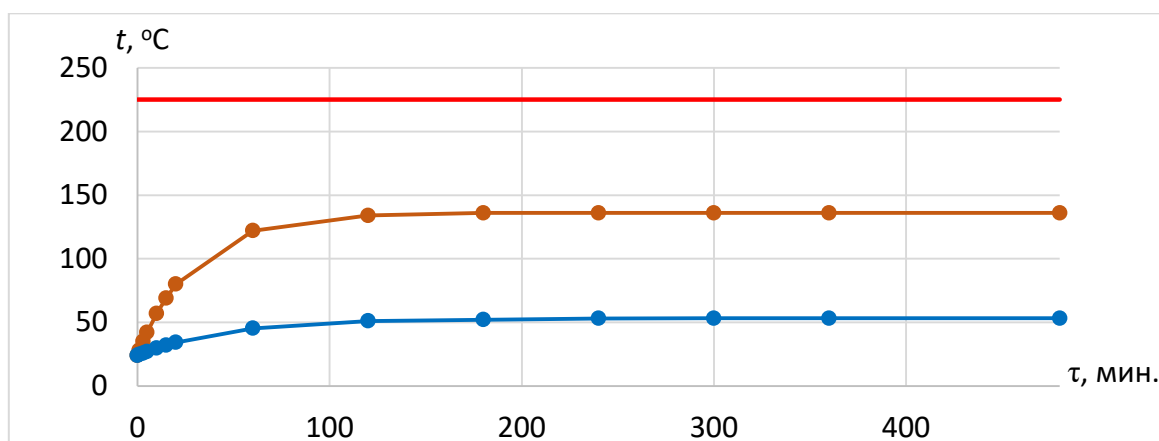


Рисунок 15 – Изменение температуры на стенке и на поверхности ПК в соседнем с горящим резервуаре в зависимости от времени теплового воздействия пожара
— Температура стенки резервуара; — Температура плавающей крыши;
— Температура воспламенения нефти «Белый Тигр».

В ходе натурного эксперимента установлено, что время экстренной откачки нефти из РВСПК-65000 составило 13 ч 55 мин. Сравнивая расчетные и экспериментальные данные можно видеть, что температуры на стенке резервуара и на ПК со стороны горящего резервуара через 3 ч воздействия пожара составят соответственно 136 и 53,2 $^\circ\text{C}$, то есть не превысят температуру самовоспламенения нефти месторождения «Белый Тигр» равную 225 $^\circ\text{C}$.

Таким образом, над ПК при откачке из РВСПК сырой нефти может образоваться ВОК в пределах НКПР. Однако температуры стенки резервуара, плавающей крыши и сырой нефти не достигают опасных значений температурных пределов распространения пламени.

В четвертой главе приведены результаты моделирования оценки влияния

теплового потока от пожара нефти в РВСПК-65000 при различных скоростях ветра на соседний РВСПК. В работе использовано применяемое на кафедре информационных технологий Института пожарной безопасности МОБ Вьетнама программное обеспечение (далее – ПО) FDS, разработанное Институтом исследований пожаров в зданиях Американского института стандартов и технологий. ПО разработано на основе моделей горения, гидродинамических моделей и моделей теплового излучения с использованием уравнений сохранения массы, импульса и энергии для описания параметров распространения пожара: скорости, температуры и концентрации с целью оценки опасных факторов пожара в различных точках пространства и их изменений во времени.

Установлено, что в стадии стабильного горения участвует большое количество воздуха, образующее сильный пульсирующий грибовидный шлейф с длиной факела пламени $h_{\phi} = 62,8$ м и наклоном пламени 0° (см. рис. 16).

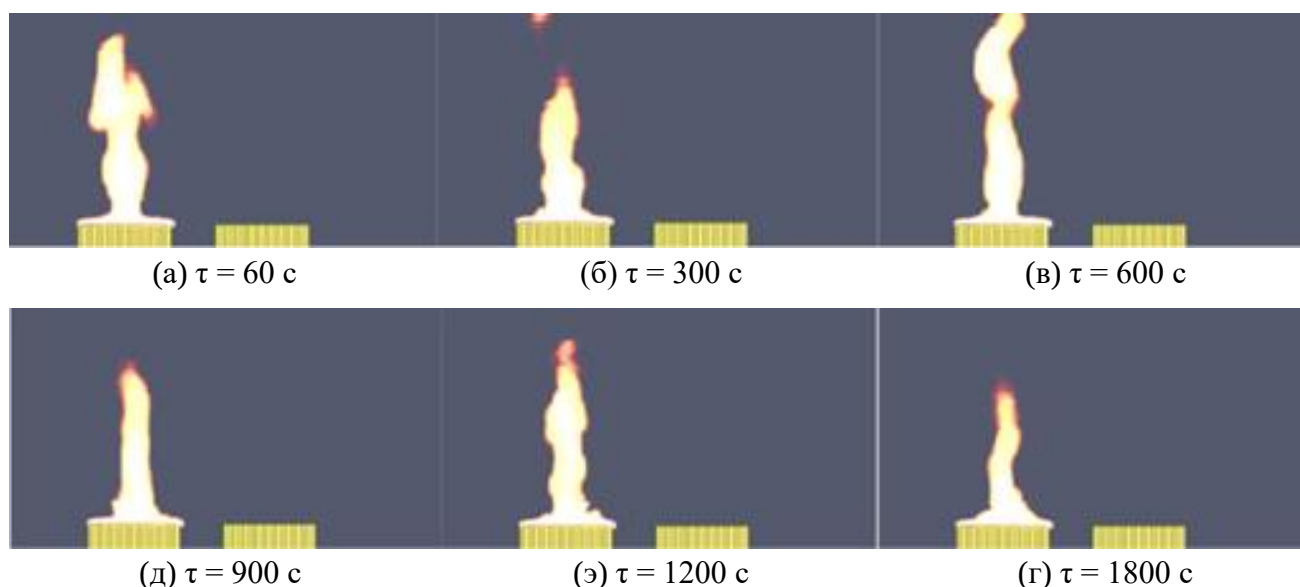


Рисунок 16 - Форма пламени в зависимости от времени при отсутствии ветра

При ветре пламя и дым отклоняются в сторону негорящего резервуара, а с увеличением скорости ветра возрастает угол наклона пламени. При скоростях ветра $v = 0; 6,5; 9$ м/с, углы наклона составляют соответственно $\phi = 0; 47,38; 56,64$ град. Когда скорость ветра достигает 9 м/с, пламя может стелиться параллельно земле (рис. 17).

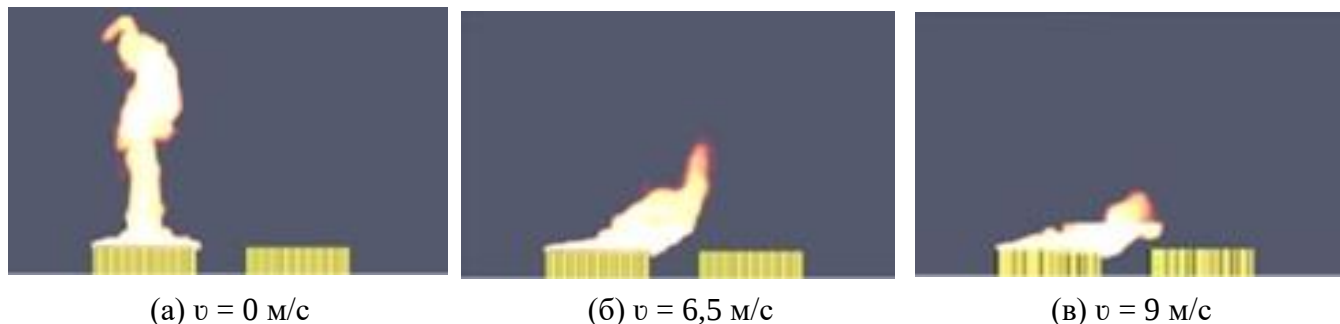


Рисунок 17 - Форма пламени при различных скоростях ветра при 1800 с

Установлена зависимость угла наклона пламени от скорости ветра. С

увеличением скорости ветра угол наклона пламени возрастает (рис. 18).

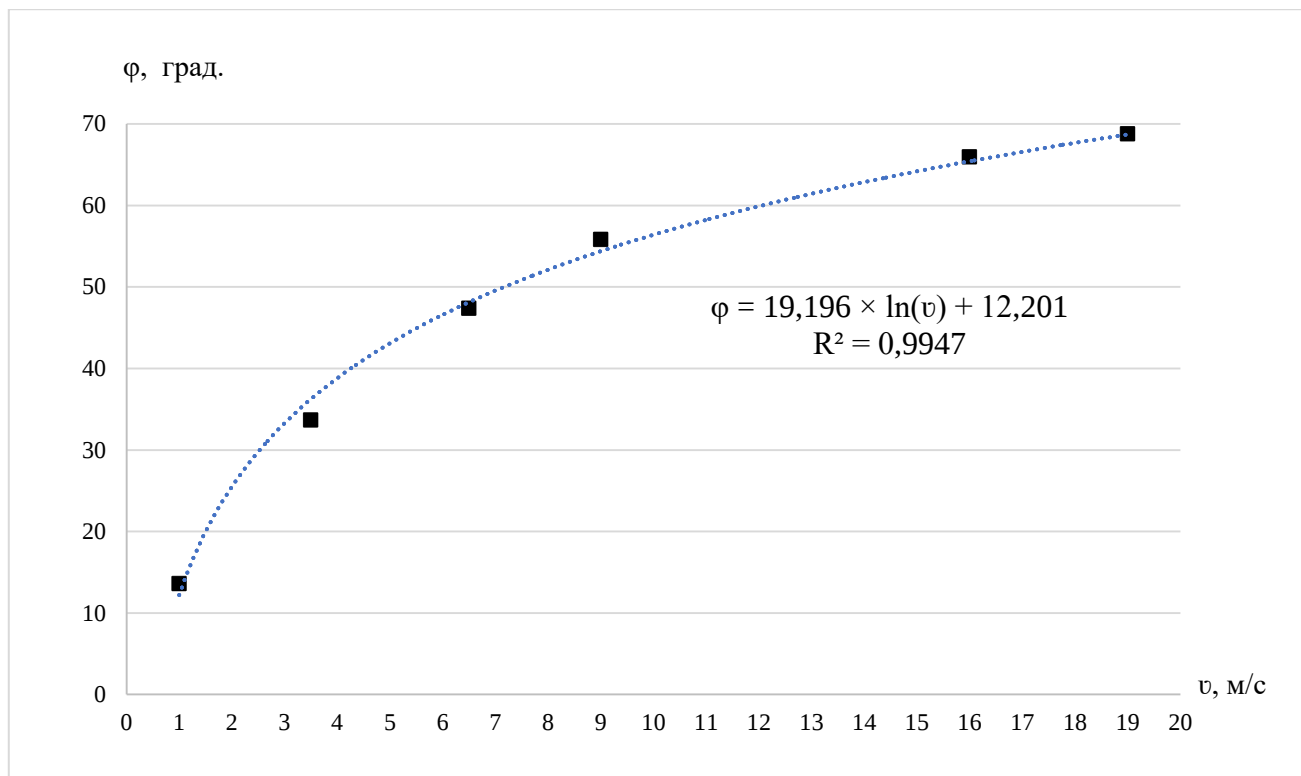


Рисунок 18 - Зависимость угла наклона пламени при разных скоростях ветра

На рис. 19 показано распределение горячего дыма и пламени при различных скоростях ветра через 1800 с свободного горения. Видно, что при отсутствии ветра пламя и дым в основном поднимаются вертикально вверх. Скорость ветра существенно влияет на угол наклона столба дыма и пламени, оказывая влияние на соседний резервуар. Когда скорость ветра достигает $v = 9$ м/с и выше, дым пожара, покрывает поверхность соседних резервуаров.

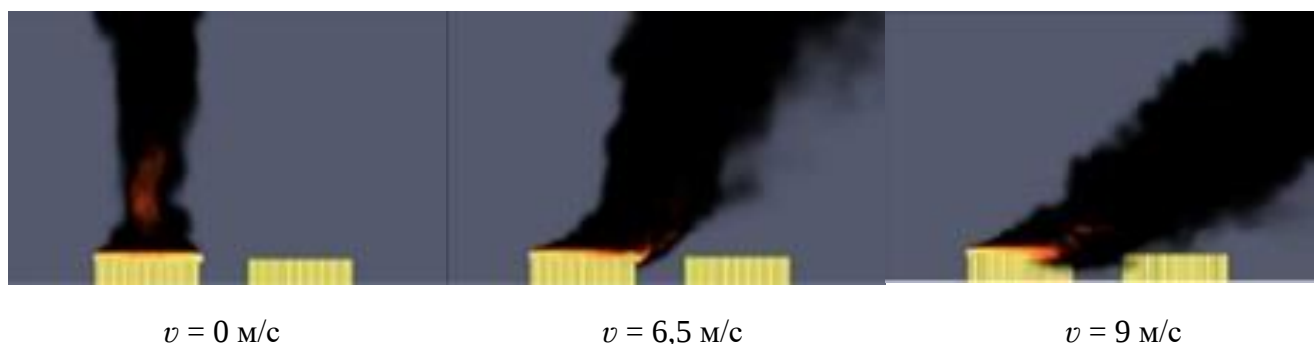


Рисунок 19 – Положения столба дыма при различных скоростях ветра через 1800 с свободного горения

Расчетным путем получены значения теплового потока на поверхности плавающей крыши соседнего с горящим резервуара при различных скоростях ветра (рис.20).

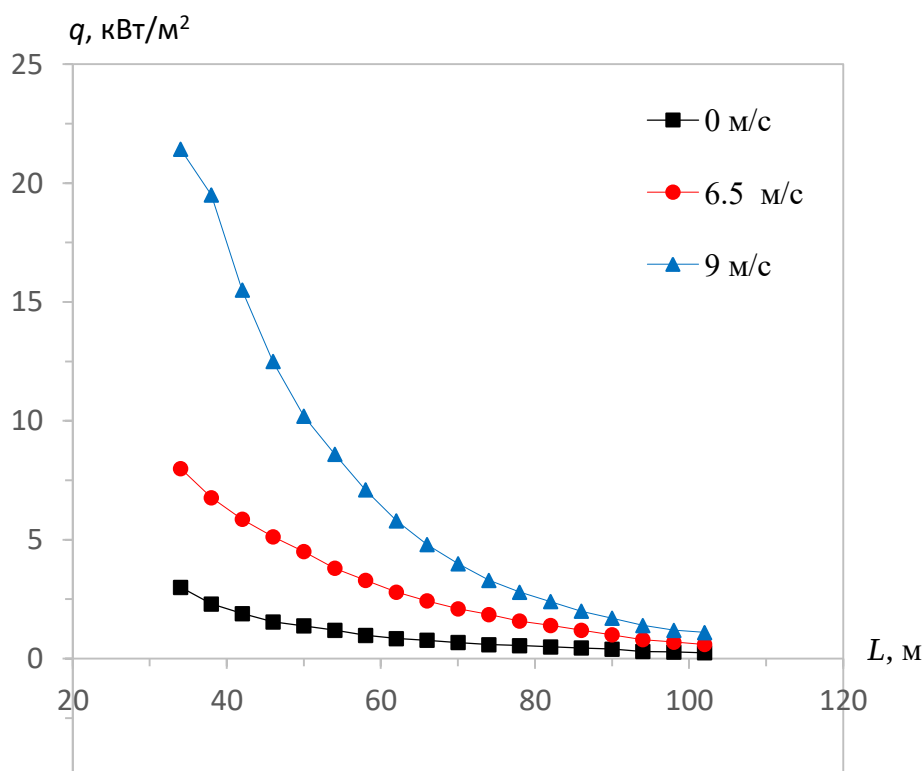


Рисунок 20 - Значение теплового потока на поверхности плавающей крыши соседнего с горящим резервуара при различных скоростях ветра

Из рис. 20 следует, что значение теплового излучения вблизи центра источника пожара является наибольшим. С увеличением расстояния от центра пожара интенсивность теплового излучения уменьшается.

При повышении скорости ветра площадь воздействия теплового излучения сначала увеличивается, а затем уменьшается. В частности, при скорости ветра от 0 до 9 м/с интенсивность теплового излучения увеличивается, и при скорости ветра 9 м/с, она достигает максимального значения – 23,43 кВт/м². Следовательно, именно скорость ветра влияет на достижение максимального значения интенсивности теплового излучения.

Скорость ветра влияет на распределение температур в конструкциях соседнего негорящего резервуара, так как при сильном ветре область высокой температуры переносится с края соседних резервуаров в его центр. Рост температуры напрямую зависит от скорости ветра и влияет на интенсивность теплового излучения и температуру, исходящие от горящего резервуара. Ветровые потоки приводят к наклону пламени и дыма по направлению ветра, а угол наклона столба дыма и пламени возрастает с увеличением скорости ветра.

Поэтому при откачке нефти из соседнего с горящим резервуара необходимо охлаждать его стенки стационарными системами орошения и струями от передвижной пожарной техники.

В пятой главе представлены «Рекомендации по обеспечению безопасности в процессе откачки нефти из негорящего РВСПК при пожаре соседнего резервуара», в которых на основе полученных данных разработаны рекомендации по безопасной откачке нефти до минимально возможного уровня разлива из негорящего РВСПК при пожаре соседнего резервуара, а также приведена методика проведения безопасной откачки нефти из негорящего РВСПК при пожаре в соседнем резервуаре.

В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложении приведен акты внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены характеристика и пожарная опасность РВСПК, проанализированы характерные данные о пожарах в резервуарных парках Вьетнама, России и мира.

2. Разработаны программы и проведены натурные эксперименты по нормальной и экстремальной откачке нефти из негорящих РВСПК номинальной вместимостью 14000, 65000 и 120000 м³. Получены экспериментально обоснованные выражения для оценки времени экстремальной откачки нефти из РВСПК. Применительно к РВСПК вместимостью от 14000 до 120000 м³ в полученные выражения введены безразмерные поправочные коэффициенты k , характеризующие снижение скорости откачки при понижении уровня взлива откачиваемой ГЖ. Определены режимы экстремальной работы насосных систем для обеспечения безопасной, ускоренной откачки нефти из РВСПК, соседних с горящим резервуаром во Вьетнаме.

3. Экспериментально исследован процесс формирования концентраций ПВС над ПК при откачке нефти из РВСПК-65000 м³. Установлено, что над поверхностью ПК возможно образование зон ВОК при откачке нефти.

4. Методами математического моделирования оценено влияние теплового потока от горящего на соседний РВСПК при различных скоростях ветра. Установлено, что температуры на обогреваемых пожаром стенке и конструкциях плавающей крыши, соседнего с горящим РВСПК, не превышают температуру самовоспламенения СУВС нефти из месторождения «Белый тигр».

5. На основе экспериментальных и расчетных данных разработаны рекомендации по безопасной откачке нефти из негорящего РВСПК при пожаре соседнего резервуара во Вьетнаме.

Основные научные результаты работы опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:

1. Ле, В.Х. Безопасная откачка нефти из горящих вертикальных стальных резервуаров / В.С. Клубань, В.Х. Ле, Л.Т. Панасевич // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1(83). – 2019. – С. 14-23. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.14-23.

2. Ле, В.Х. Особенности безопасной откачки нефти из горящих вертикальных стальных резервуаров с плавающей крышей [Текст] / В.С. Клубань, Л.Т. Панасевич, В.Х. Ле // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – №1 - 2019. С. 42-46. DOI: 10.25257/FE.2019.1.42-46.

3. Ле, В.Х. Экспериментальная оценка формирования взрывоопасной среды над плавающей крышей резервуара для хранения нефти в процессе откачки при пожаре соседнего резервуара / В. В. Рубцов, В.Х. Ле, В.Х. Чан // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1 (95). – 2022. – С. 8-21. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.8-21.

4. Ле, В.Х. Экстренная откачка нефти из резервуара с плавающей крышей при пожаре соседнего резервуара на нефтехранилищах Вьетнама / Ле Вьет Хай // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1 (95). – 2022. – С. 22-36. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.22-36.

Остальные публикации по теме диссертации:

5. Ле, В.Х. Особенности безопасной откачки при горении нефти на плавающей крыше / В.С. Клубань, Л.З. Нгуен, В.Х. Ле // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019 г. – С. 17–21.

6. Ле, В.Х. Оценка пожарной опасности резервуарных парков для хранения нефти в Социалистической Республике Вьетнам / В.С. Клубань, В.Х. Ле, Л.З. Нгуен, Л.Т. Панасевич // IV Международная научно-практическая конференция, посвященная Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020 г. – С. 285–294.

7. Ле, В.Х. Предотвращение выбросов нефти из горящих резервуаров вертикальных стальных с плавающей крышей, вместимостью 120000 м³ во Вьетнаме / В.С. Клубань, В.Х. Ле, Л.З. Нгуен // IV Международная научно-практическая конференция, посвященная Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020 г. – С. 294–299.

8. Ле, В.Х. Safe oil pumping from burning vertical steel tanks to increase fire efficiency, reduce the harmful effects to people and the environment / В.С. Клубань, В.Х. Ле, В.Х. Чыонг // Международная конференция «The role of the fire police force in response to non – traditional security threats / Роль пожарной полиции в ответ на нетрадиционные угрозы безопасности». – Ханой.: Институт пожарной безопасности МОБ Вьетнама, 2020 г. – С. 1630–1639.

9. Ле, В.Х. Особенности откачки нефти из горящих вертикальных стальных резервуаров с плавающей крышей / В.С. Клубань, В.Х. Ле, К.Т. Буй // Журнал «Вестник Кокшетауского технического института». – № 2 (38), 2020 г. – С. 40–45.

10. Ле, В.Х. Пожаровзрывоопасность резервуара с плавающей крышей на нефтехранилищах Вьетнама / В.Х. Ле, В.В. Рубцов, В.Х. Хан // XI Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности». – М.: АГПС МЧС России, 2022 г. – С. 22–28.

11. Ле, В.Х. Откачка нефти из резервуара с плавающей крышей соседнего с горящим / В.Х. Ле, В.В. Рубцов, К.Х. Фам, Ч.Х. Чан, В.Х. Чан // IX Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная АГПС МЧС России, 2022 г. – С. 230–235.

Подписано в печать 21.07.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 508.

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4