



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»

Мир технологий
пожарной безопасности

(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)

ОРЕНБУРГСКИЙ ФИЛИАЛ

ул. Луговая, д.6, пос. Пригородный, Оренбургский р-н, Оренбургская область, 460507

УТВЕРЖДАЮ

Начальник
Оренбургского филиала
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

В.И. Безбородов

2026 г.

М.П.



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ №96/28.11.2025/26-4-13

Проведение исследований возможности и эффективности применения
воздушно-механической пены высокой кратности (тип «Аквафом» - ПНСВ-3%,
с рабочей концентрацией 3% /тип пены AFFF/AR по ГОСТ Р 50588-2012)
при ликвидации аварийных ситуаций на объектах с обращением СПГ
(п.3.1 «Перечня приоритетных направлений исследований
в области пожарной безопасности СПГ»): модельный очаг площадью 50 м²

(наименование объекта исследования, условное обозначение)

196006, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Московская Застава,
ул. Цветочная, 25Ж, эт./помещ 1/1-Н/офис 105а,

ООО «Пожнефтехим»

(место нахождения, адрес, наименование заказчика)



Мир технологий
пожарной безопасности



Лист согласования представителями
ООО «Пожнефтехим»

Мир технологий
пожарной безопасности
Генеральный директор

А.Н. Решетникова

Технический директор,
кандидат технических наук

С.А. Панов

www.pnx-spb.ru

Без разрешения ГК «Пожнефтехим»
Документ применению не подлежит

www.pnx-spb.ru



Мир технологий

1 Сведения об организации, проводившей испытания	4
2 Наименование и адрес Заказчика	4
3 Основание для проведения испытаний	4
4 Даты проведения испытаний	5
5 Место проведения испытаний.....	5
6 Характеристика объекта испытаний, предмет испытаний	6
7 Метод испытания.....	8
8 Порядок проведения испытания	14
9 Сведения об использованных средствах измерений и контроля	17
10 Сведения об использованных веществах и материалах.....	18
11 Список лиц, участвовавших в исследованиях со стороны Заказчика	19
12 Результаты испытаний.....	19
12.1 Результаты Испытания №1 (24.09.2025) с математической обработкой данных	20
12.2 Результаты Испытания №2 (25.09.2025) с математической обработкой данных	25
12.3 Результаты Испытания №3 (26.09.2025) с математической обработкой данных	30
13 Исполнители	38
Приложение А. Паспорт качества СПГ	39
Приложение Б. Фото с испытаний	40
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	52

1 Сведения об организации, проводившей испытания

Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Мир технологий
пожарной безопасности

Юридический адрес: 460507, Оренбургская область, Оренбургский район,
пос. Пригородный, ул. Луговая, д.б.

Адрес места осуществления деятельности: ул. Полигонная, с. Нижняя
Павловка, Оренбургский район, Оренбургская область.

2 Наименование и адрес Заказчика

ООО «Пожнефтехим», 196006, г. Санкт-Петербург, вн.тер.г муниципальный
округ Московская Застава, ул Цветочная, 25Ж, эт./помещ 1/1-Н / офис 105а.

3 Основание для проведения испытаний

Договор № 242 от 12.07.2021 года между Оренбургским филиалом
ФГБУ ВНИИПО МЧС России и ООО «Пожнефтехим» (далее - договор; с учетом
Дополнительного соглашения от 30.12.2025 №1 к договору) на выполнение
научно-исследовательской работы* (далее – НИР, Работы) по исследованию
возможности и эффективности применения пены высокой кратности при
ликвидации аварийных ситуаций на объектах с обращением сжиженного
природного газа (далее — СПГ).

Программа и методика Исследований «Проведение исследований
возможности и эффективности применения различных огнетушащих веществ при
ликвидации аварийных ситуаций на объектах с обращением СПГ (п.3.1 «Перечня
приоритетных направлений исследований в области пожарной безопасности
СПГ»), шифр 01-07-2021/3.1.ПМ.

**НИР является частью комплексной научно-исследовательской работы по
исследованию потенциальной опасности аварийных ситуаций в технологических процессах с
наличием СПГ и проведению натурных испытаний по определению наиболее эффективных
способов предотвращения аварий и пожаров, средств и способов их локализации и ликвидации,
а также снижения тяжести их последствий для проектов строительства объектов СПГ,*

4 Даты проведения испытаний

24.09.2025 г. - 26.09.2025 г.

5 Место проведения испытаний

Местом проведения исследования является Полигонный стенд для проведения экспериментальных исследований потенциальной пожарной опасности аварийных ситуаций в технологических процессах с наличием сжиженного природного газа (далее – Полигонный стенд СПГ) (расположенный на базе Испытательного учебно-тренировочного полигона ФГБУ ВНИИПО МЧС России, расположенного по адресу: Оренбургская область, Оренбургский район, с. Нижняя Павловка, ул. Полигонная), включающий в себя участок оценки эффективности огнетушащих веществ при пожарах СПГ, объединяющий в себе систему подачи и сжигания СПГ, систему измерения и регистрации параметров исследования.

Общий вид площадки для проведения испытаний представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид Полигонного стенда для проведения экспериментальных исследований потенциальной пожарной опасности аварийных ситуаций в технологических процессах с наличием СПГ

6 Характеристика объекта испытаний, предмет испытаний

Настоящее исследование проведено с целью оценки влияния воздушно-механической пены высокой кратности, получаемой из рабочего раствора фторсинтетического пленкообразующего спиртоустойчивого пенообразователя типа AFFF/AR «Аквафом» - ПНСВ-3%, на динамику теплового излучения и параметры пламенного горения паров сжиженного природного газа при пожаре пролива, а также определение возможности временного снижения и удержания плотности теплового потока от очага горения.

Объектом исследований является комплекс оборудования (система), состоящий(ая) из ветрозащищенных генераторов пены высокой кратности, пенообразователя, системы хранения и дозирования применение которого(ой)

потенциально возможно при локализации и ликвидации аварий и пожаров на объектах сжижения, транспортировки, хранения, регазификации СПГ.

Предмет испытаний - изменение плотности теплового потока и характера пламенного горения паров СПГ при воздействии слоя воздушно-механической пены высокой кратности на основе пенообразователя AFFF/AR «Аквафом» - ПНСВ-3% на поверхность горящего СПГ, включая:

- снижение плотности теплового потока относительно режима свободного горения;
- время достижения заданных уровней снижения теплового потока;
- продолжительность удержания пониженного уровня теплового излучения после прекращения подачи пены;
- влияние ветровых и тепловых факторов на живучесть и способность генераторов производить пену с требуемыми параметрами.

Общие сведения об объектах испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Общие сведения

<p>Наименование продукции</p>	<p>Синтетический фторсодержащий спиртоустойчивый пенообразователь целевого назначения для тушения водорастворимых и водонерастворимых горючих жидкостей пеной низкой, средней, высокой кратности «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3%, выпускаемый по ТУ 2412-039-72410778-2016. Сертификат соответствия ТР ЕАЭС 043/2017 № С- RU.ЧС13.В.00015/20</p> <p>Ветрозащищенные генераторы пены высокой кратности типа ГВПЭ «Фаворит» наружного размещения, ТУ 4854-020-72410778-08. Сертификат соответствия ТР ЕАЭС 043/2017 № ЕАЭС RU С- RU.ПБ97.В.00128/21</p> <p>Система хранения и дозирования пенообразователя на базе дозатора (тип бак-дозатор) «Антифайер», ТУ 4854-016-72410778-2009. Сертификаты соответствия ТР ЕАЭС 043/2017 № ЕАЭС RU С- RU.ПБ97.В.00127/21. Декларация о соответствии ТР ТС 032/2013 № ЕАЭС N RU Д- RU.РА09.В.64161/25.</p>
<p>Изготовитель продукции</p>	<p>ООО «ТПК ПОЖНЕФТЕХИМ», адрес: 109428, Россия, г. Москва, Рязанский проспект, д. 10, стр. 18, этаж 6 ком. 1-7. Адрес производства: 141282, Россия, Московская область, Пушкинский район, г. Ивантеевка, ул. Толмачева, 49.</p>

Мир технологий

пожарной безопасности

Образец для испытаний предоставлен изготовителем продукции с копиями сопроводительных документов.

7 Метод испытания

Испытания проводились в соответствии с утвержденной Программой и методикой Исследований №3 «Проведение исследований возможности и эффективности применения различных огнетушащих веществ при ликвидации аварийных ситуаций на объектах с обращением СПГ (п. 3.1 «Перечня приоритетных направлений исследований в области пожарной безопасности СПГ»), шифр 01-07-2021/3.1.ПМ.

Определение способности воздушно-механической пены высокой кратности снижать плотность теплового потока при горении паров СПГ реализовано на модельном очаге (представлен на рис.2, 3), наполненном СПГ. Контрольно-измерительные приборы (датчики теплового потока, термопары) установлены согласно схемам, приведенным на рисунках 3.1-3.5. Характеристики модельного очага указаны в таблице 3. В качестве огнетушащего вещества использован: пена высокой кратности из рабочего раствора синтетического фторсодержащего спиртоустойчивого пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых и водонерастворимых горючих жидкостей «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3%, выпускаемого по ТУ 2412-039-72410778-2016. Сертификат соответствия ТР ЕАЭС 043/2017 № С- RU.ЧС13.В.00015/20 компании ООО «ПОЖНЕФТЕХИМ».

Условия проведения испытания приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Условия проведения испытания

№ п/п	Наименования параметра	Значение
Предварительные (калибровочные) испытания 23.09.2025		

№ п/п	Наименования параметра	Значение
1	Температура окружающей среды, °С	+25
2	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	755
3	Влажность воздуха, %	36
4	Скорость ветра, м/с	6,3
5	Природные осадки	отсутствовали
6	Количество и тип работающих генераторов пены высокой кратности	ГВПЭ-200 (1 шт.) + ГВПЭ-150 (2 шт.)
7	Суммарный расход рабочего раствора пенообразователя, л/мин	500
8	Давление рабочего раствора пенообразователя, МПа	0,6
9	Кратность пены	400
24.09.2025		
1	Температура окружающей среды, °С	+21
2	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	724
3	Влажность воздуха, %	42
4	Скорость ветра, м/с	6,6
5	Природные осадки	отсутствовали
6	Количество и тип работающих генераторов пены высокой кратности	ГВПЭ-200 (1 шт.) + ГВПЭ-150 (2 шт.)
7	Суммарный расход рабочего раствора пенообразователя, л/мин	500
8	Интенсивность подачи пены	10 л/(мин·м ²) или 0,17 л/(сек·м ²)
9	Давление рабочего раствора пенообразователя, МПа	0,6
10	Кратность пены	400
25.09.2025		
1	Температура окружающей среды, °С	+10
2	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	741
3	Влажность воздуха, %	68
4	Скорость ветра, м/с	5,3
5	Природные осадки	отсутствовали
6	Количество и тип работающих генераторов пены высокой кратности	ГВПЭ-200 (1 шт.) + ГВПЭ-150 (1 шт.)
7	Суммарный расход рабочего раствора пенообразователя, л/мин	350
8	Интенсивность подачи пены	7 л/(мин·м ²) или 0,12 л/(сек·м ²)
9	Давление рабочего раствора пенообразователя, МПа	0,6
10	Кратность пены	400
26.09.2025		

№ п/п	Наименования параметра	Значение
1	Температура окружающей среды, °С	+14
2	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	753
3	Влажность воздуха, %	31
4	Скорость ветра, м/с	5,3
5	Природные осадки	отсутствовали
6	Количество и тип работающих генераторов пены высокой кратности	ГВПЭ-200 (1 шт.) + ГВПЭ-150 (2 шт.)
7	Суммарный расход рабочего раствора пенообразователя, л/мин	500
8	Интенсивность подачи пены	10 л/(мин·м ²) или 0,17 л/(сек·м ²)
9	Давление рабочего раствора пенообразователя, МПа	0,6
10	Кратность пены	400

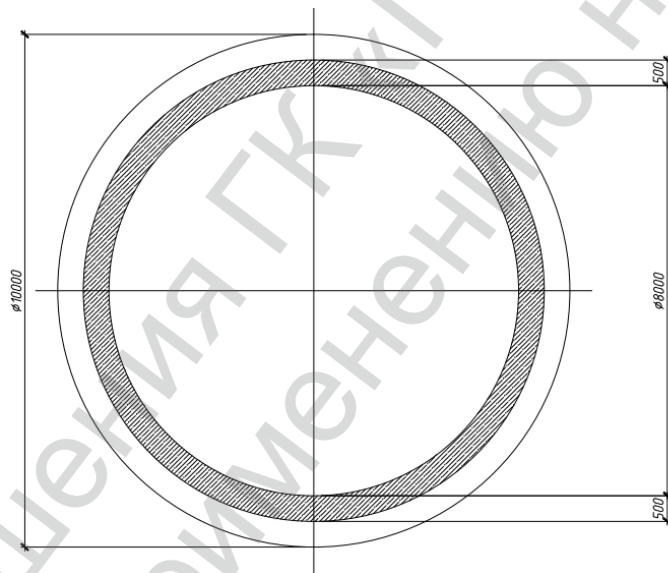


Рисунок 2 – Модельный очаг №4 для испытаний (вид сверху).

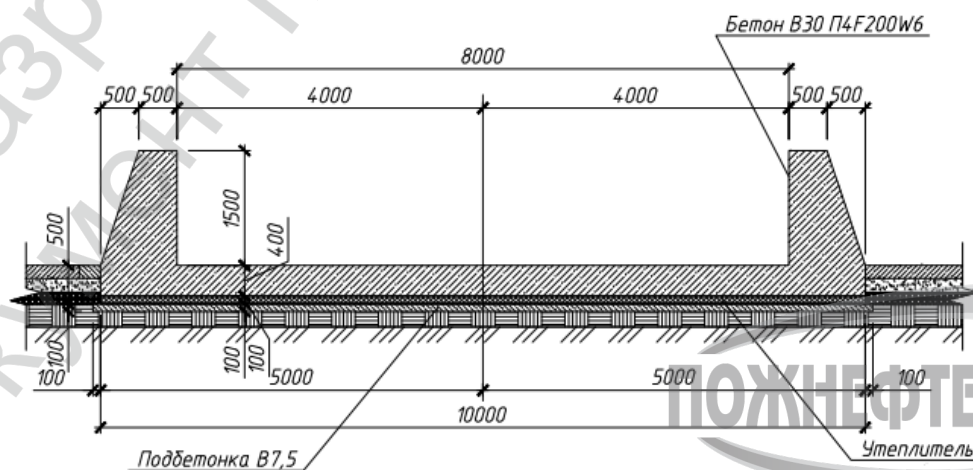


Таблица 3 - Параметры модельного очага №4

Наименование параметра	Значение
Тип горючего	Сжиженный природный газ
Для испытания 1-3: Уровень налива, мм	150
Размер модельного очага:	
Диаметр, м	8,0
Площадь, м ²	50,24
Глубина, м	1,5
Исполнение модельного очага	комбинированный приямок из криогенностойкого бетона со слоем утеплителя



Рисунок 3 – Модельный очаг №4 для испытаний

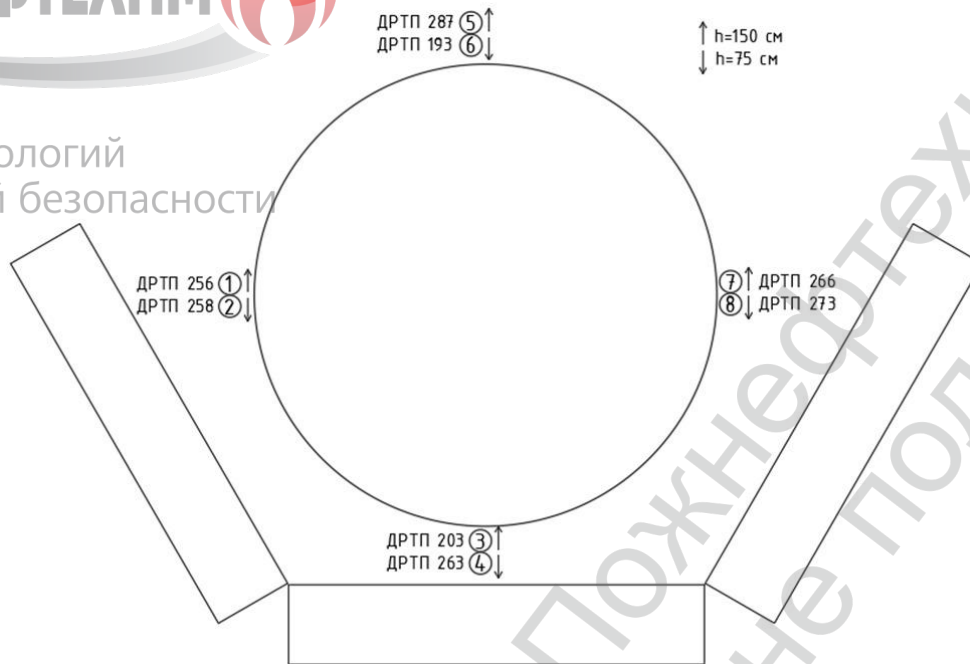


Рисунок 3.1 - Схема расположения датчиков теплового потока (ДРТП) на удалении 1,5 м от модельного очага №4 и на высоте 0,75 м и 1,5 м от уровня края борта модельного очага №4 для испытания №1 (24.09.2025).

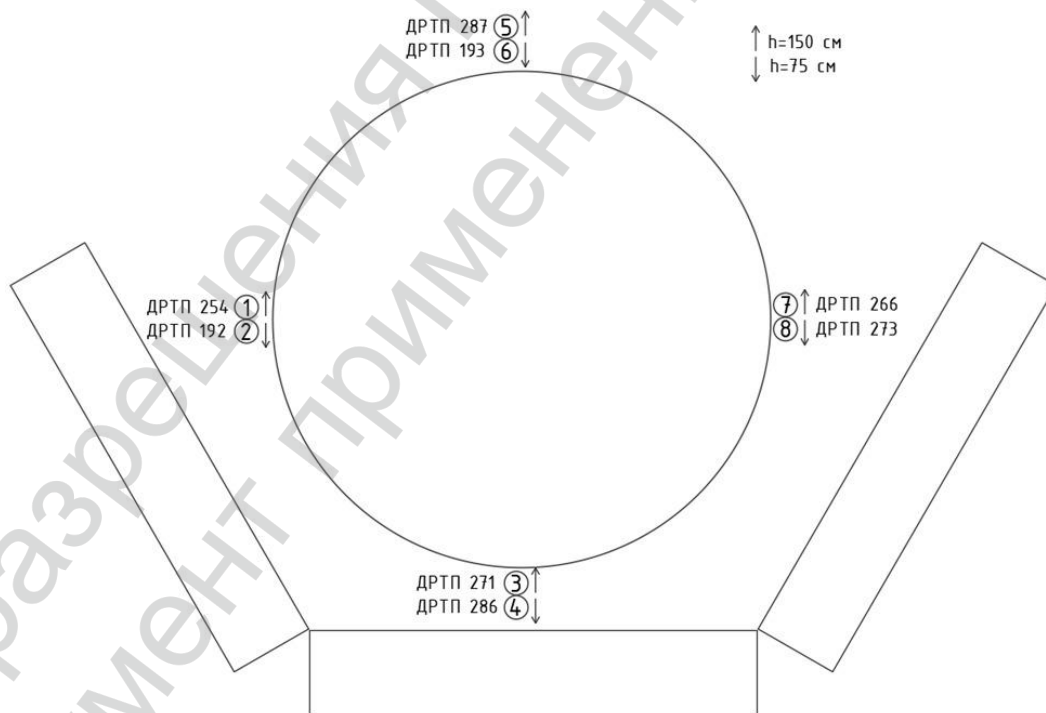


Рисунок 3.2 - Схема расположения датчиков теплового потока (ДРТП) на удалении 1,5 м от модельного очага №4 и на высоте 0,75 м и 1,5 м от уровня края борта модельного очага №4 для испытания №2-3 (25.09.2025-26.09.2025).



Рисунок 3.3 - Расположение датчиков теплового потока (ДТП) на удалении 1,5 м от модельного очага №4 и на высоте 0,75 м и 1,5 м от уровня площадки для испытания №1-3 (24.09.2025-26.09.2025).



Рисунок 3.4 – Расположение датчиков температуры в модельном очаге №4 по высоте на уровне 0,05 м, 0,1 м, 0,15 м от днища модельного очага

8 Порядок проведения испытания

В ходе решения задачи по оценке влияния воздушно-механической пены на процесс горения паров СПГ изучается влияние огнетушащего вещества (далее - ОТВ) воздушно-механической пены (далее - ВМП), определение его способности снижать плотность теплового потока при горении паров СПГ в модельном очаге.

Во время проведения испытаний проведено измерение следующих параметров:

- метеорологические (атмосферные) параметры окружающего воздуха;
- плотность теплового потока от пожара пролива СПГ;
- видеофиксация процесса взаимодействия ОТВ с горячей жидкой фазой

СПГ в модельном очаге.

Определение способности ВМП на основе пенообразователя «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3% к снижению плотности теплового потока при горении паров СПГ осуществлено в следующем порядке:

8.1. Произведено наполнение модельного очага жидкой фазой СПГ до уровня – 0,15 м (Испытание №1-3). Наполнение осуществлено по криогенному трубопроводу подачи СПГ от танк-контейнера СПГ (управление подачей СПГ от танк-контейнера выполнено сотрудником филиала, прошедшим соответствующее обучение).

8.2. Произведен поджиг паров СПГ с помощью ручной системы дистанционного поджига, а также наблюдение их свободного горения до установления однородного теплового потока, фиксируемого датчиками радиационного теплового потока (ДРТП-15), установленными согласно схемам см. рисунок 3.1-3.2.

8.3. После стабилизации горения паров СПГ очаг заполняли ВМП см. рисунок 4, толщина слоя – 1350 – 1500 мм.



Рисунок 4 - Заполнение модельного очага №4 ВМП на основе пенообразователя типа «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3 %

8.4. Наблюдался изменение плотности теплового потока, см. рисунок 5.



Рисунок 5 - Горение паров СПГ после прекращения подачи ВМП типа «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3 %



8.5. Эксперимент был проведен на модельном очаге №4 три раза.

8.6. За время проведения испытания были зафиксированы метеорологические (атмосферные) параметры окружающего воздуха.

По результатам испытаний построены графики, на которых фиксировались:

- время свободного горения паров СПГ, сек;
- время заполнения очага ОТВ, сек;
- максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения и подачи ОТВ, кВт/м²;
- определено значение плотности теплового потока, соответствующее 10 % от уровня максимальной величины теплового потока, полученного в период свободного горения и подачи ВМП.

Дополнительно при анализе результатов эксперимента были определены следующие показатели:

- коэффициент разрушения пены на поверхности СПГ от воздействия тепловых потоков от горящего СПГ;
- процент снижения плотности теплового потока от горящего СПГ относительно пиковых значений, при достижении толщины слоя ВМП высокой кратности в 1-1,5 метр;
- скорость нарастания плотности теплового потока после окончания подачи пены;
- визуальная оценка влияния слоя ВМП высокой кратности на поверхность СПГ на площадь загазованности;
- время (контролируемого горения паров СПГ), изменения теплового потока от 10 % уровня, до 25 % уровня от максимальной величины, полученной в период свободного горения паров СПГ и подачи ВМП, сек;
- время прекращения эксперимента.

9 Сведения об использованных средствах измерений и контроля

При испытании было применено измерительное и вспомогательное оборудование, приведенное в таблице 4.

Таблица 4 - Измерительное оборудование:

№ п/п	Наименование определяемых (измеряемых) характеристик	Наименование СИ/оборудования, тип (марка)	Изготовитель (страна, наименование организации)	Метрологические характеристики СИ	
				Диапазон измерений	Класс точности (разряд), погрешность и (или) неопределенность
Измерительное оборудование					
1.	Тепловой поток	Датчики теплового потока ДРТП-15	Россия ФГУП «ВНИИФТРИ»	0-500 кВт/м ²	±5 %
2.	Температура	Датчики температуры КТНН Ехi02.01-060-k1-И-Т740-4,5-100/500	Россия ООО «ПК Тесей»	-200 - +1100°С	3
3.	Измерители регуляторы	Измеритель регулятор универсальный восьмиканальный ТРМ138 (или аналог с параметрами необходимыми для проведения эксперимента)	Россия ООО «Оренбургпро матоматика»	0,001-9999	0,001 ±0,5 %
4.	Влажность Давление Температура Скорость ветра Направление ветра	МЕТЕОСТАНЦИЯ СОКОЛ-М	ООО «ОЙЛ»	1-100 % 540-1100 hPa -50 до +55°С 1-60 м/с 0-359°	± 5 % ± 0,5 % ± 0,2 °С ± 0,5 м/с ± 3°
5.	Температура	Тепловизор инфракрасный Testo 885-2	Германия, Testo	-30...+1200 °С	1 ± 2 °С



№ п/п	Наименование определяемых (измеряемых) характеристик	Наименование СИ/оборудования, тип (марка)	Изготовитель (страна, наименование организации)	Метрологические характеристики СИ	
				Диапазон измерений	Класс точности (разряд), погрешность и (или) неопределенность
6.	Видеофиксация эксперимента	Высокоскоростная видеокамера свыше 30 кадров в секунду типа Купольная IP-видеокамера LTV-5CND80-M2712-HB	Россия, ООО «Фирма РАСП»	Угол поворота 180 градусов, оптический зум	До 30 кадров/с
7.	Видеофиксация эксперимента	Цифровые видеокамеры с записью 24 к/с IP-видеокамеры LTV-3CND40-M2713	Россия, ООО «Фирма РАСП»	Угол поворота 180 градусов, оптический зум	До 24 кадров/с
8.	Видеофиксация эксперимента	Видеорегистратор IP 16-ти канальный с PoE -LTV-2RN1620-FR IP	Россия, ООО «Фирма РАСП»		
9.	Расход СПГ	Расходомер криогенный		0-5 кг/с	
10.	Сбор данных (информации) в ЦПУ с экспериментальной площадки	Система сбора информации ЦПУ	Россия		

10 Сведения об использованных веществах и материалах

В ходе испытания были израсходованы следующие вещества и материалы:

- 1) СПГ - 21 т,
- 2) азот жидкий технический - 4,3 т (с учетом процессов захлаживания и испарения),
- 3) датчики радиационного теплового потока ДРТП-15 - 6 шт:





Рисунок 5.1 - Датчики ДРТП-15, вышедшие из строя после испытаний (отмечены стрелками желтого цвета)

4) Синтетический фторсодержащий спиртоустойчивый пенообразователь целевого назначения для тушения водорастворимых и водонерастворимых горючих жидкостей пеной низкой, средней, высокой кратности «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3 %, выпускаемый по ТУ 2412-039-72410778-2016. Сертификат соответствия ТР ЕАЭС 043/2017 № С- RU.ЧС13.В.00015/20 - в Испытании №1-3.

11 Список лиц, участвовавших в исследованиях со стороны Заказчика

Алехин Денис Александрович, Герасимов Александр Сергеевич.

12 Результаты испытаний

При проведении испытаний фиксировались параметры, указанные в таблицах 5-12 и на рис. 6-15.

Контроль плотности теплового потока горящего СПГ во время проведения эксперимента осуществлялся установленными датчиками теплового потока ДРТП-15. Датчики установлены в непосредственной близости от борта модельного очага на контрольных расстояниях. Схема размещения датчиков тепловых потоков представлена на Рисунках 3.1-3.3. По полученным данным от датчиков построены графические зависимости величины тепловых потоков на единицу площади от времени горения паров СПГ.

Величина коэффициента разрушения пены (приведена в таблицах результатах испытаний) отражает долю объёма пены, утрачиваемую в результате термического и механического разрушения при контакте с горящими парами СПГ и разогретой поверхностью модельного очага, и определяется путём сопоставления потенциально создаваемого объёма пены с геометрически необходимым объёмом для формирования сплошного слоя заданной высоты. Для расчетов принята высота слоя пены равная 950 мм.

Коэффициент разрушения пены определяется по формуле:

$$K_p = \frac{Q \cdot t \cdot k}{S \cdot h}$$

где:

Q – расход рабочего раствора пенообразователя, м³/с;

t – время от начала подачи пены до достижения высоты слоя 0,95 м, с;

k – кратность пены;

S – площадь модельного очага, м²;

h – высота слоя пены (0,95 м).

12.1 Результаты Испытания №1 (24.09.2025) с математической обработкой данных

Таблица 5 – Краткая хронология испытания

Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
---------	---------------	----------------------------------	------------

Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
Поджиг	18:37:18	00:00	
Начало подачи пены	18:39:18	02:00	
Полное заполнение модельного очага пеной	18:39:57	02:39	
Прекращение подачи пены	18:40:17	02:59	

Изменения температуры на дне модельного очага приведены на рисунке 6-6.1.

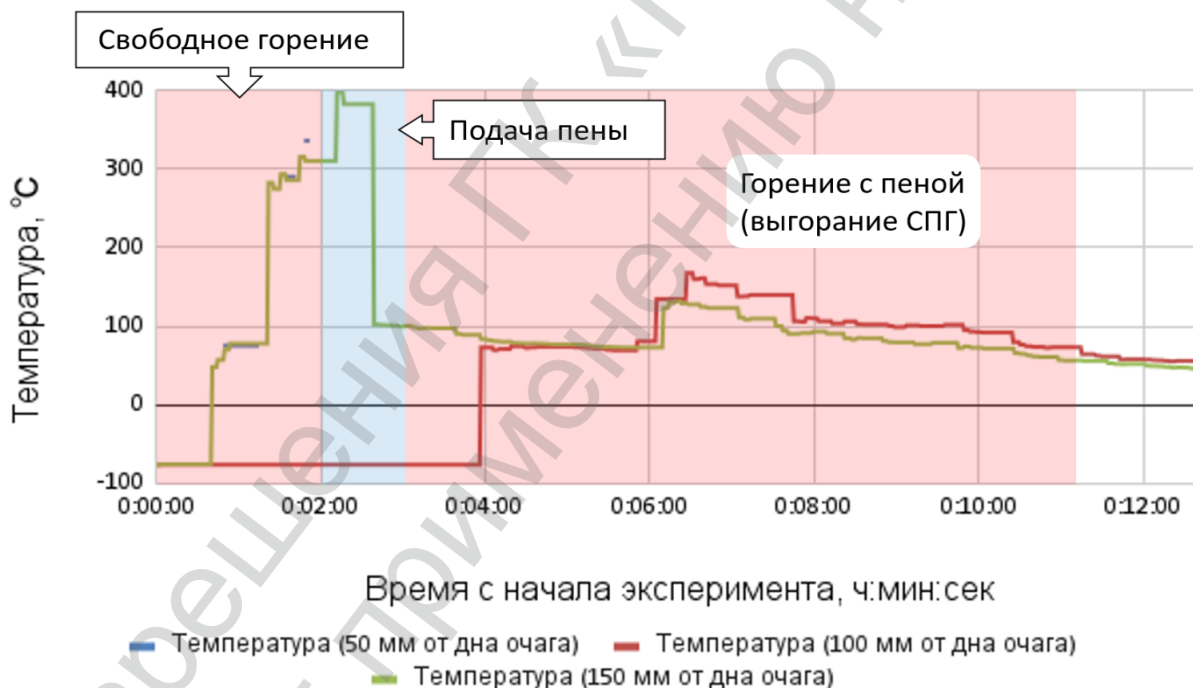


Рисунок 6 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №1 (на отметках 0,05 м, 0,1 м, 0,15 м от дна очага; 24.09.2025)

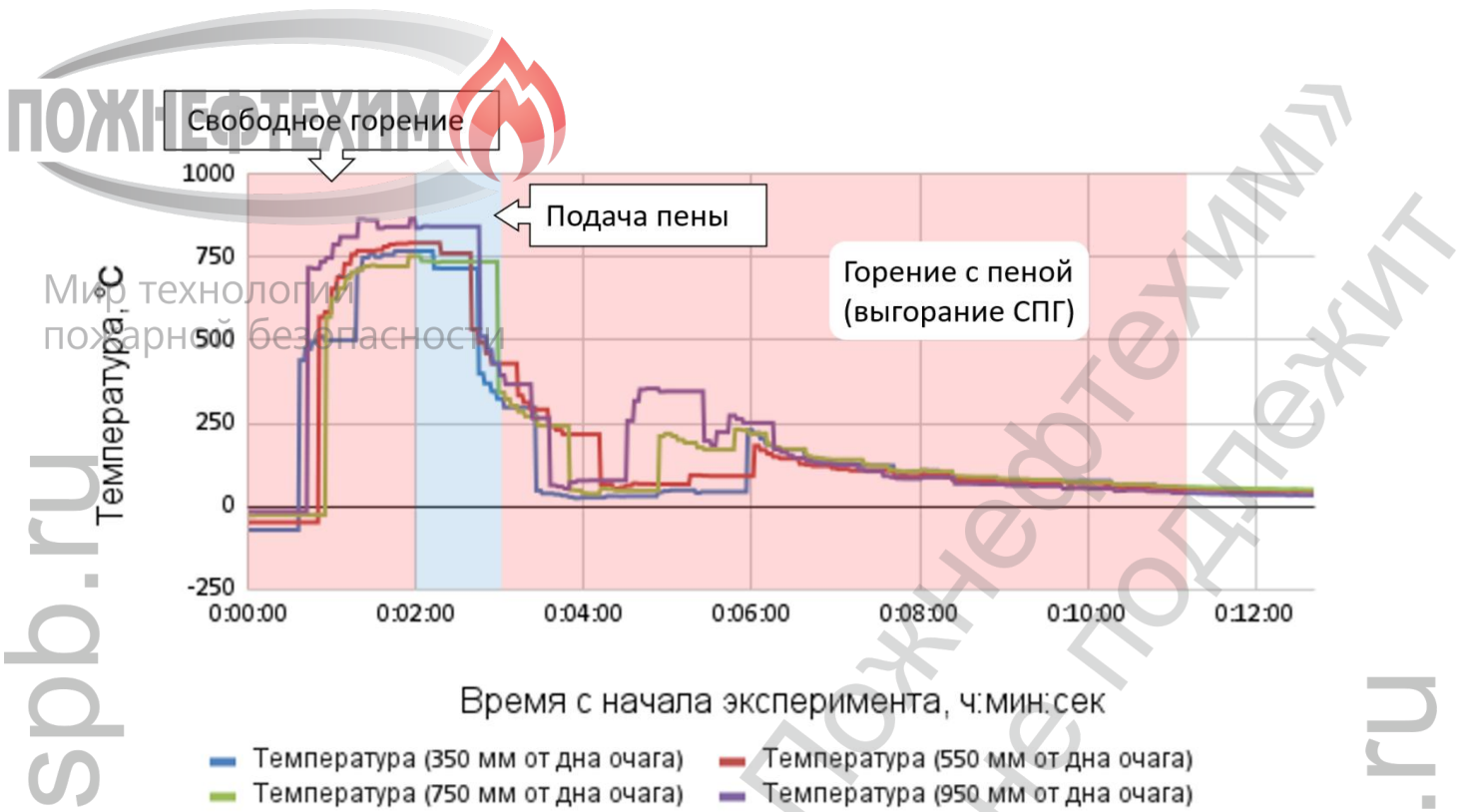


Рисунок 6.1 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №1 (на отметках 0,35 м, 0,55 м, 0,75 м, 0,95 м от дна очага; 24.09.2025)

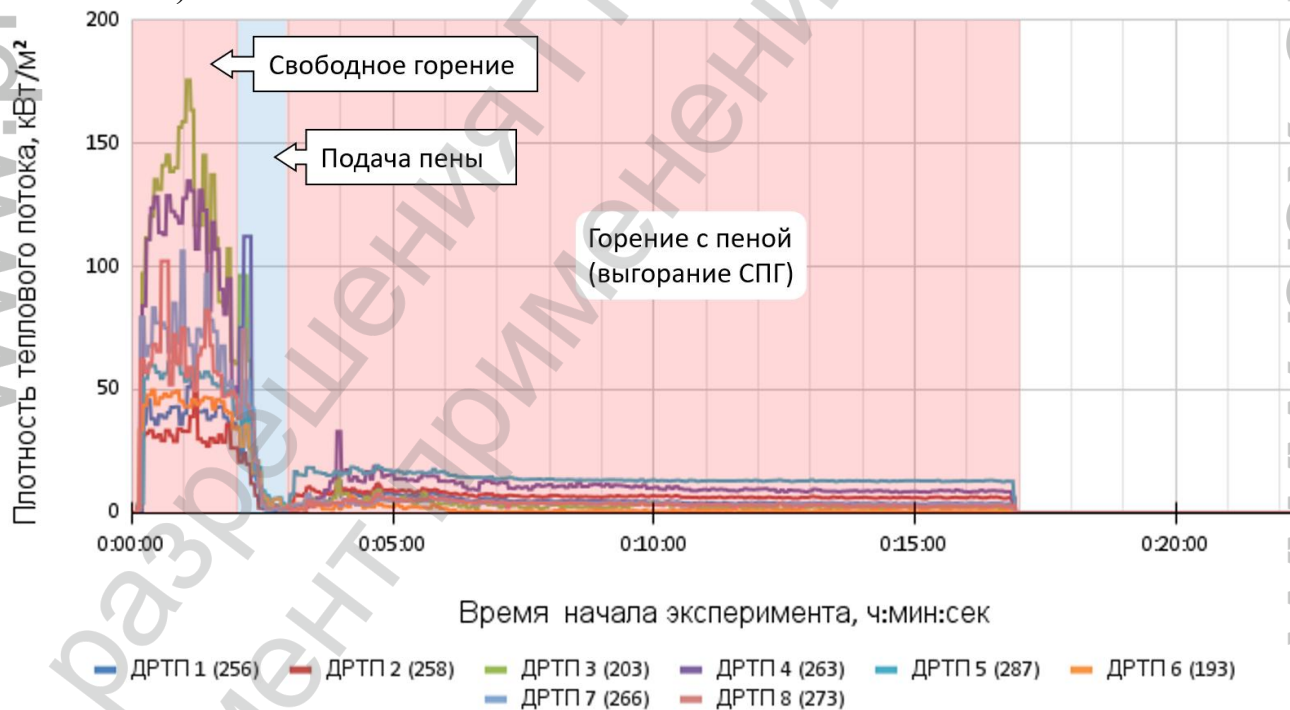


Рисунок 7 - Изменения плотности теплового потока на датчиках: ДРТП1; ДРТП2; ДРТП3; ДРТП4; ДРТП5; ДРТП6; ДРТП7; ДРТП8 при подаче ВМП Испытание №1; 24.09.2025)

При анализе данных от множества датчиков, равномерно расположенных на одинаковом расстоянии от модельного очага, ожидается определённая согласованность показаний, обусловленная симметрией экспериментальной установки и однородностью условий теплообмена. Однако наблюдается широкий диапазон измеренных значений, который обусловлен влиянием ветра.

В качестве устойчивой альтернативы при построении графиков теплового потока использовано медианное значение (центральное значение ранжированного ряда всех измерений). Медиана обладает ключевыми преимуществами: переход от полученного широкого диапазона данных или их среднего арифметического к медианным значениям для каждого момента времени (или расстояния) позволит:

1. Получить более устойчивый график плотности теплового потока;
2. Снизить влияние ветра на итоговую интерпретацию результатов;
3. Увидеть истинную физическую зависимость.

В этой связи, построены результирующие графики плотности теплового потока по средним медианным значениям (см. рисунок 8). Расчетные данные в таблице 6 определены исходя из этого графика.

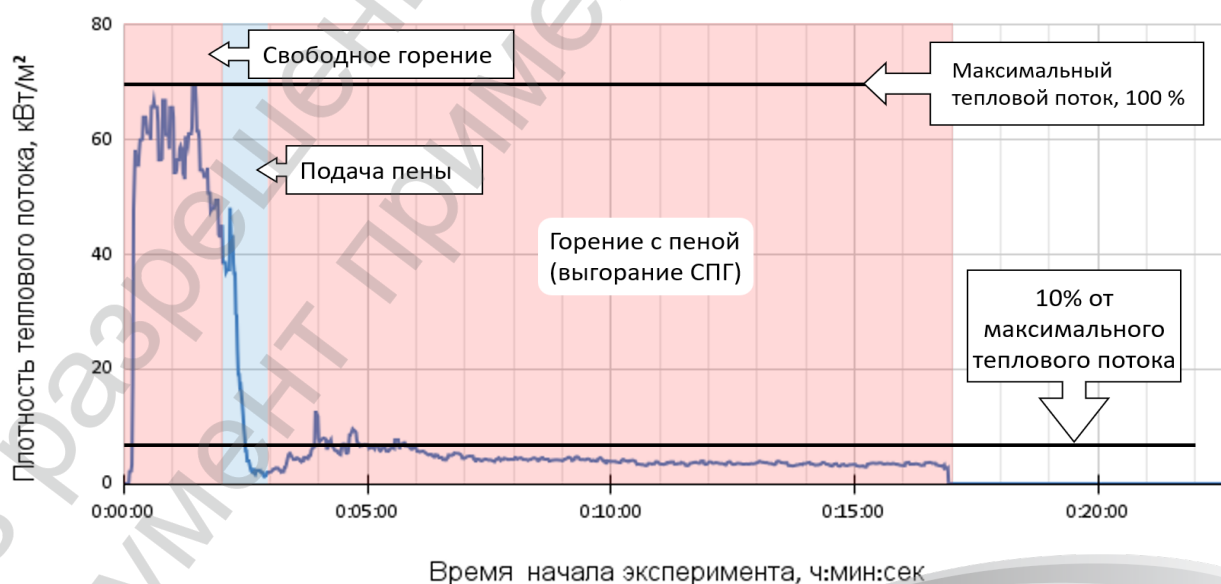


Рисунок 8 – Сведения о плотности теплового потока по средним медианным значениям (испытание №1, 24.09.2025)



На рисунке выделены зоны:

- время свободного горения длится 120 сек,
- время подачи ВМП длится 39 сек,

Мир технологий пожарной безопасности
определена линия, соответствующая 10 % уровня от максимальной величины теплового потока (6,95 кВт/м²), полученного в период свободного горения и подачи ВМП.

Максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения СПГ: 69,5 кВт/м² (по медианным значениям);

Максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения и после подачи ОТВ, 11,8 кВт/м² (по медианным значениям).

В процессе Испытания №1 достигнуто снижение теплового потока ниже 6,95 кВт/м², что составляет 10 % от максимальной величины теплового потока, полученного в период свободного горения СПГ.

Таблица 6 - Результаты испытания №1 (24.09.2025).

Наименование параметра	Показатели
Тип пены по ГОСТ Р 50588-2012	AFFF/AR
Кратность пены	400
Толщина слоя СПГ в модельном очаге (проектная), мм	150
Время свободного горения паров СПГ, сек	120
Время подачи пены в каждом цикле (свободное горение/подача пены), сек	39
Время тушения (если потушило), сек	не потушило
Коэффициент разрушения пены на поверхности СПГ от воздействия тепловых потоков от горящего СПГ	2,7
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока в течение времени свободного горения, кВт/м ²	58,4
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока после первого покрытия пеной, кВт/м ²	4,4
Процент снижения плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящих паров СПГ, покрытого пеной, относительно плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящего СПГ в период свободного горения	83 %
Скорость нарастания плотности теплового потока (по медианным значениям) после окончания подачи пены, кВт/(м ² ·с)	Не зафиксировано
Длительность защитного действия пены после прекращения ее подачи в очаг и до достижения плотности теплового потока (по медианным значениям) до	Не достигнуто

Наименование параметра	Показатели
80 % от среднего арифметического значений плотности теплового потока (по медианным значениям) свободного горения, сек	80 %
Максимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная в период свободного горения, кВт/м ²	69,5
Минимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная во время подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	11,8
Среднее арифметическое значений плотности теплового потока (по медианным значениям), зафиксированное после подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	11,8
Среднее значение показаний термопар под слоем пены, °С	59
Среднее значение показаний термопар без пены, °С	≈ 750

Анализ полученных данных показал: при построении графиков по медианным значениям показаний датчиков теплового потока получается кривая, корректно отражающая общую динамику теплового излучения. При пожаре пролива СПГ с применением ВМП на основе пенообразователя «Аквафом» ПНСВ-3% (рабочая концентрация 3 %, ТУ 2412-039-72410778-2016, сертификат ТР ЕАЭС 043/2017 № С-RU.ЧС13.В.00015/20) зафиксировано снижение плотности теплового потока до 17% от максимального значения, зарегистрированного за период испытания.

12.2 Результаты Испытания №2 (25.09.2025) с математической обработкой данных

Таблица 7 – Краткая хронология испытания

Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
Поджиг	18:57:13	00:00	
Начало подачи пены	18:59:13	02:00	
Прекращение подачи пены	19:13:13	16:00	Полного заполнения модельного очага пеной не зафиксировано, пена частично выдувалась ветром

Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
Начало подачи пены (2 цикл)	19:15:15	18:02	
Прекращение подачи пены	19:24:15	28:02	Полного заполнения модельного очага пеной не зафиксировано, пена частично выдувалась ветром

Изменения температуры на дне модельного очага приведены на рисунке 9, 10.1, 10.2.

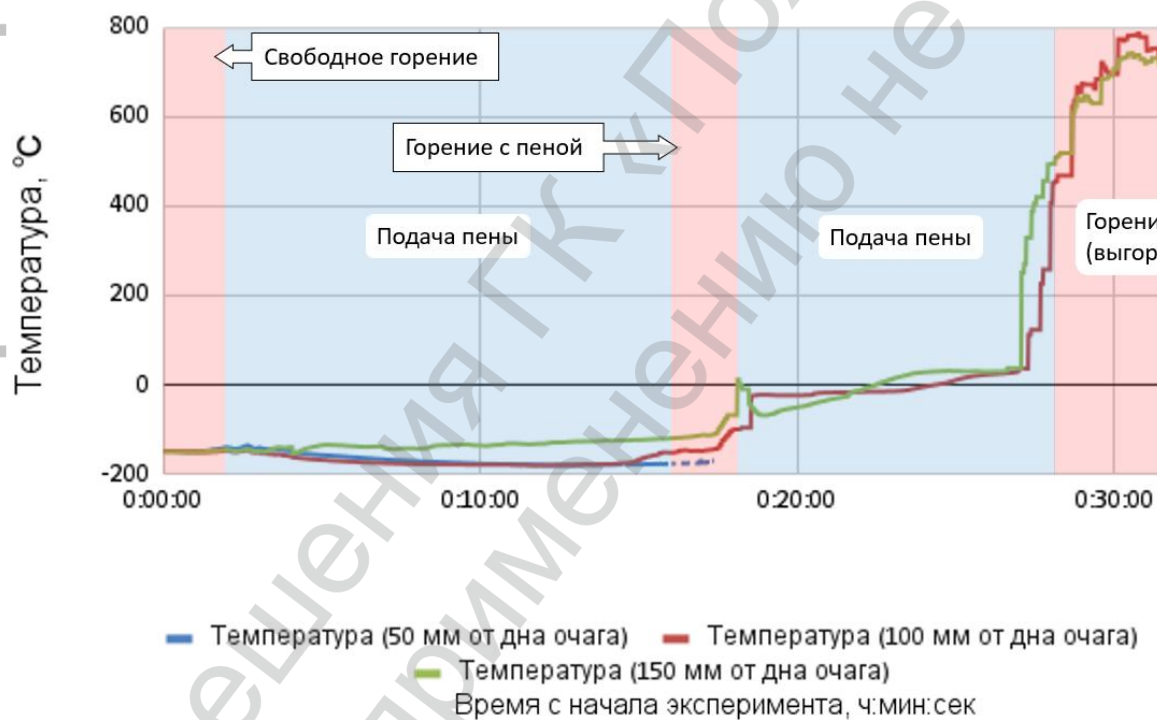


Рисунок 9 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №2 (на отметках 0,05м, 0,1м, 0,15м от дна очага; 25.09.2025)



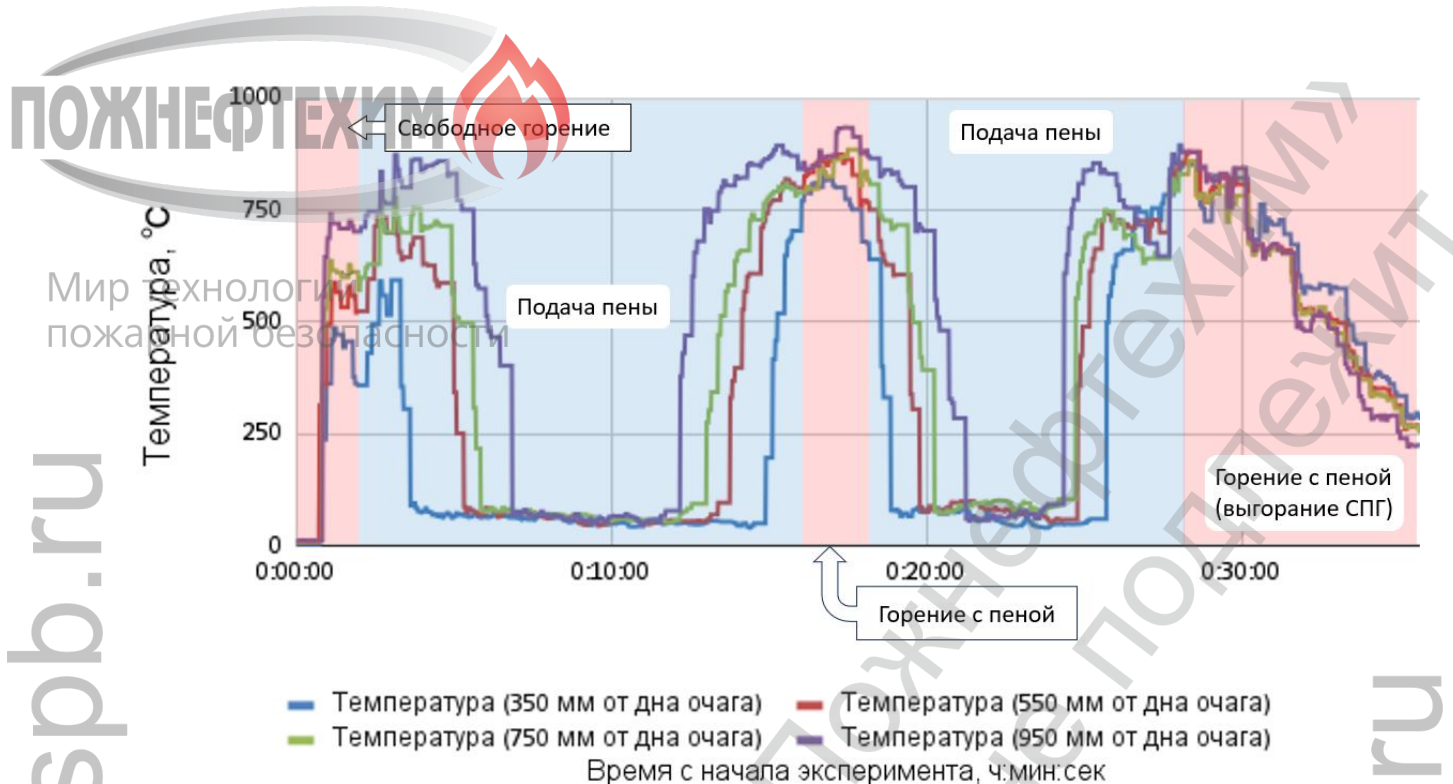


Рисунок 10.1 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №2 (на отметках 0,35м, 0,55м, 0,75м, 0,95 м от дна очага; 25.09.2025)

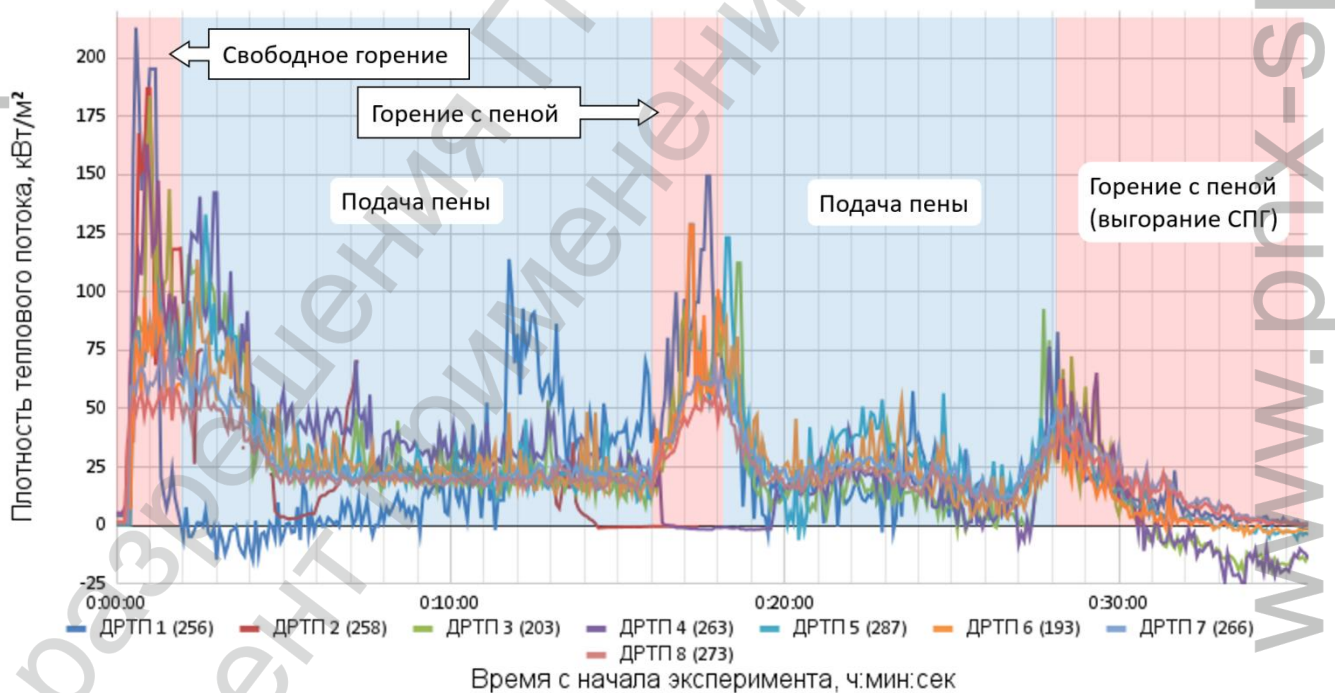


Рисунок 10.2 - Изменение плотности теплового потока на датчиках: ДРТП1; ДРТП2; ДРТП3; ДРТП4; ДРТП5; ДРТП6; ДРТП7; ДРТП8 при подаче ВМП Испытание №2; 25.09.2025)

Данные на графике имеют разброс, учитывая минимальное расстояние от очага всех датчиков плотности теплового потока. Для снижения влияния выбросов использовалось медианное значение плотности теплового потока, определяемое по показаниям всех датчиков в каждый момент времени. Результирующий график приведен на рисунке 11. Расчетные данные в таблице 8 определены исходя из рисунка 11.

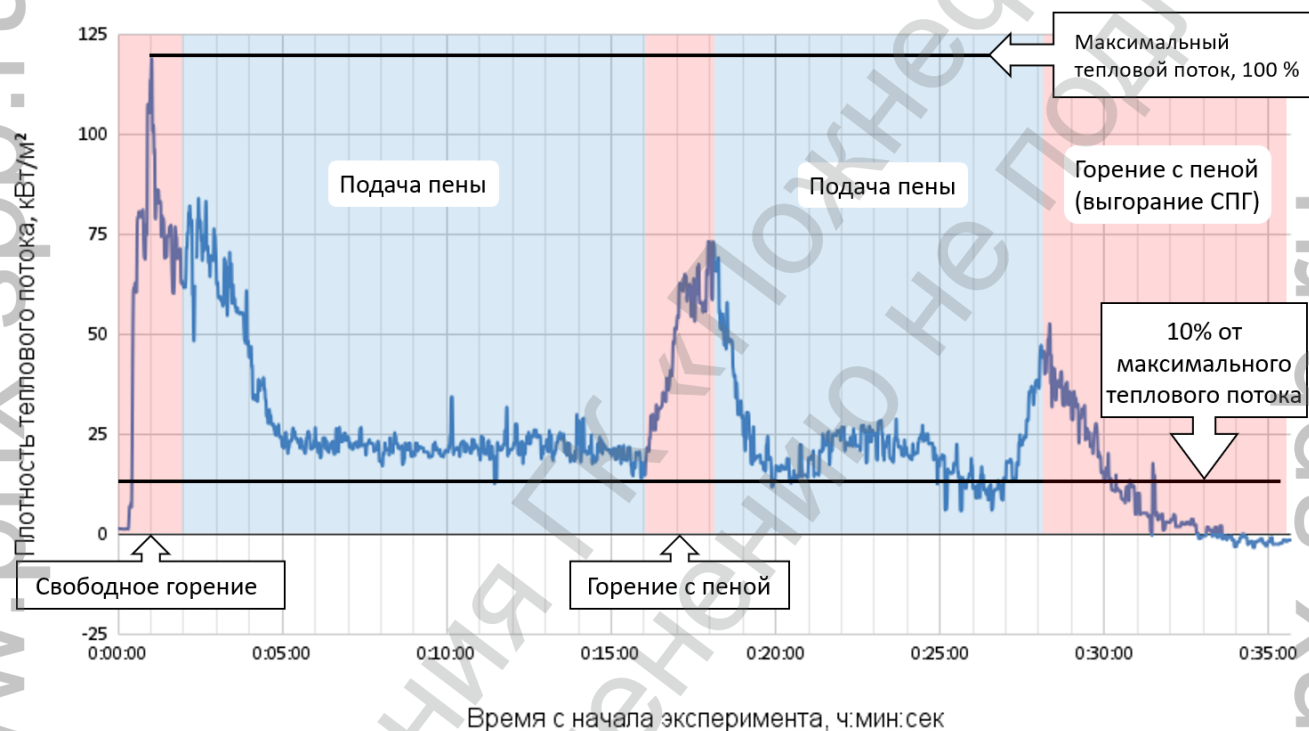


Рисунок 11 - Изменение плотности теплового потока (по средним медианным значениям) на датчиках: ДРТП1; ДРТП2; ДРТП3; ДРТП4; ДРТП5; ДРТП6; ДРТП7; ДРТП8 при подаче ВМП Испытание №2; 25.09.2025)

На рисунке выделены зоны:

- время свободного горения длится 120 сек (1-ый цикл)/122 сек (2-ой цикл);
- время подачи ВМП длится 840 сек (1-ый цикл)/600 сек (2-ой цикл);
- время от момента прекращения подачи ВМП до момента восстановления теплового потока до значений, составляющих 70 % от уровня максимальной величины теплового потока, 120 сек.

– определена линия, соответствующая 10 % уровня от максимальной величины теплового потока (11,8 кВт/м²), полученного в период свободного горения и подачи ВМП.

Максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения СПГ: 117,8 кВт/м² (по медианным значениям).

Максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения и после подачи ОТВ 33,9 кВт/м² (по медианным значениям).

Таблица 8 - Результаты испытания №2 (25.09.2025).

Наименование параметра	Показатели
Тип пены по ГОСТ Р 50588-2012	AFFF/AR
Кратность пены	400
Толщина слоя СПГ в модельном очаге (проектная), мм	150
Время свободного горения паров СПГ, сек	120 (1 цикл) 122 (2 цикл)
Время подачи пены в каждом цикле (свободное горение / подача пены), сек	840 (1 цикл) 600 (2 цикл)
Время тушения (если потушило), сек	не потушило
Коэффициент разрушения пены на поверхности СПГ от воздействия тепловых потоков от горящего СПГ	14,2 (1 цикл) 6,5 (2 цикл)
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока в течение времени свободного горения, кВт/м ²	78
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока после первого покрытия пеной, кВт/м ²	22
Процент снижения плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящих паров СПГ, покрытого пеной, относительно плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящего СПГ в период свободного горения	72 %
Скорость нарастания плотности теплового потока (по медианным значениям) после окончания подачи пены, кВт/(м ² ·с)	0,45
Длительность защитного действия пены после прекращения ее подачи в очаг и до достижения плотности теплового потока (по медианным значениям) до 80 % от среднего арифметического медианных значений плотности теплового потока свободного горения, сек	91
Максимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная в период свободного горения, кВт/м ²	117,8
Минимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная во время подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	14
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока, зафиксированное после подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	33,9

Наименование параметра	Показатели
Среднее значение показаний термопар под слоем пены, °С	59
Среднее значение показаний термопар без пены, °С	≈820

Мир технологий

Проведенный анализ графиков тепловых потоков показал, что достигнуто снижение уровня теплового потока до 28 % от уровня максимальной величины теплового потока, полученного за период испытания.

12.3 Результаты Испытания №3 (26.09.2025) с математической обработкой данных

Таблица 9 – Краткая хронология испытания

Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
Поджиг	11:39:47	00:00	
Начало подачи пены	11:41:17	01:30	
Полное заполнение модельного очага пеной	11:44:17	04:30	
Прекращение подачи пены	11:44:27	04:40	
Подача пены (цикл 2)	11:49:17	09:30	
Полное заполнение модельного очага пеной	11:51:52	12:05	
Прекращение подачи пены	11:52:17	12:30	
Подача пены (цикл 3)	11:57:06	17:19	



Событие	Местное время	Время с момента поджига, мин:сек	Примечание
Полное заполнение модельного очага пеной. Прекращение подачи пены	11:59:35	19:48	

Изменения температуры на дне модельного очага приведены на рисунке 12-13.

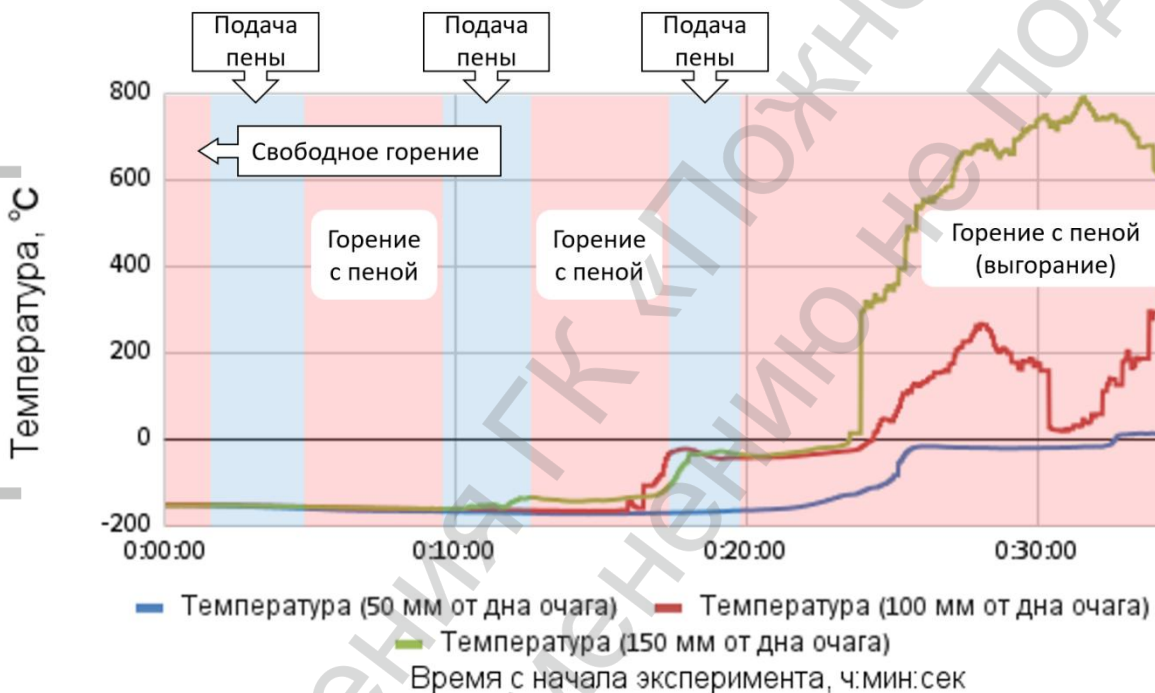


Рисунок 12 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №3 (на отметках 0,05м, 0,1м, 0,15м от дна очага; 25.09.2025)

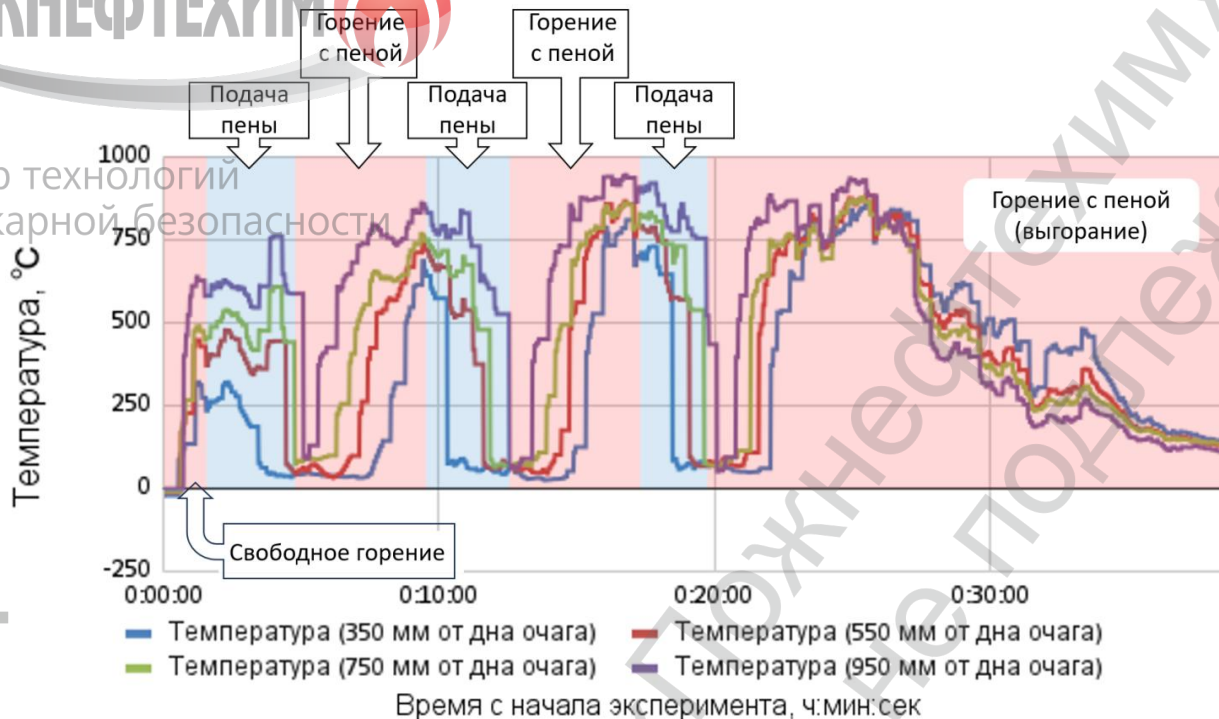


Рисунок 13 - Изменения температуры на дне модельного очага №4 в процессе Испытания №3 (на отметках 0,35м, 0,55м, 0,75м, 0,95 м от дна очага; 25.09.2025)

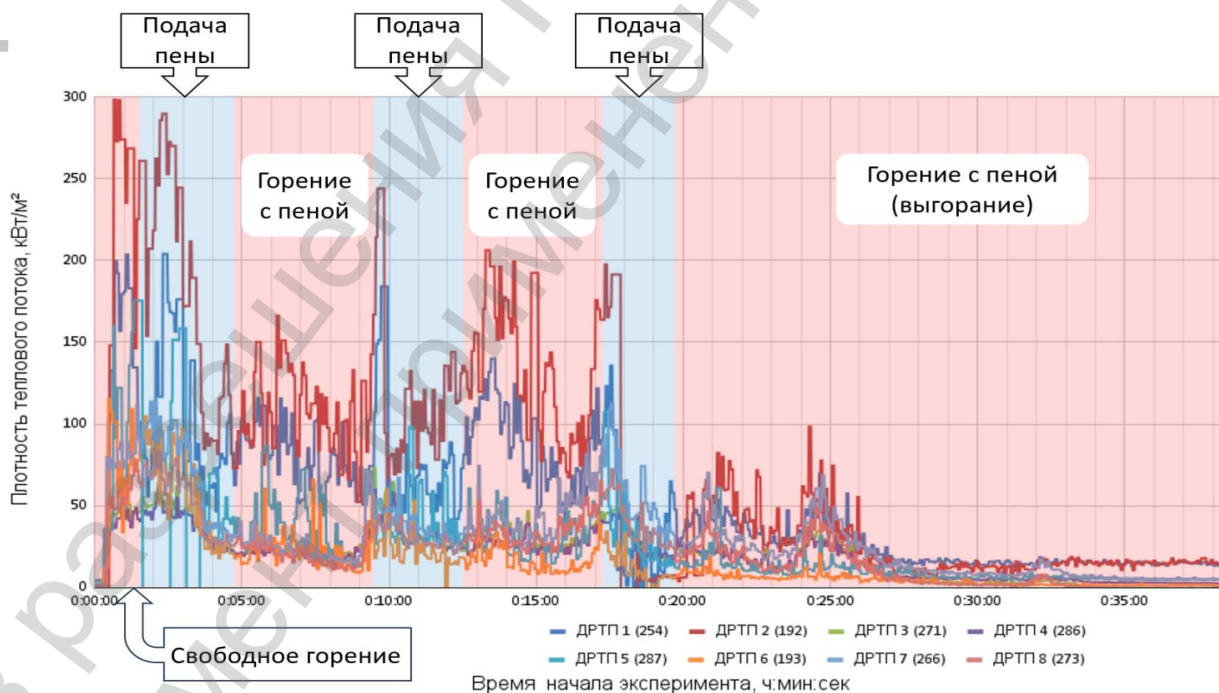


Рисунок 14 - Изменения плотности теплового потока на датчиках: ДРТП1; ДРТП2; ДРТП3; ДРТП4; ДРТП5; ДРТП6; ДРТП7; ДРТП8 при подаче ВМП Испытание №3; 26.09.2025)

Данные на графике имеют также большой разброс, учитывая минимальное расстояние от очага всех датчиков плотности теплового потока. Для снижения влияния выбросов использовалось медианное значение плотности теплового потока, определяемое по показаниям всех датчиков в каждый момент времени.

Результирующий график приведен на рисунке 15. Расчетные данные в таблице 10 определены исходя из рисунка 15.

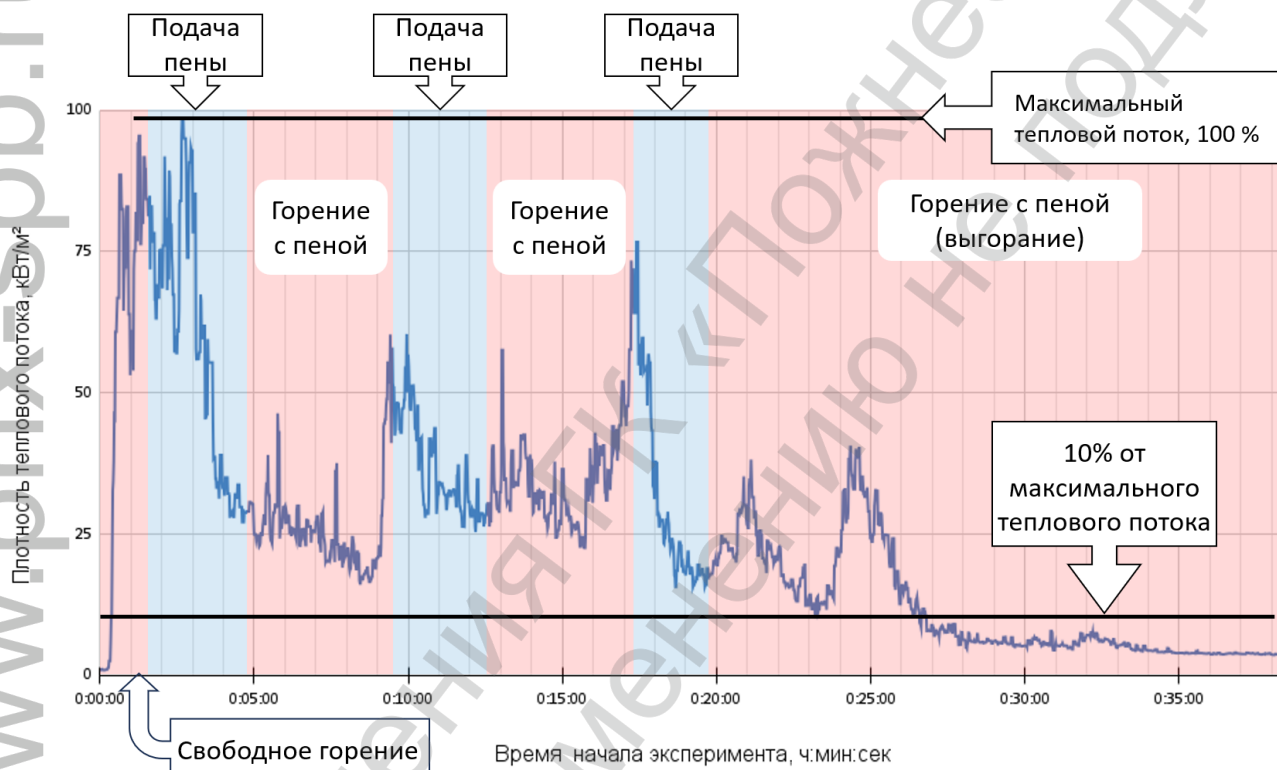


Рисунок 15 - Изменение плотности теплового потока (по средним медианным значениям) на датчиках: ДРТП1; ДРТП2; ДРТП3; ДРТП4; ДРТП5; ДРТП6; ДРТП7; ДРТП8 при подаче ВМП Испытание №3; 26.09.2025)

На рисунке выделены зоны:

- время свободного горения длится 90 сек;
- время подачи ВМП длится 190 сек (1-ый цикл)/180 сек (2-ой цикл)/149 сек (3-ий цикл);
- время от момента прекращения подачи ВМП до момента восстановления теплового потока до значений, составляющих 70 % от уровня максимальной величины теплового потока, 277 сек.

- определена линия, соответствующая 10 % уровня максимальной величины теплового потока (9,85 кВт/м²), полученного в период свободного горения и подачи ВМП.

Мир технологий

пожарной безопасности

Максимальная плотность теплового потока от очага пожара в период свободного горения СПГ: 98,5 кВт/м² (по медианным значениям);

Максимальная плотность теплового потока от очага в период свободного горения и после подачи ОТВ 38,9 кВт/м² (по медианным значениям).

Таблица 10 - Результаты испытания №3 (26.09.2025).

Наименование параметра	Показатели
Тип пены по ГОСТ Р 50588-2012	AFFF/AR
Кратность пены	400
Толщина слоя СПГ в модельном очаге (проектная), мм	150
Время свободного горения паров СПГ, сек	90
Время подачи пены в каждом цикле (свободное горение/подача пены), сек	190 (1 цикл) 180 (2 цикл) 149 (3 цикл)
Время тушения (если потушило), сек	не потушило
Коэффициент разрушения пены на поверхности СПГ от воздействия тепловых потоков от горящего СПГ	15,0 (1 цикл) 12,8 (2 цикл) 10 (3 цикл)
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока в течение времени свободного горения, кВт/м ²	75,9
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока после первого покрытия пеной, кВт/м ²	25,7
Процент снижения плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящих паров СПГ, покрытого пеной, относительно плотности теплового потока (по медианным значениям) от горящего СПГ в период свободного горения	61 %
Скорость нарастания плотности теплового потока (по медианным значениям) после окончания подачи пены, кВт/(м ² ·с)	0,11 (1 цикл) 0,17 (2 цикл)
Длительность защитного действия пены после прекращения ее подачи в очаг и до достижения медианной плотности теплового потока до 80 % от средней арифметической медианных значений плотности теплового потока свободного горения, сек	285 (1 цикл) 287 (2 цикл)
Максимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная в период свободного горения, кВт/м ²	98,5
Минимальная плотность теплового потока (по медианным значениям), зафиксированная во время подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	16
Среднее арифметическое медианных значений плотности теплового потока,	38,9

зафиксированное после подачи пены высокой кратности, кВт/м ²	
Среднее значение показаний термопар под слоем пены, °С	46
Среднее значение показаний термопар без пены, °С	≈ 800

Мир технологий
пожарной безопасности

Проведенный анализ графиков тепловых потоков показал, что достигнуто снижение уровня теплового потока до 39 % от уровня максимальной величины теплового потока, полученного за период испытания.

Вывод по испытаниям №1-3 от 24.09.2025-26.09.2025:

Экспериментальные исследования выполнялись в период с 24 по 26 сентября в условиях стабильных метеопараметров: атмосферное давление, скорость ветра и влажность воздуха оставались сходными на всем протяжении испытаний. Существенное изменение претерпевала лишь температура воздуха, варьируясь в диапазоне от +10 до +21 °С.

Испытывался комплекс оборудования (система) из ветрозащищенных генераторов пены высокой кратности, пенообразователя, системы хранения и дозирования (описание компонентов согласно таблице 1 раздела б).

После трех циклов огневых испытаний ветрозащищенные генераторы пены высокой кратности «Фаворит» сохранили свою форму, целостность и работоспособность, что говорит об их стойкости/работоспособности в условиях пожара СПГ.

Анализ полученных данных – температурных полей в зоне заполнения очага сжиженным природным газом (СПГ) и пеной высокой кратности на различных горизонтах (350, 550, 750, 950 мм от дна модельного очага), а также динамики плотности теплового потока не позволяет корректно сравнивать результаты этого эксперимента с последующими. Поэтому для сравнительного анализа эффективности подачи пены были отобраны и использованы исключительно данные, полученные 25 и 26 сентября (Испытание №2, Испытание №3).

Ключевым варьируемым параметром в отобранных испытаниях стала интенсивность подачи пены высокой кратности на поверхность горящего СПГ: 0,12 л/(с·м²) (25 сентября) и 0,17 л/(с·м²) (26 сентября).

Режим с интенсивностью 0,12 л/(с·м²) показал следующие недостатки:

- недостаточная скорость формирования защитного слоя. Меньшая интенсивность подачи в сочетании с высоким коэффициентом разрушения пены на поверхности СПГ от воздействия пламени (достигавшим 15 при подаче после фазы свободного горения) не обеспечила полного заполнения модельного очага. Слой пены не достиг отметки борта модельного очага №4 от дна, равной 1,5 м даже при подаче пены в 5 раз дольше, чем в режиме с интенсивностью 0,17 л/(с·м²);
- критическая зависимость от внешних условий. Данный режим оказался неустойчивым. Любое негативное воздействие (осадки, порывы ветра свыше 5,3 м/с, оперативная обстановка на реальном пожаре) с высокой вероятностью сделает невозможным создание стабильного пенного покрытия и снижение теплового потока до безопасного уровня.

Таким образом, интенсивность подачи 0,12 л/(с·м²) не может быть рекомендована в качестве оптимального параметра для проектирования систем подачи пены высокой кратности на пролив СПГ для управляемого выгорания и снижения плотности тепловых потоков, поскольку не гарантирует надежного результата в неидеальных (реальных) условиях.

Режим с интенсивностью 0,17 л/(с·м²) продемонстрировал большее время защитного действия пены после прекращения её подачи (что критически важно для определения требуемого объема рабочего раствора пенообразователя) и более быстрое снижение плотности теплового потока.

Зафиксированный большой процент снижения плотности теплового потока (относительно пика свободного горения) при меньшей интенсивности подачи (0,12 л/(с·м²)) является следствием двух факторов: аномально высокого исходного пикового значения и значительной длительности подачи, позволившей

показателям выйти на стабильное «плато». Можно предположить, что при равной продолжительности подачи режим с интенсивностью 0,17 л/(с·м²) обеспечит сопоставимое или большее снижение плотности теплового потока.

Мир технологий
пожарной безопасности

Важным универсальным результатом, не зависящим от интенсивности подачи, стало снижение высоты пламени в 2,5–3 раза в процессе длительной подачи или полного заполнения модельного очага пеной высокой кратности. Это свидетельствует о значимом подавляющем воздействии пенного слоя на процесс горения в целом. Очевидно, что между высотой пламени, площадью горения и плотностью теплового потока существует корреляция.

На основании проведенных испытаний оптимальной и рекомендуемой к использованию является интенсивность подачи пены высокой кратности 0,17 л/(с·м²). Данный режим обеспечивает быстрое формирование устойчивого покрытия, значительное снижение плотности теплового потока и высоты пламени, а также создает продолжительный защитный эффект.

Пена высокой кратности, полученная с помощью генераторов пены ГВПЭ «Фаворит» с конструкцией для наружного размещения (ветроустойчивая) с применением рабочего раствора синтетического фторсодержащего спиртоустойчивого пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых и водонерастворимых горючих жидкостей пеной низкой, средней, высокой кратности «Аквафом» - ПНСВ-3%, с рабочей концентрацией 3 % (тип пены AFFF/AR по ГОСТ Р 50588-2012) с кратностью не менее 400, позволила снизить тепловой поток от горящего пролива СПГ до 28 % от уровня максимальной величины теплового потока, полученного за период испытания.



Мир технологий
пожарной безопасности
Руководитель НИР:

Испытатели:

В.И. Безбородов

Е.В. Вагенлейтнер

В.Н. Баклыков

Д.О. Некрасов

В.А. Саюшкин

Д.В. Сафонов

А.В. Фоменко



www.pnх-spb.ru

www.pnх-spb.ru

Без разрешения ГК «Пожнефтехим»
Документ применения

Испытание №1 (24.09.2025):

Мир технологий
пожарной безопасности



Рисунок Б.1 - Наполнение модельного очага №4 СПГ



Рисунок Б.2 - Поджиг СПГ в модельном очаге №4



Рисунок Б.3 - Свободное горение через 1 мин



Рисунок Б.4 - Начало подачи пены



Рисунок Б.5 - Полное заполнение модельного очага пеной



Рисунок Б.6 - Распространение пены за пределы модельного очага (переполнение очага)

2025-09-24 18:40:17

Мир технологий
пожарной безопасности



Рисунок Б.7 - Прекращение подачи пены

2025-09-24 18:40:27



Рисунок Б.8 - Визуально пламя практически не фиксируется

2025-09-24 18:40:37

Мир технологий
пожарной безопасности



2-149

Рисунок Б.9 - Пламя разгорается в области размещения генераторов пены

2025-09-24 18:46:08



Рисунок Б.10 - Прекращение испытания



Рисунок Б.11 - Наполнение модельного очага №4 СПГ



Рисунок Б.12 - Поджиг СПГ в модельном очаге №4



Рисунок Б.13 - Свободное горение через 1 мин



Рисунок Б.14 - Начало подачи пены (цикл 1)

Без разрешения
Документ промышленной собственности

2025-09-25 19:13:13



2-149

Рисунок Б.15 - Подача пены в течение 14 мин. Прекращение подачи пены

2025-09-25 19:15:15



2-149

Рисунок Б.16 - Начало подачи пены (цикл 2)



Рисунок Б.17 - Подача пены в течение 9 мин. Прекращение подачи пены (цикл 2)



Рисунок Б.18 - Свободное горение в течение 120 сек. (цикл 3). Пиковая плотность теплового потока 3 цикла



Рисунок Б.19 - Наполнение модельного очага №4 СПГ



Рисунок Б.20 - Поджиг СПГ в модельном очаге



Рисунок Б.21 - Свободное горение 90 сек. Начало подачи пены



Рисунок Б.22 - Прекращение подачи пены (цикл 2)



Рисунок Б.23 - Подача пены (цикл 2)



Рисунок Б.24 - Подача пены в течение 180 сек. Прекращение подачи пены (цикл 2)



Рисунок Б.25 - Начало подача пены (цикл 3)



Рисунок Б.26 - Подача пены в течение 149 сек (цикл 3).
Толщина слоя пены 1500 мм. Прекращение подачи пены

Настоящий протокол не является сертификатом соответствия (пожарной безопасности).

Полученные результаты, содержащиеся в протоколе, относятся только к конкретно испытанному(ым) образцу(ам) и не отражают качество партии продукции, из которой взят(ы) данный(ые) образец(цы), а также качество всей выпускаемой продукции этого вида.

Испытательная лаборатория не несет ответственности за информацию, представленную заказчиком.

Если специально не оговорено, настоящий протокол предназначен только для использования Заказчиком.

Страницы с изложением результатов испытаний не могут быть использованы отдельно без полного отчета об испытаниях.

Информация, содержащаяся в протоколе об испытаниях, не может быть использована в целях рекламы среди общественности или каким-либо другим путем без письменного разрешения ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Конец протокола.