



Работа на конкурс «Авиастроитель года» по итогам 2023 года  
в номинации «Лучший инновационный проект»

**Комплексный виртуальный  
огневой стенд**  
(шифр: КВОС)

Авторский коллектив:  
ПАО «ОАК» (ОКБ Сухого) и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Москва, 2024г.

Целью работы является создание на основе методов математического моделирования комплексного виртуального огневого стенда (КВОС) для подтверждения эффективности средств пожарной защиты летательных аппаратов (ЛА), их соответствия требованиям ОТТ ВВС и ТТЗ на летательный аппарат и сокращения предварительных и государственных испытаний средств пожарной защиты ЛА на огневом натурном стенде.

Работа выполнена в рамках субсидии по Постановлению Правительства РФ №707 в период с 2021 по 2023г.г. Технический заказчик ПАО «ОАК», головной исполнитель ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», соисполнитель ПАО «ОАК» (ОКБ Сухого).

На примере натуральных огневого стендов летательных аппаратов 4 и 5 поколений проведена декомпозиция на входящие в них системы, происходящие процессы, и явления. Кратко описан алгоритм проведения виртуальных испытаний на КВОС. Представлены компьютерные модели и результаты моделирования различных систем огневого стенда, входящие в состав КВОС для характерных видов пусков.

Приведен обобщенный набор методик моделирования процессов и явлений происходящих при проведении натуральных огневого испытаний, которые реализованы в КВОС на базе отечественных программных продуктов Логос и SimInTech.

## Содержание

Содержание .....	3
Перечень сокращений и обозначений .....	4
Введение .....	5
1 Состав КВОС .....	7
2 Испытание типа «Холодный пуск» .....	7
3 Испытание типа «Огневой пуск».....	8
4 Компьютерная модель системы пожаротушения .....	10
5 Компьютерная модель сигнализатора пожара .....	13
6 Компьютерная модель огневого стенда.....	17
7 Пример виртуальных испытаний на базе КВОС .....	19
Заключение .....	24
Список использованных источников .....	26
Приложение №1.....	27
Приложение №2.....	29

## Перечень сокращений и обозначений

ВСУ – вспомогательная силовая установка

ГСМ – горючесмазочные материалы

ИД – исходные данные

КВОС – комплексный виртуальный огневой стенд

КМ – компьютерная модель

ЛА – летательный аппарат

Логос – отечественный программный продукт инженерного анализа

МО – мотоотсек

ОГВ – огнегасящее вещество

ОКБ – опытно-конструкторское бюро

ОКР – опытно-конструкторская работа

ОС – огневой стенд

ПП – программный продукт

ОТТ – руководство по испытанию авиационной техники

СП – сигнализатор пожара

СПЗ – средства пожарной защиты

СПС – система пожарной сигнализации

СПТ – система пожаротушения

ТТЗ – тактико-техническое задание

ЭДС – электродвижущая сила

SimInTech – отечественный программный продукт инженерного анализа

ScientificView – отечественный программный продукт для визуализации результатов расчетов из состава ПП Логос

## Введение

Основанием для проведения настоящей работы является техническое задание на выполнение работы «Разработка программного модуля комплексного виртуального огневого стенда» [1].

СПТ является важным элементом инфраструктуры ЛА и должна быть спроектирована таким образом, чтобы гарантировано обеспечить тушение пожара, возникшего в одном из отсеков. Пожар (или взрыв) на борту ЛА может возникнуть в результате утечки и попадания на нагретые элементы конструкции горючих жидкостей из топливной, масляной и гидравлических систем, разрушения двигателя, боевого поражения ЛА.

В настоящее время для экстренного тушения возгораний на ЛА, использующих в качестве топлива жидкое горючее, применяются ОГВ, способные в течение нескольких секунд протечь по магистрали до целевой области и подавить горение. Одним из наиболее широко применяемым ОГВ в изделиях авиационной техники является хладон 114В<sub>2</sub>, который чрезвычайно эффективен в качестве химического ингибитора реакции горения, при этом не опасен для бортовой электроники ЛА.

Для подтверждения эффективности СПЗ ЛА, их соответствия ОТТ ВВС и ТТЗ на ЛА и замены предварительных государственных испытаний СПЗ ЛА на огневом натурном стенде проводятся работы на основе методов математического моделирования по созданию КВОС.

Виртуальный огневой стенд в данном случае включает в себя совокупность программных средств, необходимых для решения задачи, набор расчетных моделей, описывающих элементы конструкции стенда, набор моделей для валидации, а также инструкции пользователя, содержащие в себе описание комплексных методик применения данной технологии.

Виртуальное испытание огневого стенда – это крайне сложная последовательность взаимосвязанных расчетов, выполняемая несколькими инженерами. Часть расчетов выполняются с использованием ресурсов супер-ЭВМ. Сохранение информации о последовательности данных расчетов, способов обмена

данными между ними, а также самих результатов требует разработки специализированного сервиса в рамках супер-ЭВМ.

КВОС в наглядном виде хранит схему решения задачи, для упрощения повторных виртуальных испытаний и разработки новых. Специализированный пользовательский интерфейс КВОС реализован в виде веб-платформы (см. рисунок 1) и расширяет возможности пользователя при работе с коллективными данными.



Рисунок 1 – Архитектура веб-платформы КВОС

Виртуальные испытания ЛА 4 и 5 поколений включают разработку расчетных моделей гидравлической системы, газового тракта мотоотсека, моделей датчиков и пожарной сигнализации. Все разработанные модели комплексированы с помощью специализированного пользовательского интерфейса КВОС (см. рисунок 2).

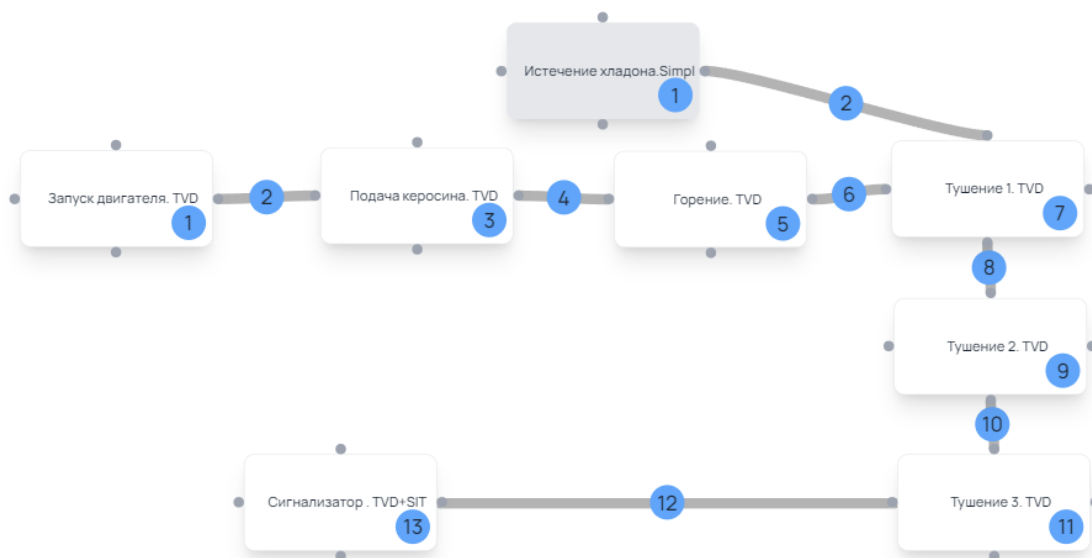


Рисунок 2 – Пример расчетной цепи в КВОС

## **1 Состав КВОС**

Комплексный виртуальный огневой стенд должен как структурно, так и функционально повторять физический/натурный огневой стенд, поэтому состоит из нескольких элементов – компьютерных моделей систем с соответствующими программными средствами. К ним относятся:

- Компьютерная модель системы пожаротушения (КМ СПТ);
- Компьютерная модель сигнализатора пожара (КМ СП);
- Компьютерная модель системы пожарной сигнализации (КМ СПС);
- Компьютерная модель огневого стенда (КМ ОС);
- Имитатор системы пробоотборников;
- Имитатор работы ВСУ;
- Компьютерная модель керосиновой форсунки.

Виртуальные испытания на КВОС по аналогии с натурными огневыми стендами можно разделить на два типа: «холодные» пуски и огневые пуски. В соответствии с выбранным типом пуска формируется набор компьютерных моделей, составляющих КВОС, и выбирается соответствующий алгоритм действий.

## **2 Испытание типа «Холодный пуск»**

Целью «холодных» пусков является определение эффективности работы СПТ как в части достижения требуемых параметров внутри системы трубопроводов и коллекторов, так и в части обеспечения регламентированного уровня концентрации огнегасящего вещества в контрольном объеме мотоотсека. В виртуальных испытаниях данного типа участвуют следующие элементы КВОС:

- Компьютерная модель системы пожаротушения (КМ СПТ);
- Имитатор системы пробоотборников;
- Имитатор ВСУ;
- Компьютерная модель огневого стенда (КМ ОС).

Моделирование «холодных» пусков проводится в 2 этапа:

- Моделирование изолированной КМ СПТ;

- Моделирование КМ ОС.

По результатам моделирования КМ СПТ получаются временные зависимости расхода и скорости хладона через отверстия распылительных коллекторов СПТ, которые в качестве исходных данных передаются в КМ ОС. На втором этапе к внешней границе расчетной области КМ ОС применяется граничное условие «Свободный поток» или «Полное давление», параметры которого определяются на основе известных условий внешнего обтекания имитатора стенда. Устанавливаются параметры на всех входных и выходных граничных условиях – вход в воздухозаборное устройство и забор воздуха имитатором ВСУ. Проводится предварительный стационарный расчет для инициализации полей газодинамических величин. Далее проводится нестационарное моделирование распыла и испарения хладона в виде жидких капель в пространство мотоотсека, реализованного в КМ ОС, в условиях продува внешним воздухом и при работе имитатора ВСУ. Результатом моделирования являются временные зависимости концентрации ОГВ в контрольных точках (сенсорах), объемных датчиках и контрольных объемах.

### **3 Испытание типа «Огневой пуск»**

По результатам моделирования огневых пусков оценивается эффективность работы средств пожарной защиты в целом: как эффективность тушения пламени распыленным хладоном, так и скорость реагирования системы пожарной сигнализации на начало и завершение пожара.

Виртуальные испытания на КВОС в режиме «огневой пуск» проводятся при задействовании следующих компьютерных моделей систем:

- КМ СПС – применяется для обнаружения пожара в МО. Описывает инерцию срабатывания и отпущения СПС;
- КМ СПТ – применяется при тушении модельного пожара. Описывает течение и распыл хладона;
- КМ ОС – применяется для инициализации продува в МО;

- Имитатор системы пробоотборников – реализован внутри КМ ОС штатным функционалом программного продукта Логос;
- Имитатор ВСУ – реализован внутри КМ ОС штатным функционалом программного продукта Логос;
- КМ модельной форсунки – применяется для организации модельного пожара в МО – реализован внутри КМ ОС штатным функционалом программного продукта Логос.

Виртуальные испытания КВОС на режиме «огневой пуск» проводятся по такому же алгоритму, что и натурные (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – Последовательность событий огневого пуска

Виртуальные испытания на КВОС проводятся в несколько этапов:

Этап 1. Нестационарный расчет истечения хладона в СПТ. Расчет служит для получения расходной характеристики в каждой форсунке СПТ и применяется в качестве ИД в расчете распространения хладона в МО.

Этап 2. Стационарный расчет течения воздуха в отсеке. Служит для инициализации заданного расхода воздуха в МО и его сохранения в течении всего испытания.

Этап 3. Комплексное нестационарное моделирование КВОС. Производится распыл керосина в подкапотное пространство, моделирование воспламенения и турбулентного горения паров керосина, прогрев датчиков в КМ СП, обнаружение пожара/тушения средствами КМ СПС, активация данных от КМ СПТ, распыл и распространение хладона, тушение пламени.

## 4 Компьютерная модель системы пожаротушения

Система пожаротушения (СПТ) состоит из огнетушителя, системы труб и коллекторов с несколькими сотнями форсунок (см. рисунки 4 и 5). Типовой бак огнетушителя представляет собой емкость заданного объема, в которую помещена трубка для отвода хладона. Компьютерная модель системы пожаротушения позволяет выполнить моделирование процесса распространения хладона по трубопроводам и выход из форсунок распылительных коллекторов в многофазной постановке. Результатом моделирования являются временные зависимости массовых расходов в каждой форсунке, которые применяются как исходные данные для газодинамических расчетов на КВОС.

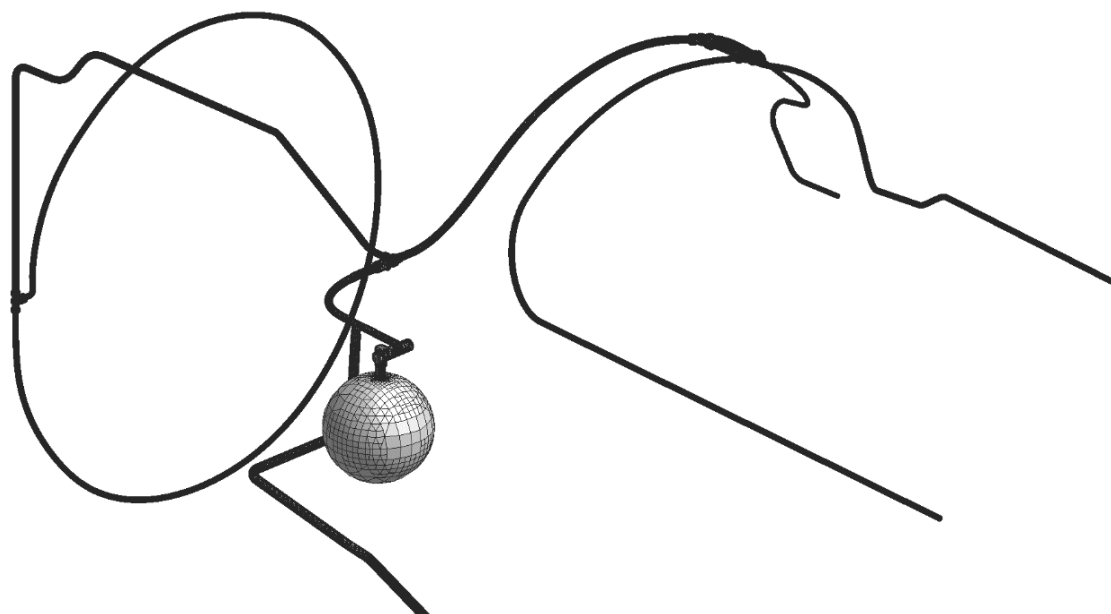


Рисунок 4. Модель СПТ

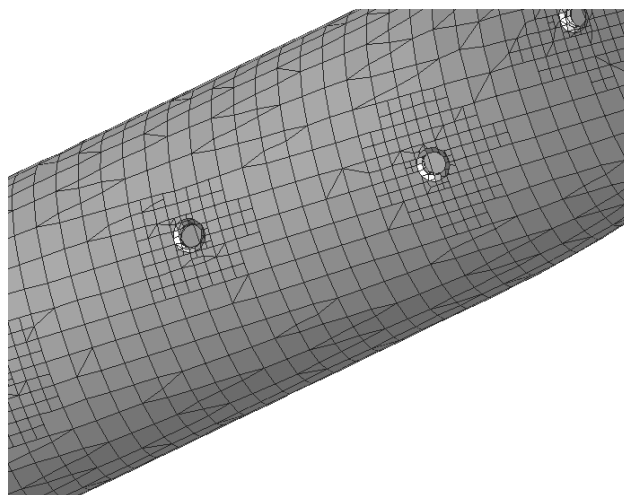


Рисунок 5. Расчетная сетка вблизи форсунок коллектора

Моделирование работы системы пожаротушения в ПП Логос подразумевает последовательное использование разделенного и связанного решателей, при этом между решателями производится передача данных о расходах хладона для каждой из форсунок. На первом этапе, с помощью разделенного решателя Логос-Гидродинамика, проводится математическое моделирование процесса разрядки огнетушителя в части течения хладона по трубопроводам с целью определения параметров ОГВ (скорости и расхода), используемых на втором этапе при инициализации форсунок в газодинамической области.

В результате расчета СПТ (см. рисунки 6-9) получаются зависимости скоростей и расходов хладона для каждой форсунки по времени для последующего использования в расчетах «холодных» и огневых пусков.

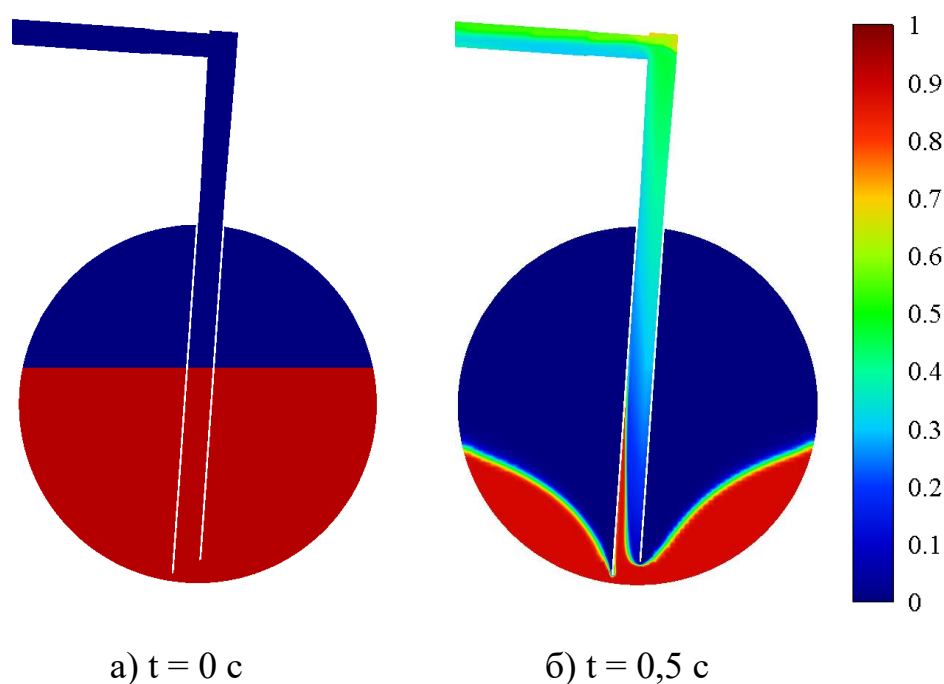


Рисунок 6. Поле распределения объемной доли жидкого хладона в сечении расчетной модели огнетушителя при  $t = 0$  с и  $t = 0,5$  с

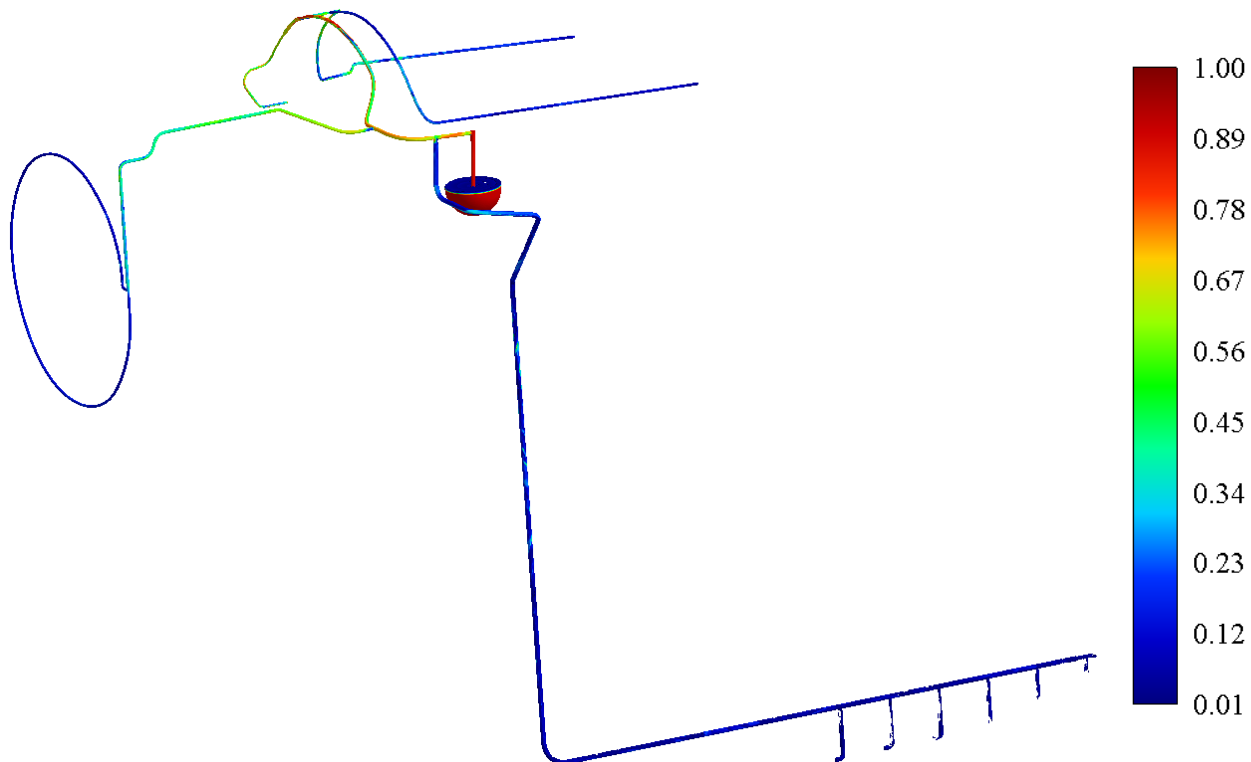


Рисунок 7. Отображение объемной доли жидкого хладагента при  $t = 0,1$  с в СПТ

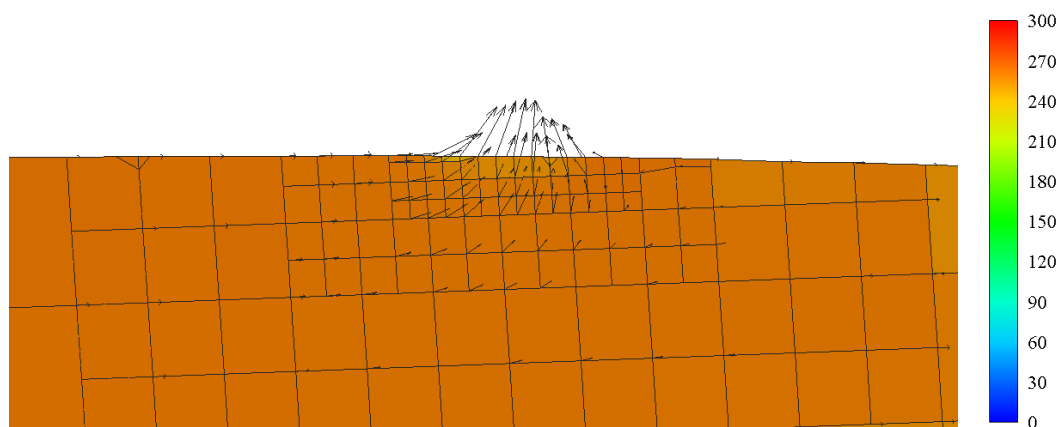


Рисунок 8. Векторное поле скоростей (м/с) в продольном сечении одной из форсунок СПТ при  $t = 0,5$ с

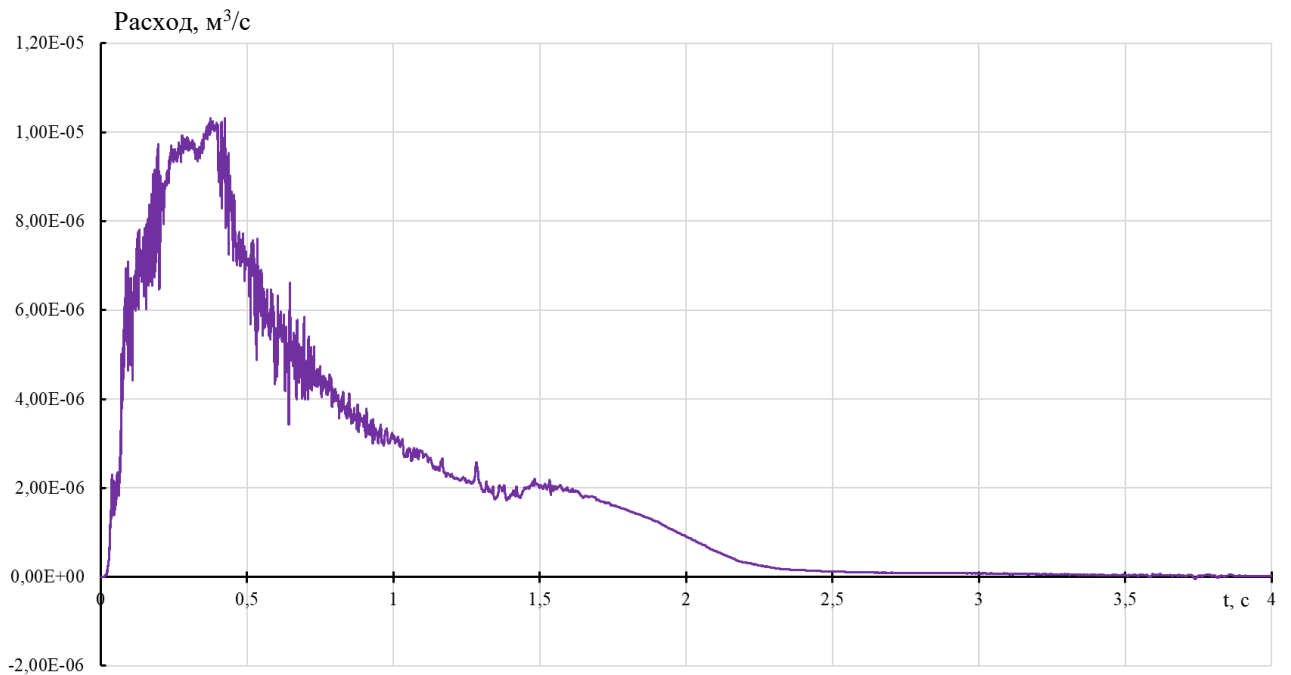


Рисунок 9. Расход хладагента в одной из форсунок СПТ

## 5 Компьютерная модель сигнализатора пожара

Для обнаружения пожара и сигнализации о нем, в мотоотсеке установлена серийная система сигнализации о пожаре СПС-1 с 23 сигнализаторами точечного типа, разделенные на 3 группы. Математическая модель логики системы пожарной сигнализации описывается на основе заложенных характеристик зависимости ЭДС от температуры на чувствительных элементах сигнализаторов, реализована в среде ПП SimInTech (см. рисунок 10). Вместо диапазона температур, в группах формируются значения термо-ЭДС и определяется включение сигнала срабатывания пожарной сигнализации.

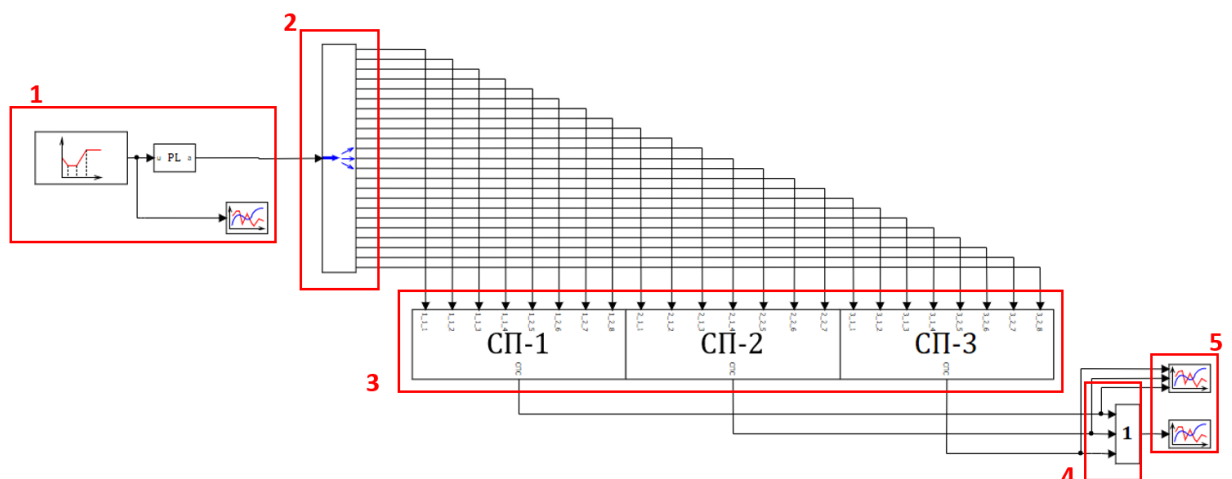


Рисунок 10. Модель логики системы пожарной сигнализации

Компьютерная модель пожарного сигнализатора реализована в ПП Логос (см. рисунок 11). Примеры результатов расчета КМ СП приведены на рисунке 12.

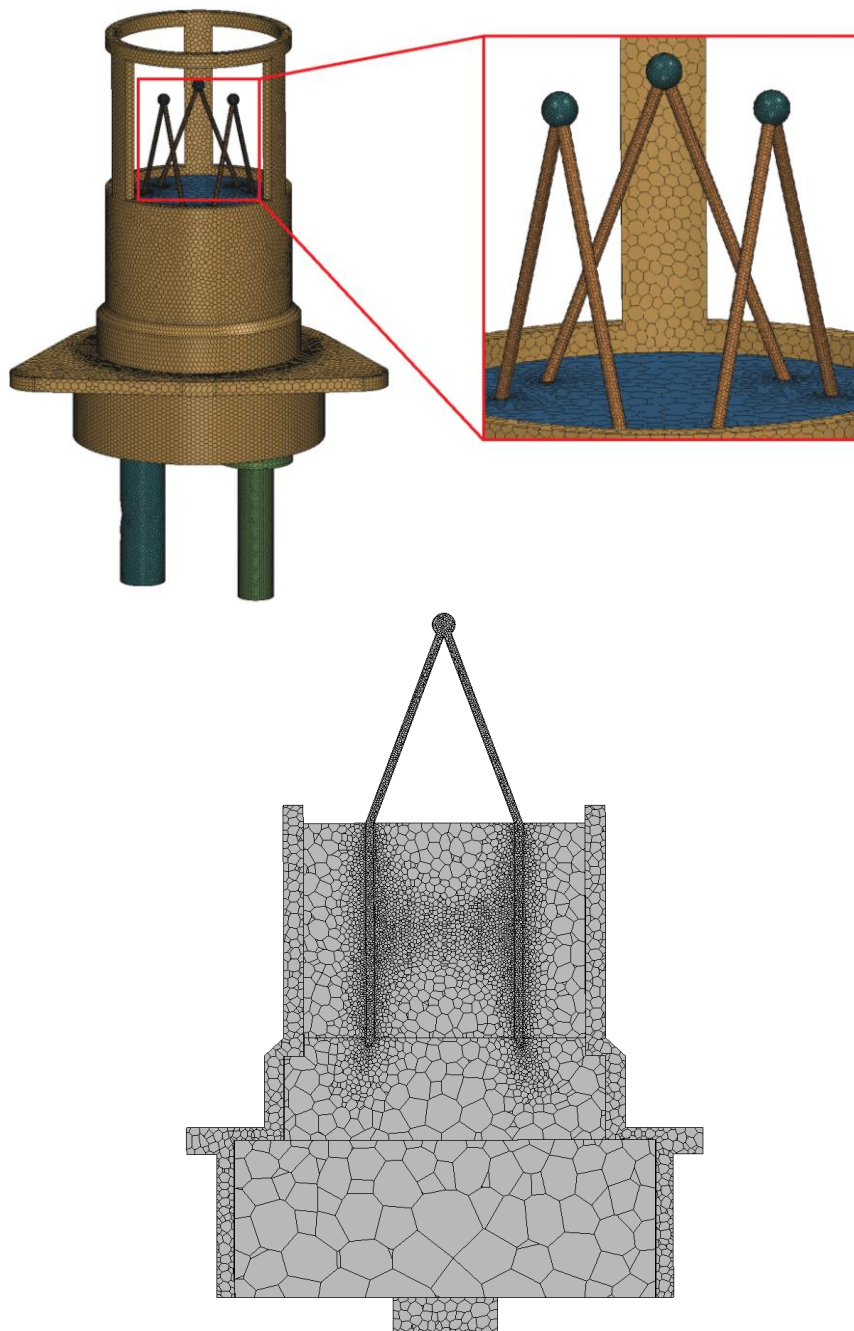
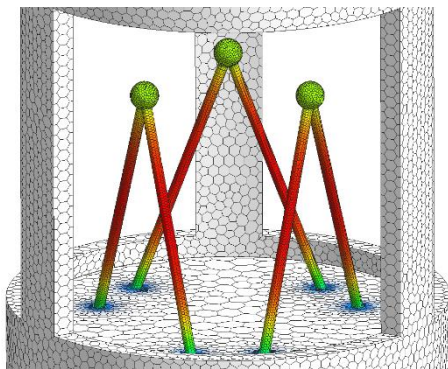
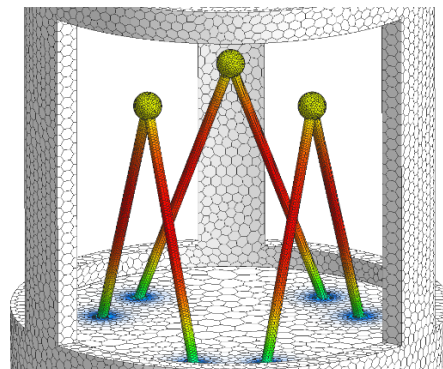


Рисунок 11. Общий вид сеточной модели сигнализатора пожара

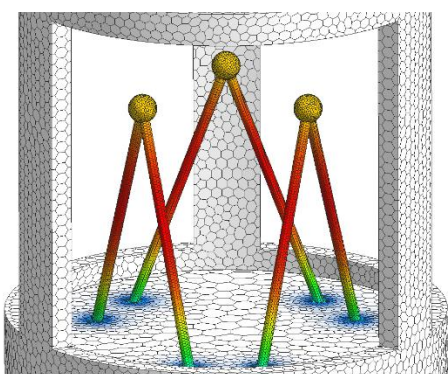
Пример расчета работы системы пожарной сигнализации приведен на рисунках 13 и 14.



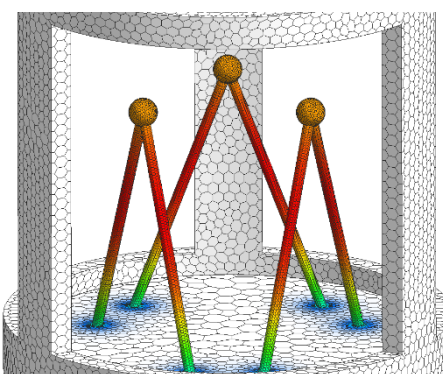
Время 0,5 с



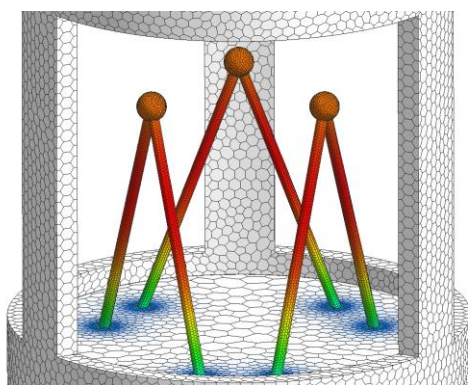
Время 1 с



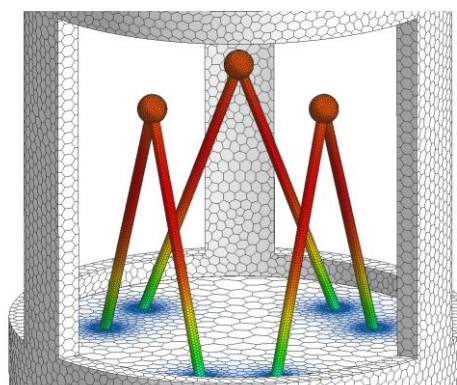
Время 1,5 с



Время 2 с



Время 2,5 с



Время 3 с

Рисунок 12. Пример расчета температур сигнализатора пожара

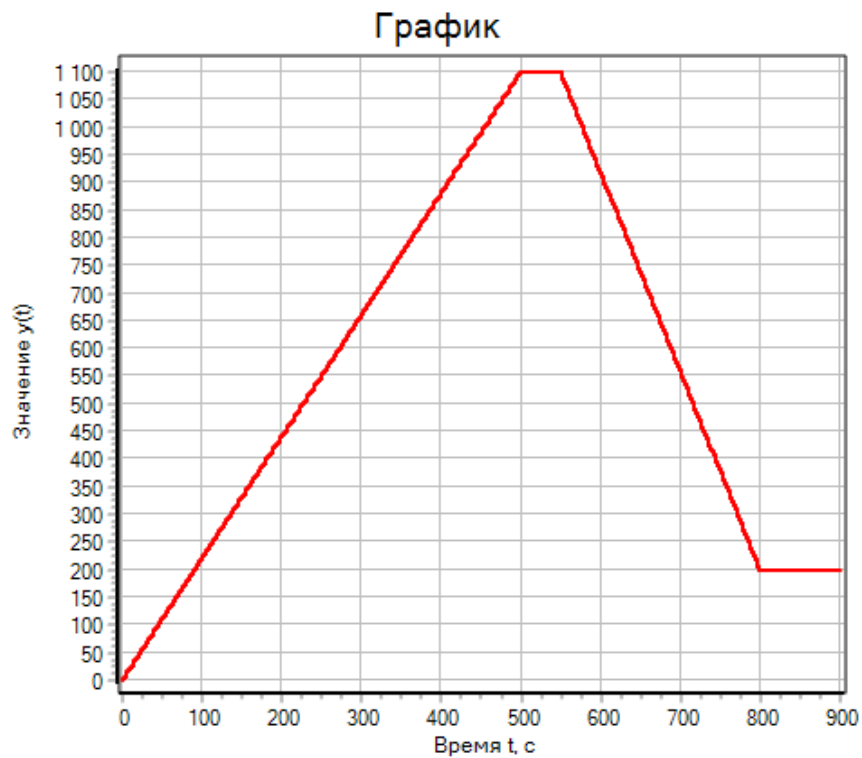


Рисунок 13. Тестовая зависимость температур от времени для сигнализаторов пожара

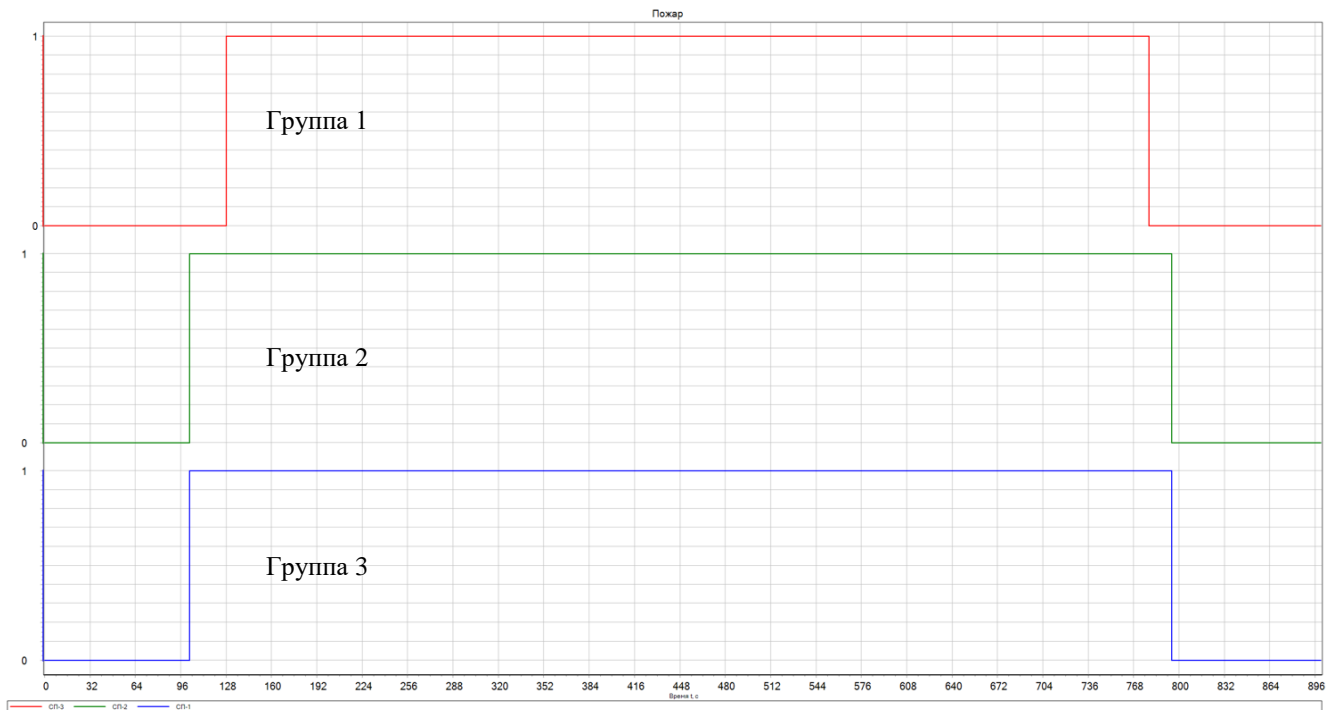


Рисунок 14. График выдачи сигнала «ПОЖАР» при тестировании 3 групп сигнализаторов (0 – сигнал «ПОЖАР» отсутствует, 1 – сигнал «ПОЖАР» присутствует)

## 6 Компьютерная модель огневого стенда

Разработка компьютерной модели огневого стенда проводится на основе электронного макета имитатора мотоотсека натурального огневого стенда или мотоотсека (пожароопасного отсека) в составе планера летательного аппарата (см. рисунок 15).

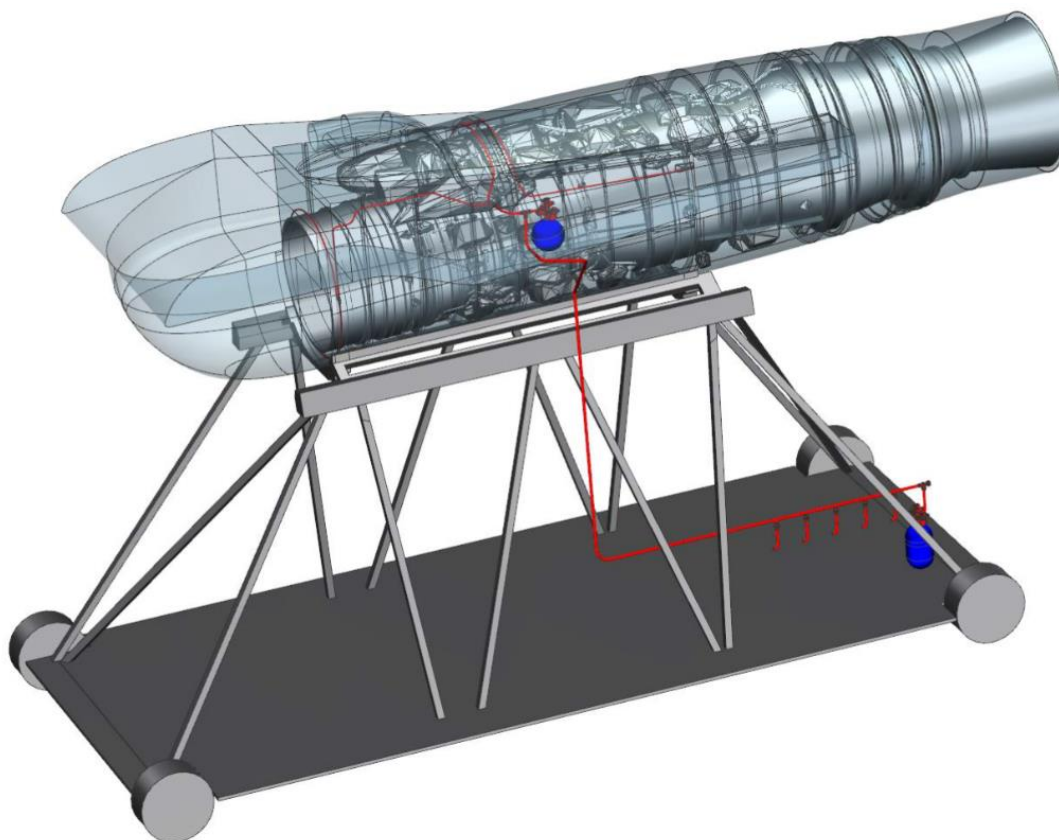


Рисунок 15. Общий вид геометрии огневого стенда

После упрощения деталей электронного макета разрабатывается геометрия расчетной области (см. рисунки 16 и 17). Расчетную область можно разделить на универсальную часть, применяемую во всех расчетных случаях, и переменные элементы, которые могут участвовать только в отдельных расчетных случаях или располагаться в различных местах от случая к случаю, например, форсунки модельного пожара.

На основе геометрической модели разрабатывается дискретная модель огневого стенда (см. рисунок 18). Размерность дискретной модели более 100 млн. ячеек.

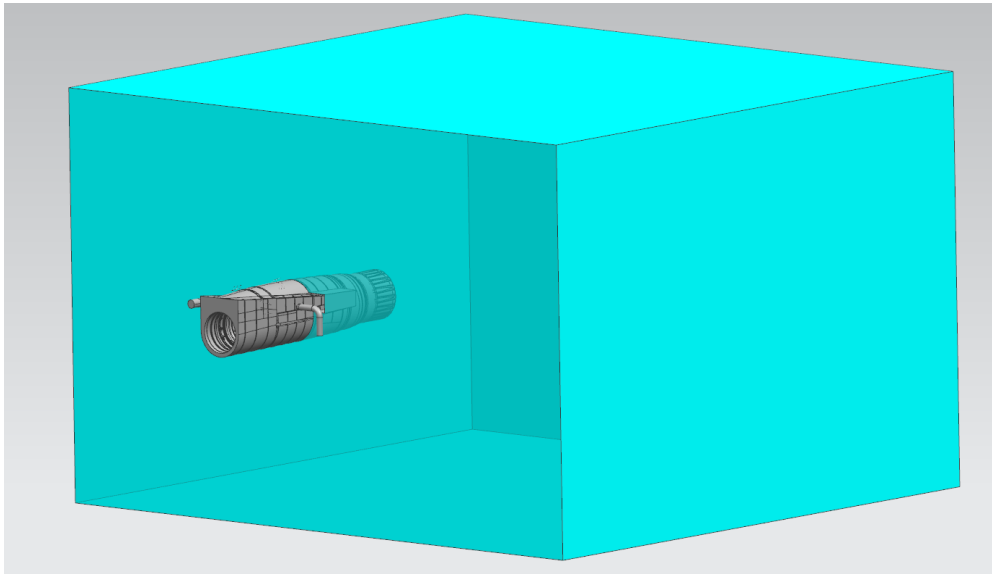


Рисунок 16. Общий вид геометрии расчетной области

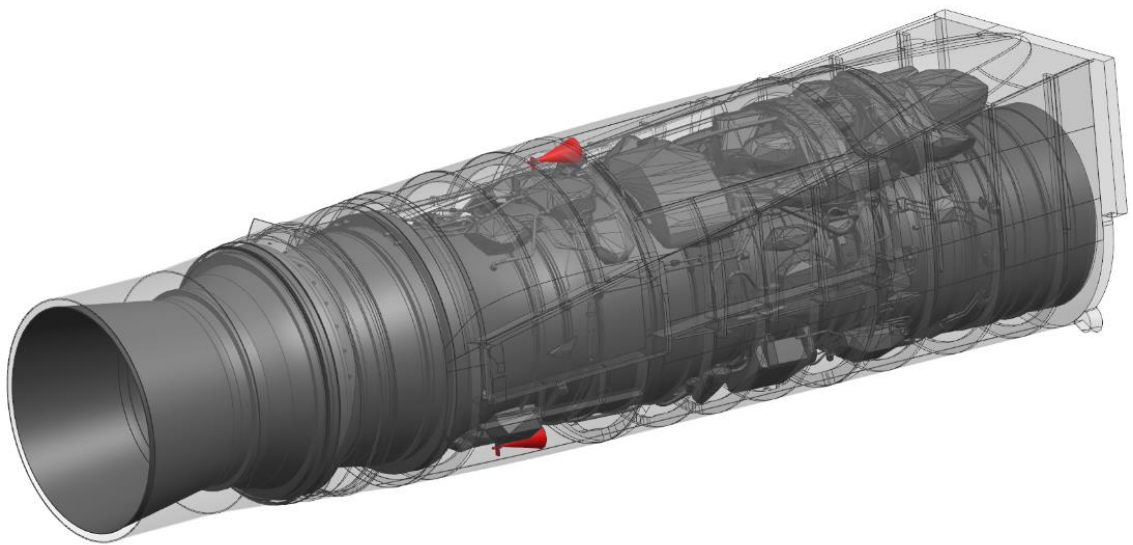


Рисунок 17. Общий вид геометрии расчетной области мотоотсека. Пример размещения форсунок одного из модельных пожаров (красные конусы)

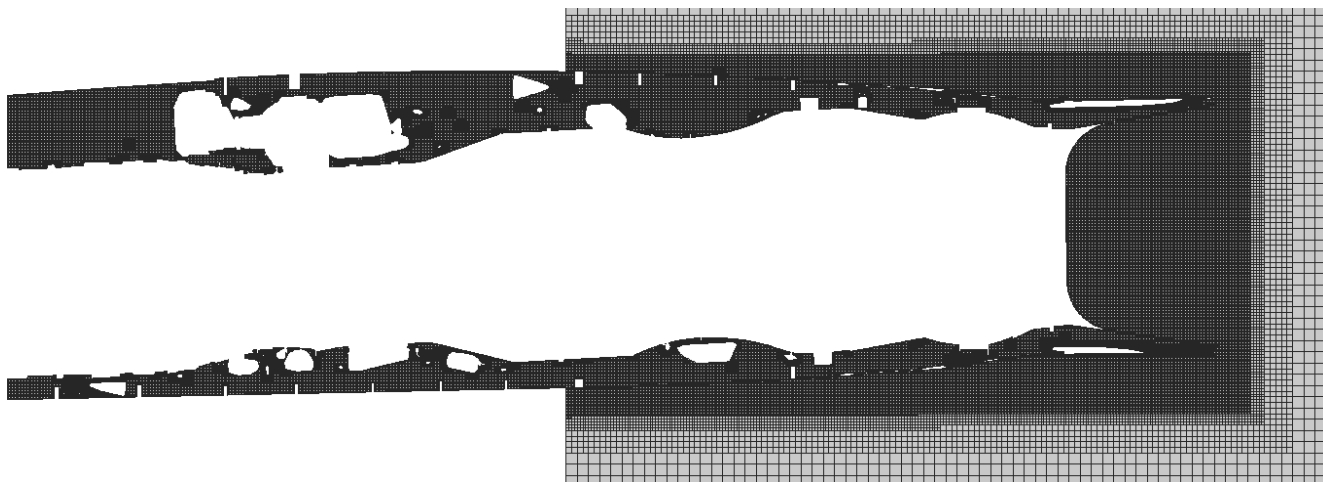


Рисунок 18. Дискретная модель в продольном сечении мотоотсека

Моделирование проводится в двухфазной постановке (хладон в виде жидких капель и паров) в присутствии двухкомпонентного газа (воздух/хладон). После установления стационарного течения моделируется распыл жидких капель хладона при помощи технологии лагранжевых квазичастиц, распыляемых из виртуальных форсунок (инжекторов). Расходные характеристики виртуальных форсунок задаются согласно результатам моделирования КМ СПТ. Квазичастицы способны взаимодействовать друг с другом и с твердой поверхностью, разбиваться на более мелкие и собираться в более крупные. Квазичастица представляет собой облако мелких капель, которые могут в процессе распыла испаряться с поверхности квазичастицы и переходить в газообразное состояние.

Результатом нестационарного моделирования «холодного» пуска являются временные зависимости концентрации ОГВ в контрольных точках (сенсорах), объемных датчиках и контрольных объемах.

## **7 Пример виртуальных испытаний на базе КВОС**

Рассмотрим пример виртуальных испытаний огневого стенда в условиях низкоинтенсивного пожара с целью определения чувствительности системы сигнализации. Испытания проводятся с учетом продувки мотоотсека воздухом, с включением и распылом керосина, моделированием зажигания и горения в объеме подкапотного пространства. Оценивается время обнаружения СПС факта возгорания и выдачи сигнала «ПОЖАР».

Последовательность расчета:

1. Стационарный расчет для установления газодинамических потоков в расчетной области;

2. Нестационарный расчет подачи струи керосина в пространство мотоотсека с учетом моделирования движения капель керосина, их испарения, дробления и образования пленок на поверхностях элементов конструкции МО;

3. Нестационарный расчет горения керосина с предварительным подводом точечного источника энергии для поджига и воспламенения горючей смеси. В процессе расчета осуществляется сбор данных по температуре газа для каждого предварительно заданного сенсора. Данные по температурам в сенсорах (объединенных по группам) передаются в ПП SimInTech для моделирования работы СПС. Для моделирования источника подачи керосина задан один конусообразный «Инжектор». Расчет низкоинтенсивного пожара проводился на супер-ЭВМ в течении 5 суток с использованием 1000 процессоров.

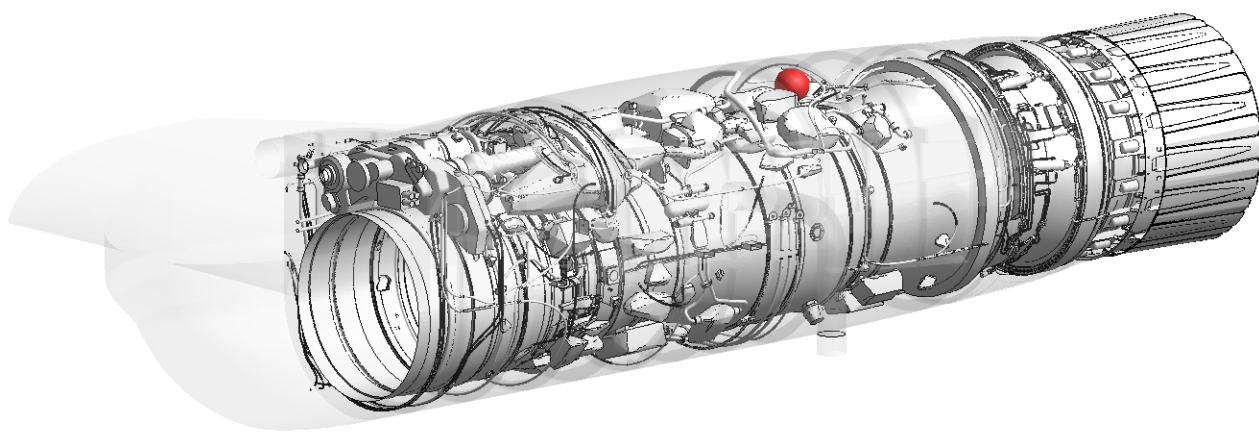


Рисунок 19. Положение форсунки (красная сфера), выбрасывающей частицы керосина в мотоотсеке

На рисунках 20 и 21 показано распределение частиц керосина по объему мотоотсека. На рисунках 22 (момент воспламенения керосина) и 23 показано распределение частиц керосина и пламени по объему мотоотсека. На рисунке 24 показана массовая доля газообразного керосина в сечении мотоотсека. На рисунке 25 показана циклограмма выдачи сигнала «ПОЖАР» компьютерной моделью СПС.

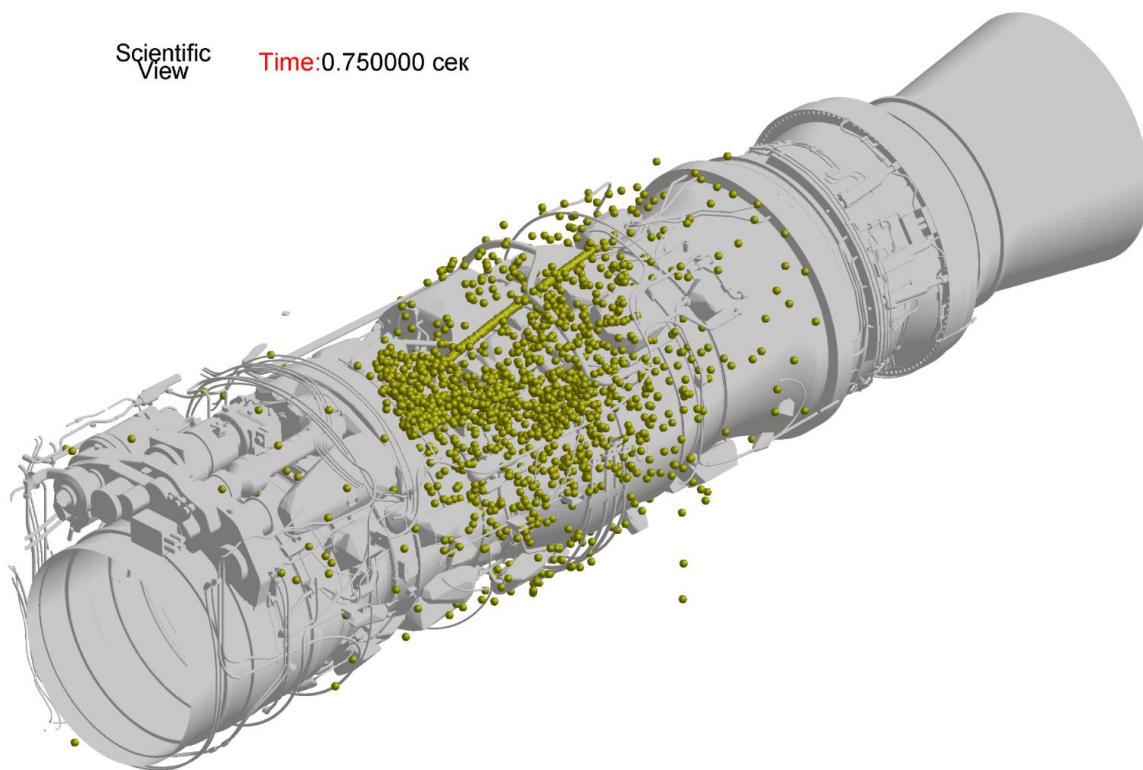


Рисунок 20. Распределение частиц керосина, момент времени 0,75 с

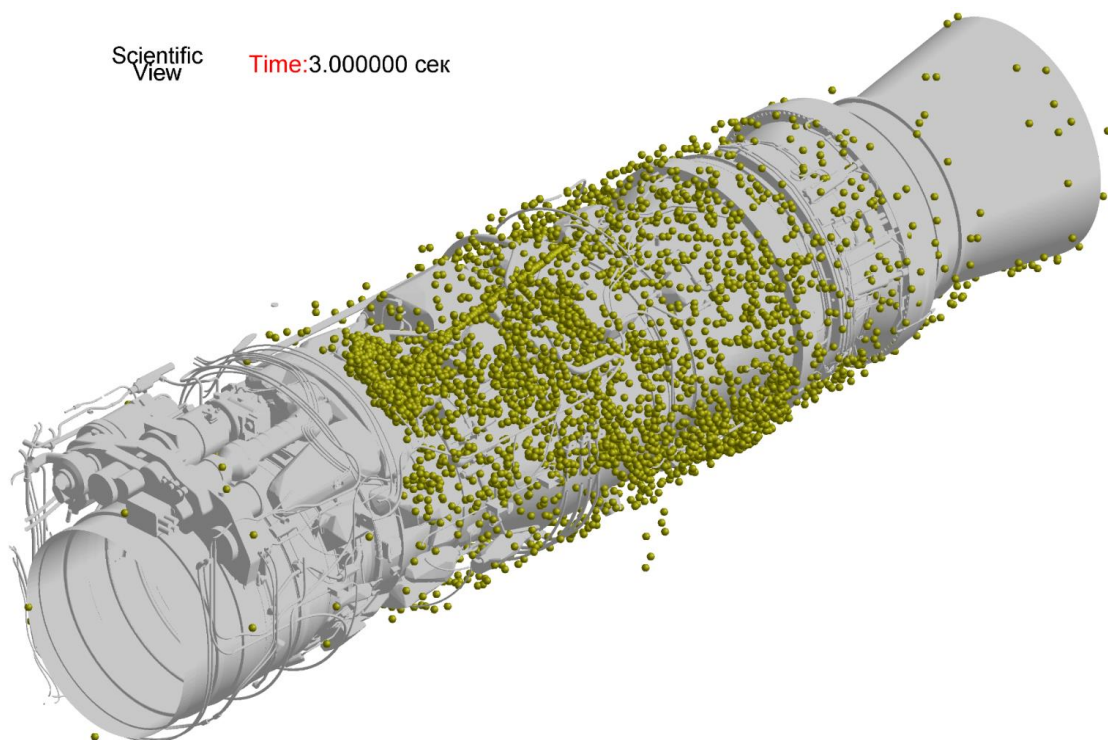


Рисунок 21. Распределение частиц керосина, момент времени 3,0 с

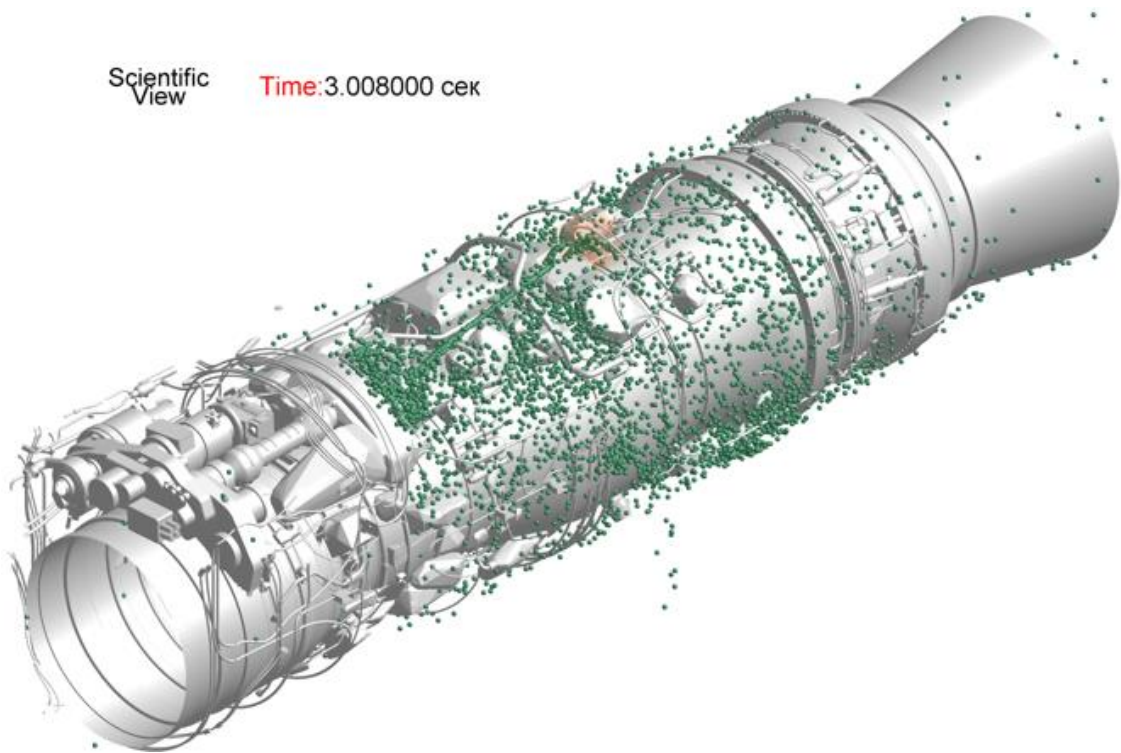


Рисунок 22. Распределение частиц керосина и пламени по объему мотоотсека, момент воспламенения керосина

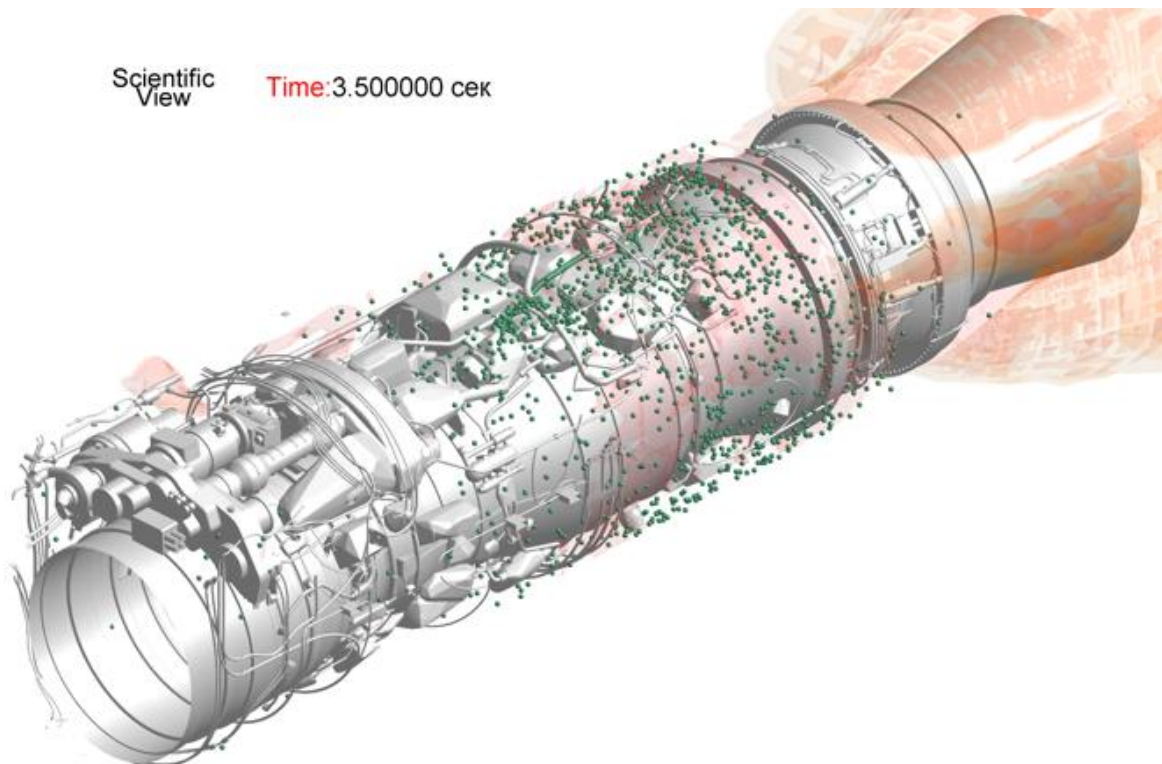


Рисунок 23. Распределение частиц керосина и пламени по объему мотоотсека, момент времени 3,25 с

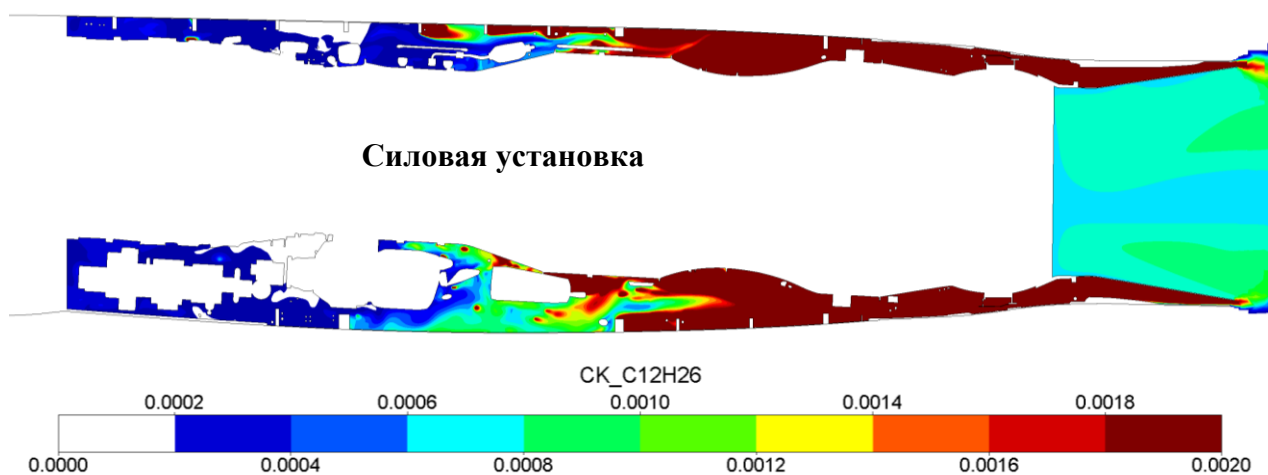


Рисунок 24. Массовая доля газообразного керосина в сечении мотоотсека на момент времени 3,0 с

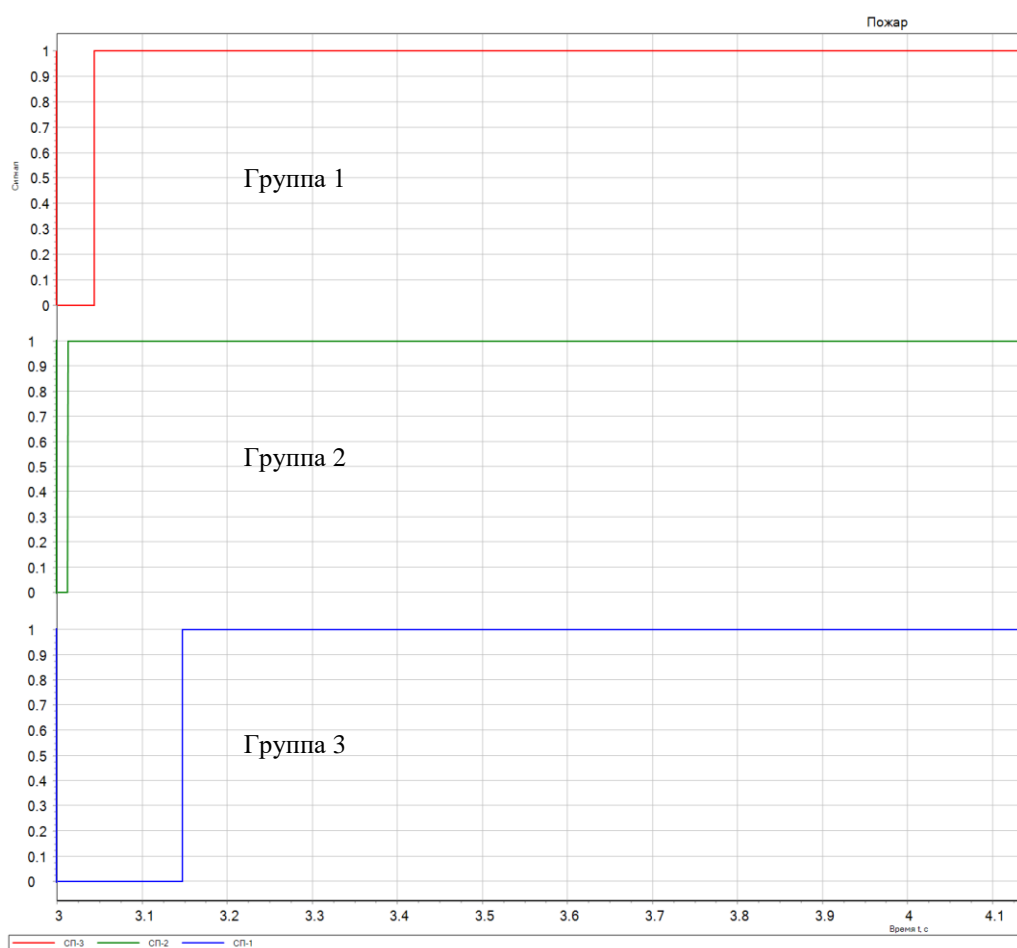


Рисунок 25. Циклограмма выдачи сигнала «ПОЖАР» КМ СПС (0 – сигнал «ПОЖАР» отсутствует, 1 – сигнал «ПОЖАР» присутствует)

## Заключение

Работа выполнена в рамках субсидии по Постановлению Правительства РФ №707 в период с 2021 по 2023г.г. Технический заказчик ПАО «ОАК», головной исполнитель ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», соисполнитель ПАО «ОАК» (ОКБ Сухого).

Подробные материалы выполненной работы, методики, результаты виртуальных испытаний и валидации КВОС представлены в [2-7].

Разработаны самостоятельные методики: построения дискретных моделей в интересах решения задач огнестойкости; решения задач расчета течения, испарения и воспламенения капель авиационного керосина ТС-1, масла ИМП-10 и гидравлической жидкости 7-50С-3 ГОСТ 20734-75 в части генерации расчетных моделей и выбора параметров решателей; расчета огнестойкости.

Разработана комплексная методика применения КВОС.

Разработаны программные средства для расширения возможностей программного комплекса инженерного анализа Логос:

- Построения расчетной сетки в тонкостенных конструкциях;
- Моделирования работы системы сигнализации пожара;
- Моделирования работы системы пожаротушения (разрядка огнетушителя, подача огнегасящего вещества (ОГВ) и распыление его внутри мотоотсека);
- Расчета течения, испарения и воспламенения капель авиационного керосина ТС-1, масла ИМП-10 и гидравлической жидкости 7-50С-3 по ГОСТ 20734-75;
- Расчета испарения ОГВ и тушения пламени;
- Расчета огнестойкости.

Разработан программный модуль КВОС в виде специализированного пользовательского интерфейса и оформлено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [8] (см. Приложение 1).

Сформирован валидационный базис и проведена обширная валидация всех программных модулей КВОС на экспериментальных данных по всем стадиям испытаний пожарных стендов маневренных ЛА 4 и 5 поколений ОКБ Сухого.

Выполнено внедрение разработанного программного модуля КВОС на предприятия Технического заказчика.

Работа выполнена полностью в соответствии с ТЗ [1], о чем свидетельствует Акт приемки работы в целом (см. Приложение 2).

Следует особенно отметить:

1. Комплексная методика и программные средства КВОС успешно применены для сокращения стендовых испытаний в рамках ОКР по разработке перспективного ЛА ОКБ Сухого. На этапе Предварительных испытаний ОКР в 2023г. осуществлено сокращение количества испытаний на 50%, с 70 шт. до 35 шт., что эквивалентно сокращению работ на 4-5 месяцев и экономии нескольких сотен миллионов рублей.
2. Положительный опыт КВОС дает основание предложить испытательному центру Заказчика (МО РФ) применять КВОС для сокращения или замены натурных испытаний на будущих ОКР по созданию ЛА.
3. Разработанная технология КВОС может быть тиражирована на другие виды ГСМ и применена для гражданской авиационной техники, а также для других видов военных и гражданских транспортных средств.
4. Доклады с результатами проекта КВОС были неоднократно представлены на конференциях в 2023г. и имеют положительный отзыв научно-технического сообщества.
5. В настоящее время несколько сотрудников ОКБ Сухого и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» выполняют диссертационные работы на базе КВОС.
6. Анализ публикаций показал отсутствие аналогов КВОС. Создана инновационная отечественная технология виртуальных испытаний с подтверждённой практической применимостью.

## Список использованных источников

1. Техническое задание на выполнение работы «Разработка программного модуля комплексного виртуального огневого стенда». Утверждено директором ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», генеральным конструктором, заместителем генерального директора ПАО «ОАК» 31.03.2021. Инв. № 8/29404. 17 с.
2. Интеграция подготовленных расчетных моделей в рамках системы КВОС. Отчет-аннотация. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». А.С. Козелков. Инв. № 8/30604. 2023. 81 с.
3. Разработка методики решения задач моделирования этапа тушения пожара в отсеке. Разработка методики проведения комплексного виртуального испытания в рамках системы КВОС. Отчет-аннотация. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». А.С. Козелков. Инв. № 8/30601. 2023. 128 с.
4. Разработка базовой версии специализированного пользовательского интерфейса КВОС. Отчет-аннотация. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». А.С. Козелков. Инв. № 8/ 30600. 2023. 42 с.
5. Разработка виртуальных испытаний. Научно-технический отчет. Книга 1. ПАО «ОАК» (ОКБ Сухого). Инв. № 1/451084/43/о. 2023. 310 с.
6. Разработка виртуальных испытаний. Научно-технический отчет. Книга 2. ПАО «ОАК» (ОКБ Сухого). Инв. № 1/451084/44/о. 2023. 315 с.
7. Разработка специализированного пользовательского интерфейса КВОС. разработка виртуальных испытаний. Разработка комплексной методики применения КВОС. Научно-технический отчет. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». А.С. Козелков. 2023. 333 с.
8. «Программный модуль комплексного виртуального огневого стенда», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, Козелков А.С. и др., Номер регистрации (свидетельства): 2023669419; Дата регистрации: 14.09.2023, 2с.

# Приложение №1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**RU2023669419**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):  
2023669419

Дата регистрации: 14.09.2023

Номер и дата поступления заявки:  
2023668367 05.09.2023

Дата публикации и номер бюллетеня:  
14.09.2023 Бюл. № 9

Контактные реквизиты:  
нет

Автор(ы):

Козелков Андрей Сергеевич (RU),  
Зеленский Дмитрий Константинович (RU),  
Курулин Вадим Викторович (RU),  
Щур Ирина Александровна (RU),  
Жучков Роман Николаевич (RU),  
Алейников Алексей Юрьевич (RU),  
Галанов Николай Геннадьевич (RU),  
Говорунов Илья Николаевич (RU),  
Емельянова Яна Валерьевна (RU),  
Корчажкин Денис Александрович (RU),  
Салова Ирина Николаевна (RU),  
Саразов Алексей Владимирович (RU),  
Стручков Андрей Викторович (RU),  
Уткина Анна Александровна (RU),  
Надежкин Алексей Васильевич (RU),  
Борисенко Ольга Николаевна (RU),  
Черенкова Марина Витальевна (RU),  
Фархутдинов Василь Фаритович (RU),  
Слепов Александр Сергеевич (RU),  
Гиниятуллина Анастасия Геннадьевна (RU),  
Евстифеева Елена Олеговна (RU),  
Попова Наталья Васильевна (RU),  
Цалко Тарас Валентинович (RU),  
Кузьменко Милана Владимировна (RU),  
Панкратов Дмитрий Михайлович (RU),  
Бармин Александр Михайлович (RU),  
Симаков Виталий Юрьевич (RU),  
Новиков Олег Вячеславович (RU),  
Игонькин Максим Николаевич (RU),  
Красноярова Дарина Александровна (RU),  
Новиков Виталий Вячеславович (RU),  
Фролова Алина Николаевна (RU),  
Шамшин Игорь Олегович (RU),  
Пасынков Павел Александрович (RU),  
Семенов Илья Витальевич (RU),  
Фролов Сергей Михайлович (RU),  
Сметанюк Виктор Алексеевич (RU),  
Елесин Владимир Владимирович (RU),  
Фролов Федор Сергеевич (RU),  
Иванов Владислав Сергеевич (RU),  
Корнев Александр Владимирович (RU),  
Останко Денис Андреевич (RU),  
Сатин Анатолий Анатольевич (RU),

Спирин Николай Сергеевич (RU),  
Соломатин Роман Сергеевич (RU)  
Правообладатель(и):  
Федеральное государственное унитарное  
предприятие «Российский федеральный ядерный  
центр – Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики» (ФГУП  
«РФЯЦ-ВНИИЭФ») (RU)

Название программы для ЭВМ:

**Программный модуль комплексного виртуального огневого стенда**

**Реферат:**

Программа предназначена для подтверждения эффективности средств пожарной защиты летательных аппаратов, их соответствия общим техническим требованиям военно-воздушных сил и тактико-техническому заданию на летательный аппарат. Программа может применяться для замены сертификационных и государственных испытаний средств пожарной защиты летательного аппарата на огневом натурном стенде. Функциональные возможности программы: построение расчетной сетки в тонкостенных конструкциях; моделирование работы системы сигнализации пожара и системы пожаротушения; моделирование течения, испарения и воспламенения капель авиационного керосина, масла и гидравлической жидкости; моделирование испарения огнегасящего вещества и тушения пламени в объеме пожароопасного отсека; расчет огнестойкости. Программа обладает специализированным пользовательским интерфейсом с проблемно-ориентированным графическим интерфейсом. Тип ЭВМ: ПЭВМ, рабочие станции и суперкомпьютеры под управлением Windows/Linux. ОС: Windows 7 Service Pack1, Linux7.x/CentOS 7.x, Scientific Linux 7.x.

**Язык программирования:** C++

**Объем программы для ЭВМ:** 8253,44 КБ

## Приложение №2



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор – заместитель  
Генерального конструктора ПАО «ОАК»  
С.С. Коротков

«17» 11 2023 г.

## А К Т

17.11.2023

№ ОАК-КВос-23-А

г. Москва

Приемочных испытаний и приемки последнего этапа и работы в целом, выполненной в соответствии с техническим заданием на выполнение работы «Разработка программного модуля комплексного виртуального огневого стенда» составлен «17» ноября 2023 года

Приемочная комиссия по проведению приемочных испытаний и приемки последнего этапа и работы в целом (далее – приемочная комиссия), назначенная решением от 15.11.2023 № 26500 в составе:

**Председатель приемочной комиссии –**

Главный конструктор СКТ ПАО «ОАК» ОКБ Сухого

Корнев А.В.

**Члены приемочной комиссии:**

Главный специалист по ЕИС и единой нормативной базы данных ПАО «ОАК»

Назаров А.В.

Начальник научно-исследовательского отдела ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Козелков А.С.

Начальник научно-исследовательской группы ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Щур И.А.

Ведущий научный сотрудник ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Жучков Р.Н.