

Экспериментальное исследование стратификации и горения ВПГС

И.В. Лавренюк, Е.В. Безгодов, В.А. Симоненко, С.Д. Пасюков,
М.В. Никифоров, В.П. Бакаев, В.Н. Федюшкин, И.А. Попов

Цели

- Исследование процессов, характерных для ТА на АЭС
 - стратификация или ее разрушение
 - распространение по помещениям
 - конденсация
- Исследование процесса распространения пламени в условиях, характерных для ТА
 - В однородной смеси
 - В стратифицированных составах
 - Переход пламени между помещениями
- Моделирование аварийных сценариев
- Исследование элементов систем безопасности

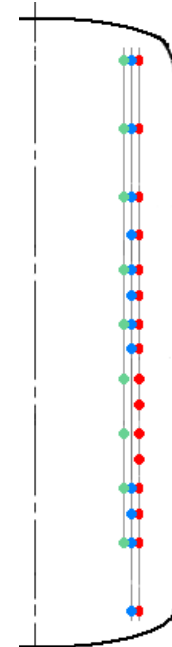
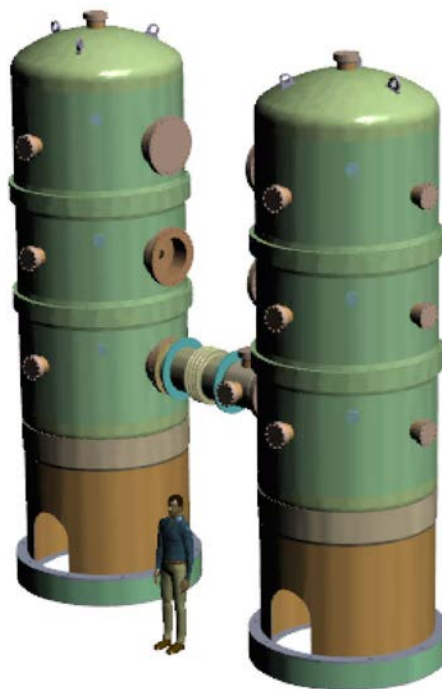
Стенд

Параметры камеры:

- Высота 5 м
- Диаметр 2 м
- Объем ~14,5 м³

Регистрируемые параметры

- Давление
- Температура ВПГС – 18 точек
- Температура стенок – 11 точек
- Регулирующие термопары, мощность нагрева
- Влажность – 16 точек
- Состав газовых проб – 2×9, 3×9
- Расход и температура подаваемых газов
- Скорость пламени – датчики-отметчики, скоростная видеосъемка
- Структура фронта пламени – скоростная видеосъемка

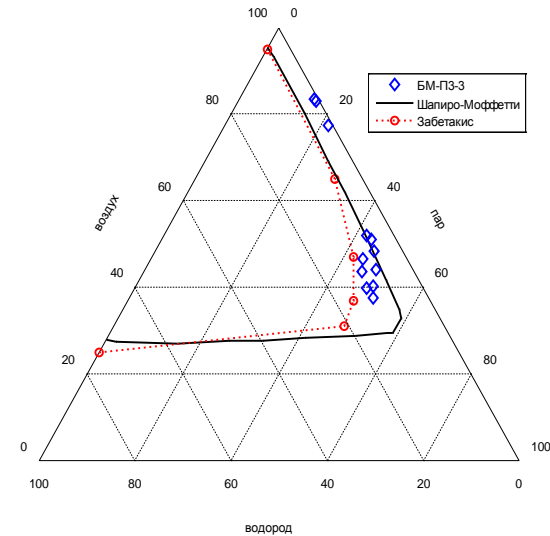
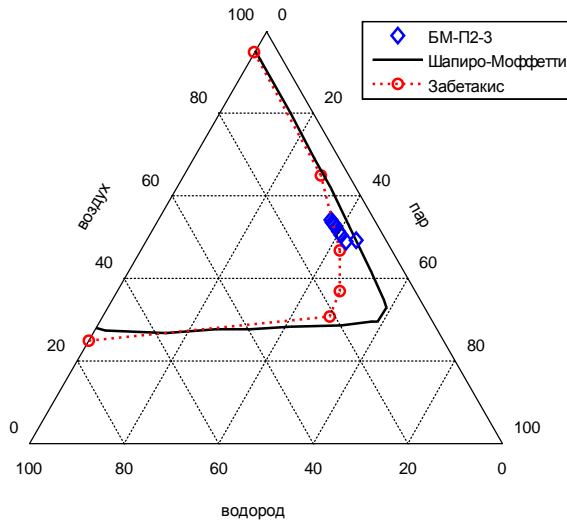
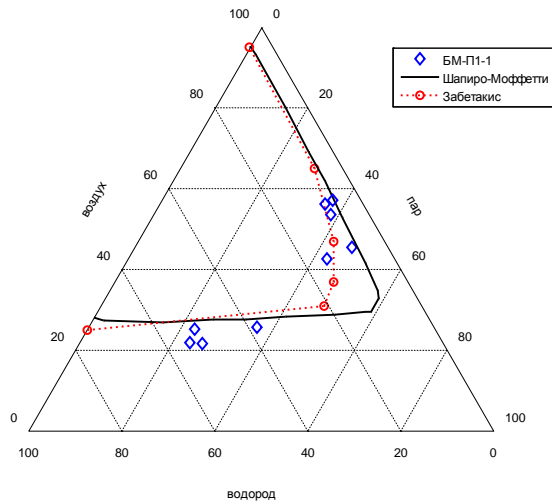


Типы распределения газов

стратификация

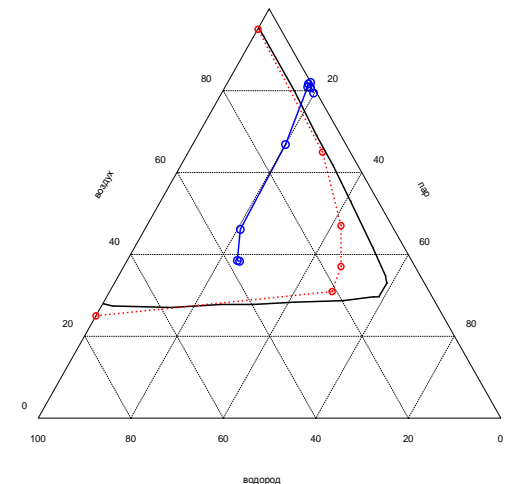
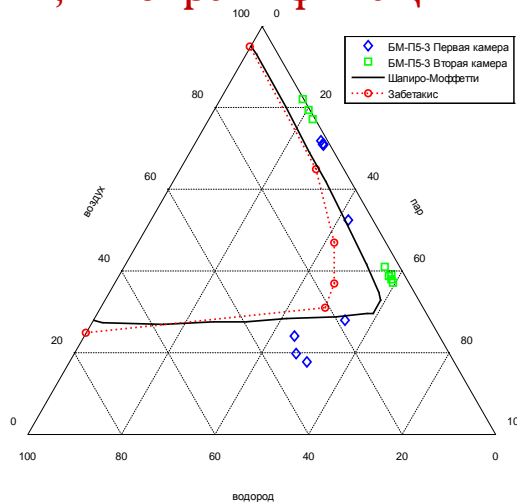
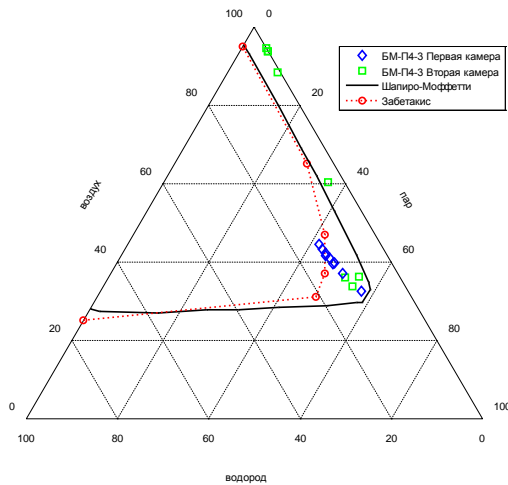
однородное

локализация легких газов



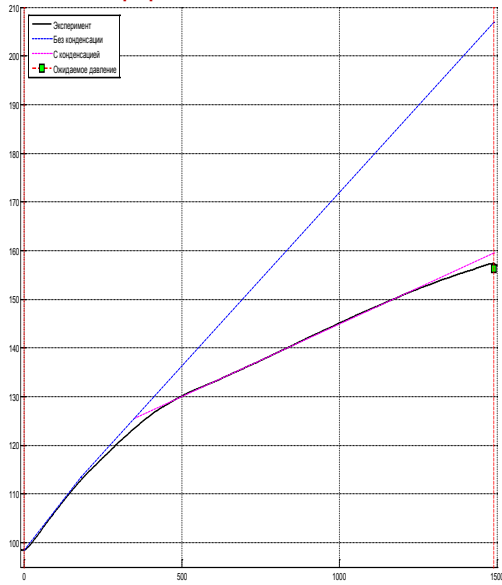
I – однородное, II – стратификация I,II – стратификация

однородное по пару

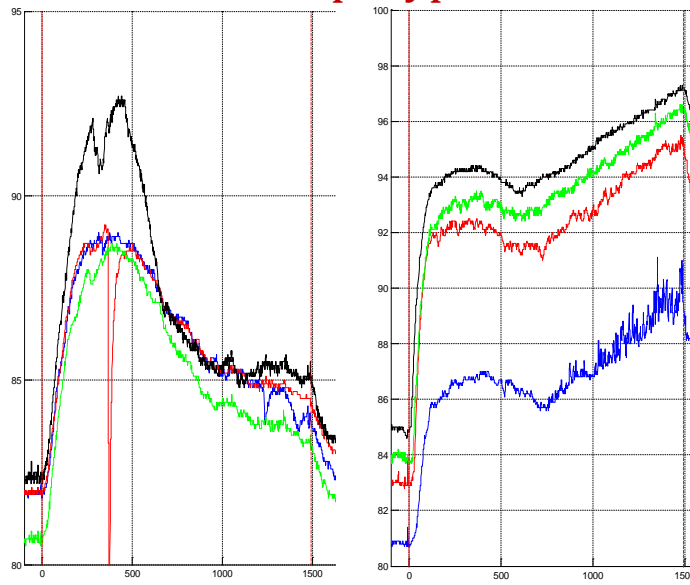


Конденсация

Давление

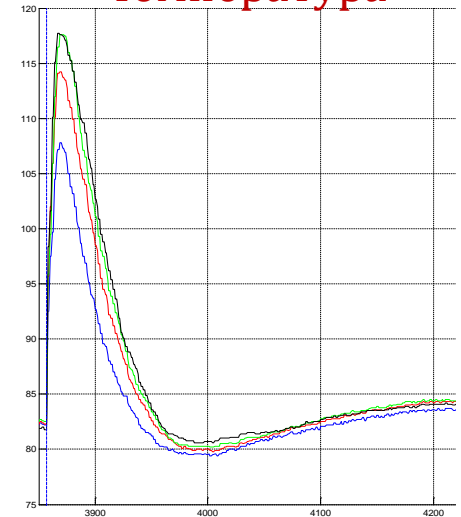


Температура



Иницирование

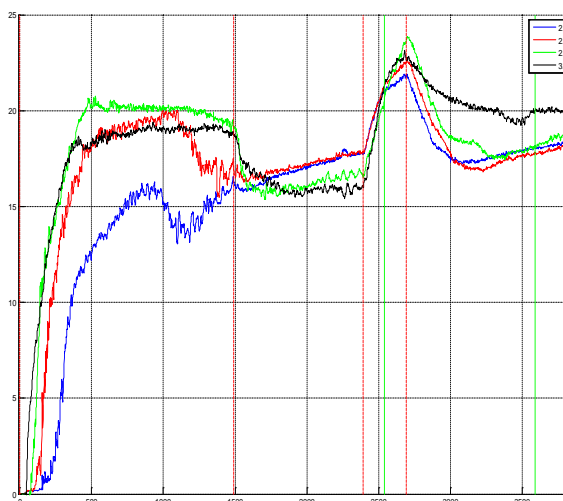
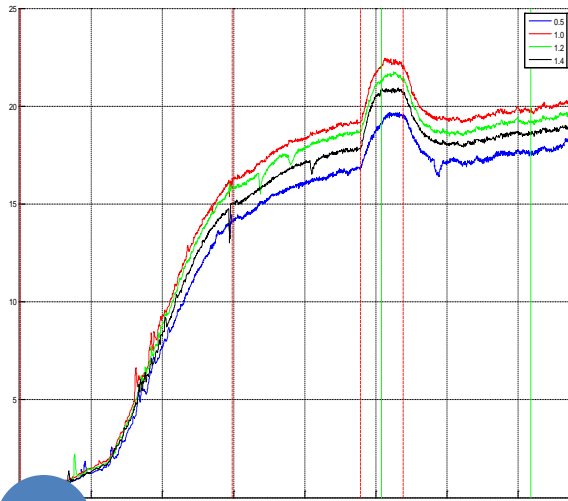
Температура



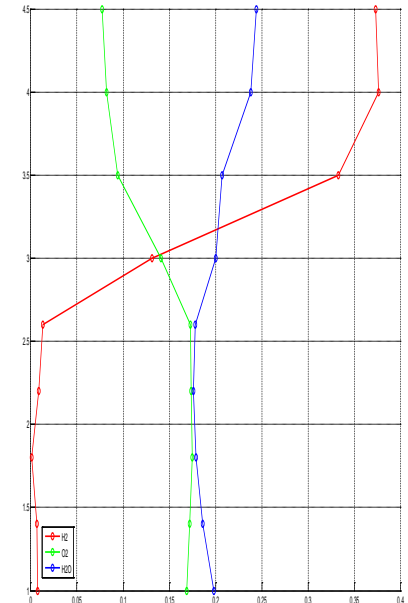
Доля пара

низ

середина

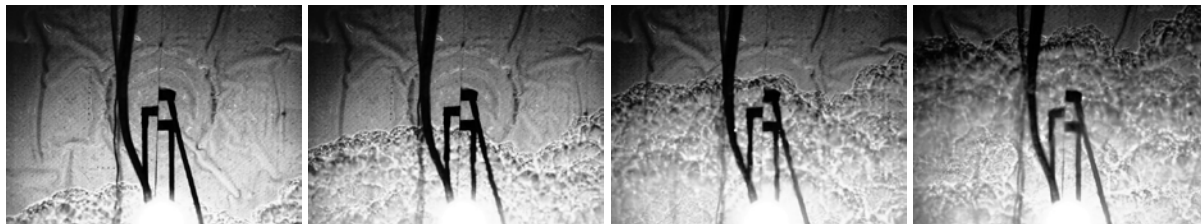


Состав

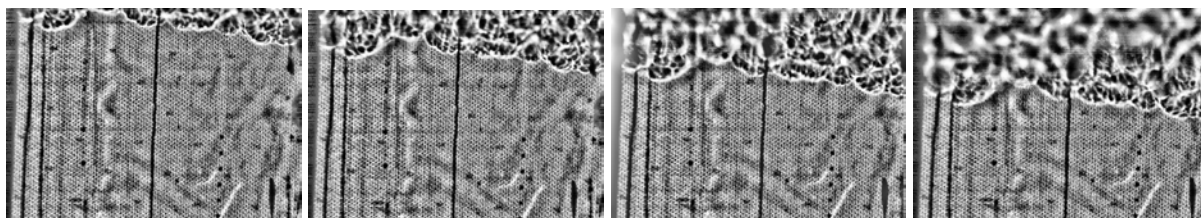


Распространение пламени

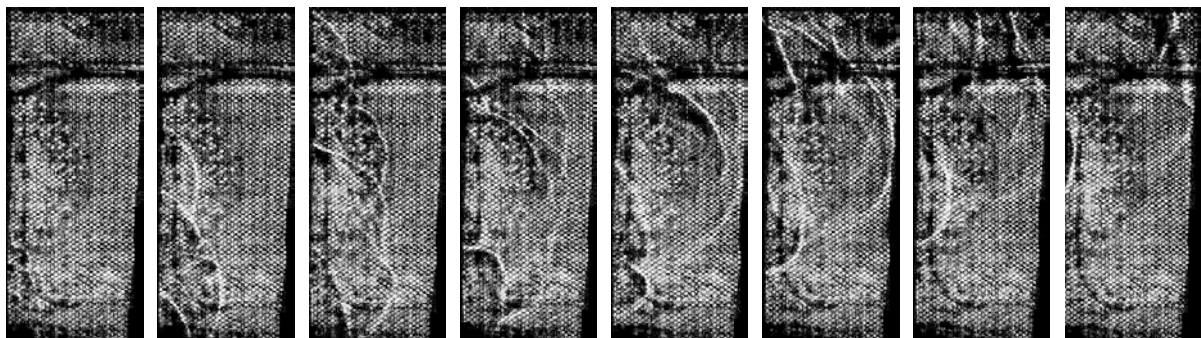
распространение пламени вверх в смеси 16,3–19,2–64,5



распространение пламени вниз в смеси 11,7–32,1–56,2



всплытие пламени в виде термика в смеси 10,2–33,5–56,3

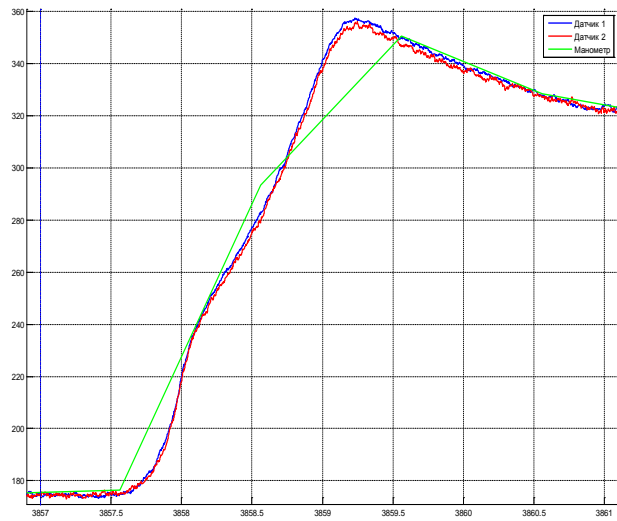


8 экспериментов

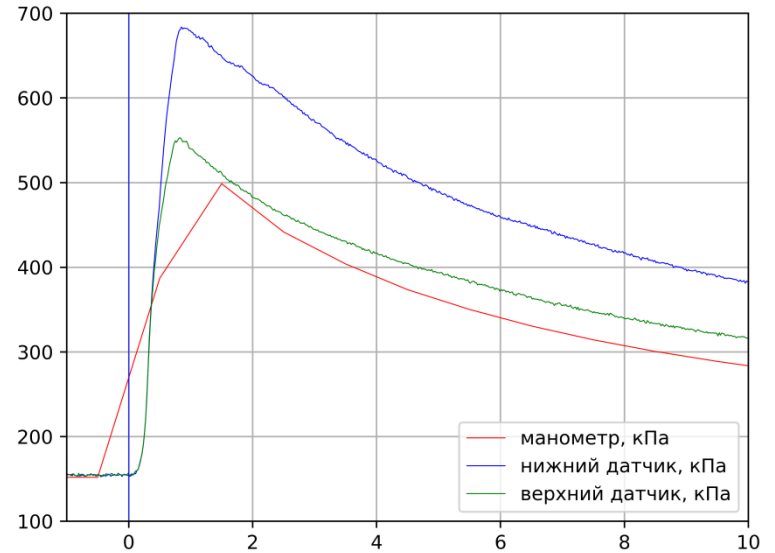
Регистрируемые параметры

- Скорость пламени
- Давление
- Температура
- Состав до и после инициирования

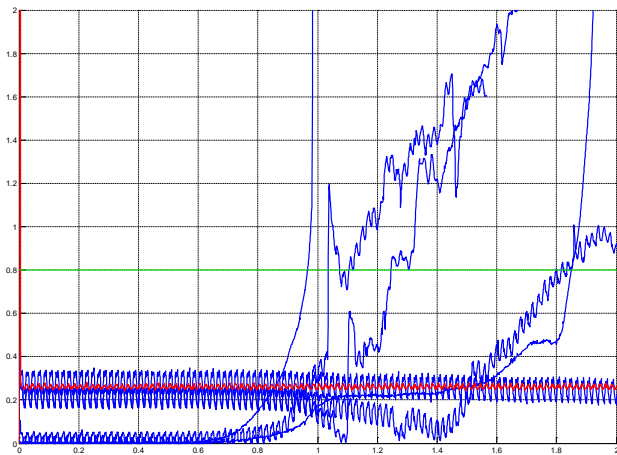
Давление и датчики-отметчики



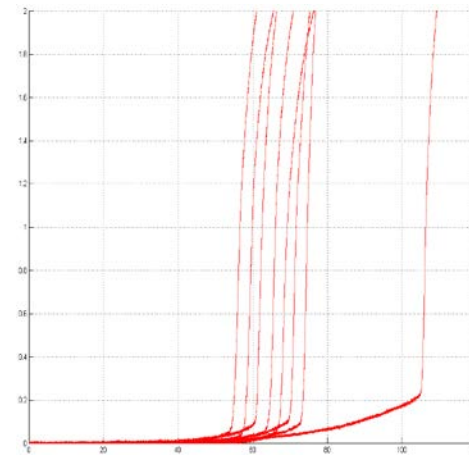
БМ-П1-4



БМ-П3-2



БМ-П1-4



БМ-П1-3

Продолжение экспериментов

- Моделирование аварийных сценариев
 - Одновременная подача горячей смеси водород+пар в однородную смесь воздух+пар
 - Уточнение постановки и принципов моделирования
- Исследование процесса распространения пламени
 - Влияние градиента концентраций
 - Влияние состава
- Исследование влияния элементов систем безопасности
 - Спринклеры
 - Рекомбинаторы

Рекомбинаторы

Ожидаемые результаты	Применимость
Определение эмпирической зависимости скорости окисления водорода в рекомбинаторе	Анализ эффективности рекомбинаторов в аварийных сценариях при проектных работах
Прецизионные данные по каждому эксперименту	Проверка (создание) моделей каталитического горения, валидация CFD-кодов
Определение границы воспламенения	Анализ безопасности применения рекомбинаторов при проектных работах
Данные интегральных экспериментов	Анализ влияния рекомбинаторов на распределение газов под 30
Модернизация конструкции корпуса	Повышение безопасности и эффективности рекомбинатора

Необходимые изменения

- Более точный контроль за массой подаваемого водяного пара
- Уменьшение неравномерности нагрева стенок
- Автоматизация проведения эксперимента
- Автоматизация обработки результатов экспериментов

- Определение скорости потоков (термоанемометры)
- Увеличение количества датчиков
- Переход к непрерывному анализу газовых проб
- Переход к непрерывному измерению концентрации водорода
- Внедрение PIV-методики

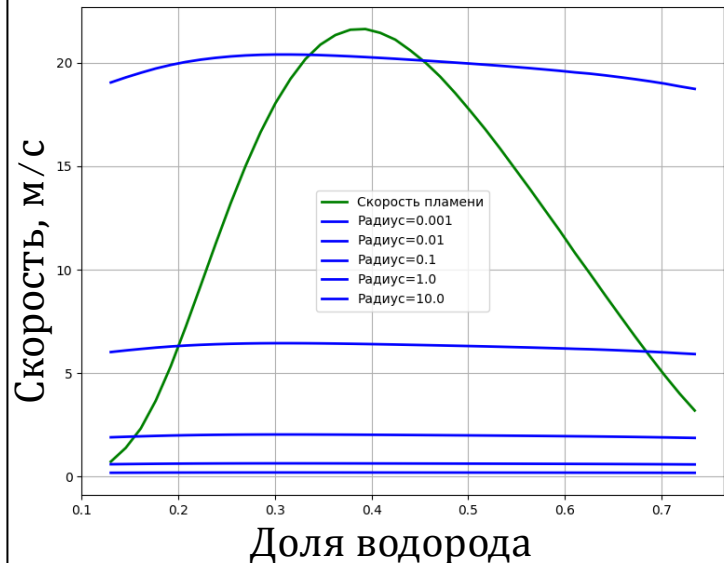
Выводы

- В проведенных экспериментах получены различные типы заполнения камеры
- Конденсация существенно влияет на распределение газов
- Получены данные о распространении пламени в смесях с водяным паром
- Результаты можно рекомендовать для валидации моделей и кодов
- Созданный экспериментальный комплекс позволяет исследовать широкий круг задач, в том числе элементы систем безопасности.

Упрощенная модель распространения пламени

- Модель адиабатического реактора постоянного объема
 - дает завышенные значения давления
 - для состава 13,4–56,3–30,3 $P=660$ кПа
 - для состава 10,0–42,2–47,8 $P=540$ кПа
 - не дает зависимости давления от времени
- Новая модель с низкой вычислительной стоимостью должна учитывать
 - зависимость скорости распространения пламени от начального состава, температуры и давления
 - зависимость скорости всплытия пламени от отношения плотностей продуктов горения и атмосферы и размера пламени
 - взаимодействие пламени со стенками
 - неполное выгорание смеси
 - теплопотери

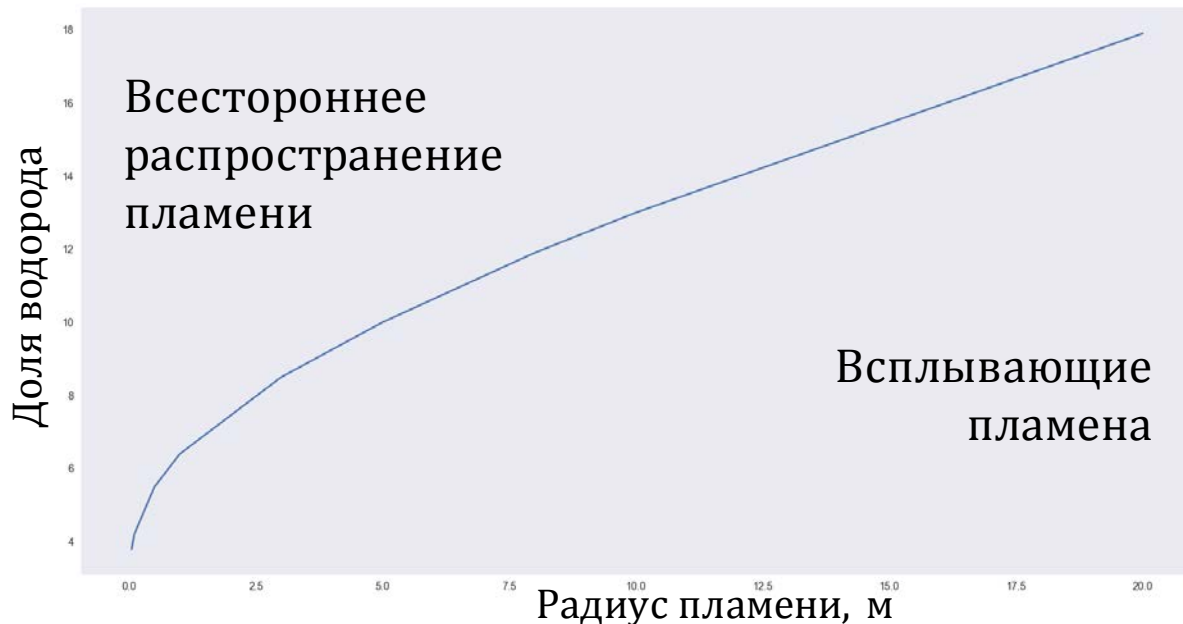
Всплытие очага пламени



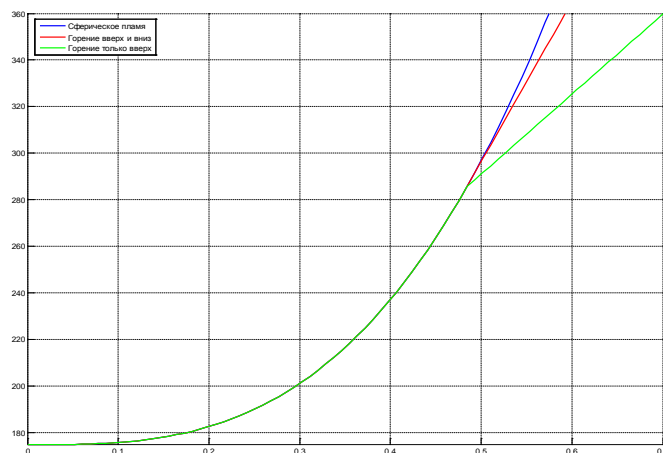
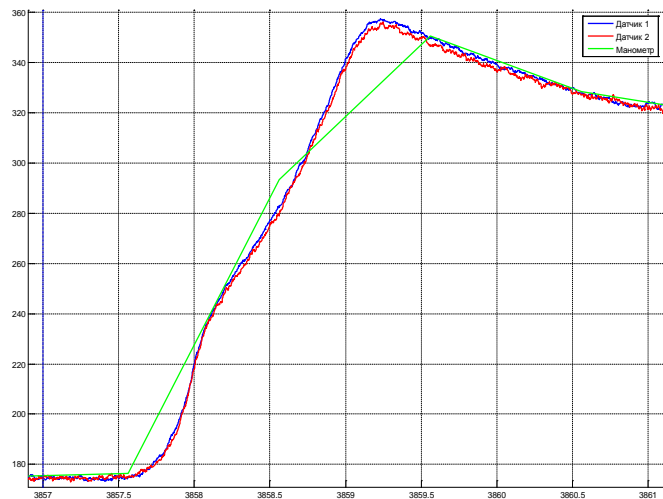
- Скорость всплытия очага преобладает для пламен большого размера в областях бедных и богатых смесей
- Малые размеры экспериментальной установки ограничивают возможность наблюдения процесса всплытия
- Необходимо учесть увеличение размера в процессе всплытия

Предельная скорость всплытия

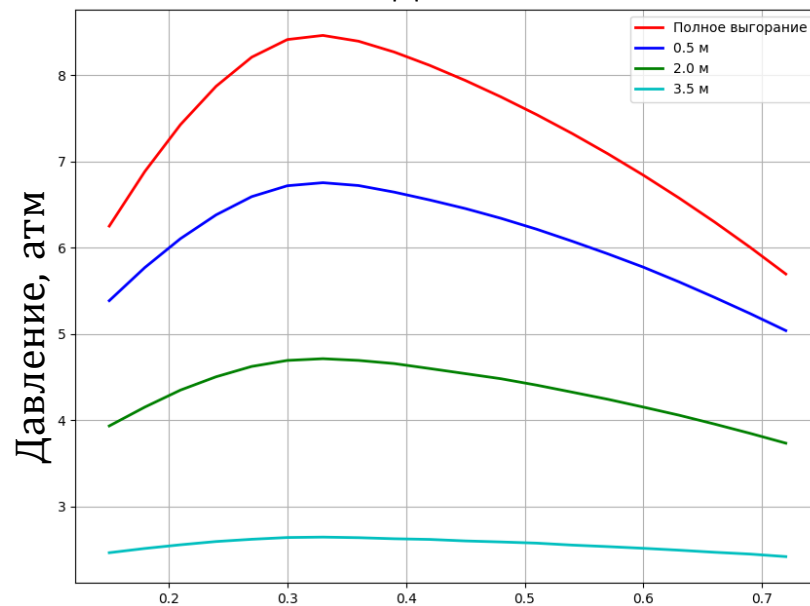
$$U_{\infty} = \sqrt{\frac{(1 - \sigma)g}{0,5C \frac{S}{V}}}$$



Взаимодействие со стенками и неполное выгорание



Влияние высоты инициирования на максимальное давление в камере Начальное давление 2 атм



Выводы

Модель позволяет оценить

- зависимость скорости распространения пламени от начального состава, температуры и давления
- зависимость скорости всплытия пламени от отношения плотностей продуктов горения и атмосферы и размера пламени
- взаимодействие пламени со стенками
- неполное выгорание смеси

СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!