



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Экспериментальные исследования горения смесей водород-воздух в большом масштабе

*Д. А. Мастюк, Е. В. Безгодов, А.А. Тараканов, С. Д.
Пасюков, И. А. Попов*

Актуальной задачей является обеспечение безопасности при возникновении аварийной утечки водорода, поскольку, возможно образование облака горючей смеси, взрыв которого с высокой вероятностью приведет к значительным повреждениям.



Постановка эксперимента



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Экспериментальные исследования проводились на стенде КУПОЛ. На бетонную площадку устанавливается каркас с оболочкой. Внутри каркаса размещается измерительное оборудование и загромождающие конструкции в зависимости от постановки опыта. Под оболочку закачивается стехиометрическая смесь водорода с воздухом. Горение может инициироваться как искровым источником малой интенсивности, так и подрывом заряда ВВ.



Стенд КУПОЛ

Цель и задачи данного исследования



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Цель: получение экспериментальных данных по горению смесей водород-воздух в открытом пространстве. Эти данные будут использованы для валидации программных комплексов, расчетных методик по определению барических нагрузок и уточнения нормативных документов.

Задачи:

- обеспечение квазиравномерного заполнения смесью известного состава полусферического объема с дальнейшим воспламенением состава,
- проведение измерений давлений и импульса давлений на разном расстоянии от эпицентра взрыва, получение визуальной информации по распространению фронта пламени, определение скорости фронта пламени.
- определение влияния энергии инициирования на характер распространения пламени,
- определение влияния загромождения в виде макетов оборудования площадок производства водорода (арматура, трубопроводы, ресиверы, баллонные секции и др.),

Программа Экспериментов



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

№	Энергия инициирования	Диаметр стенда	Загромождения
K1	1,6 кДж	8	
K2	5,7 кДж		
K3	50 мДж		
K4	49,2 кДж		
K5	5,7 кДж		Макет 1
K6	50 мДж		Макет 1
K7	5,7 кДж		Макет 2
K8	49,2 кДж	7	Нет
K9		6	
K10		5	
K11		4.2	
K12	50 мДж	6	Макет 3

Медленная дефлаграция



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Время = $5e-05$ с



Фото последствий и кадры высокоскоростной съемки эксперимента КЗ

Быстрая дефлаграция

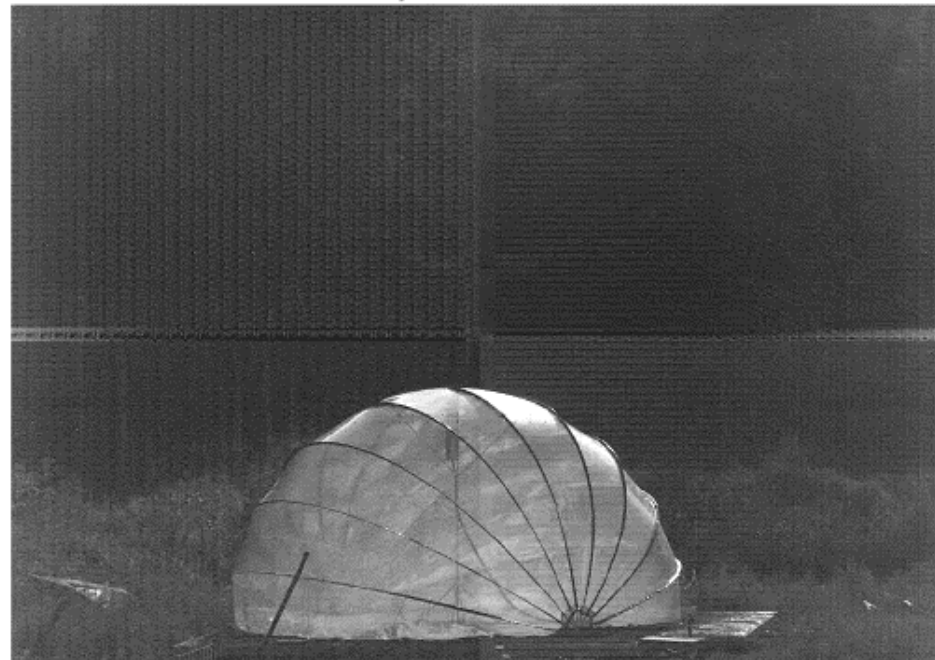


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Время = $5e-05$ с



Время = $5e-05$ с



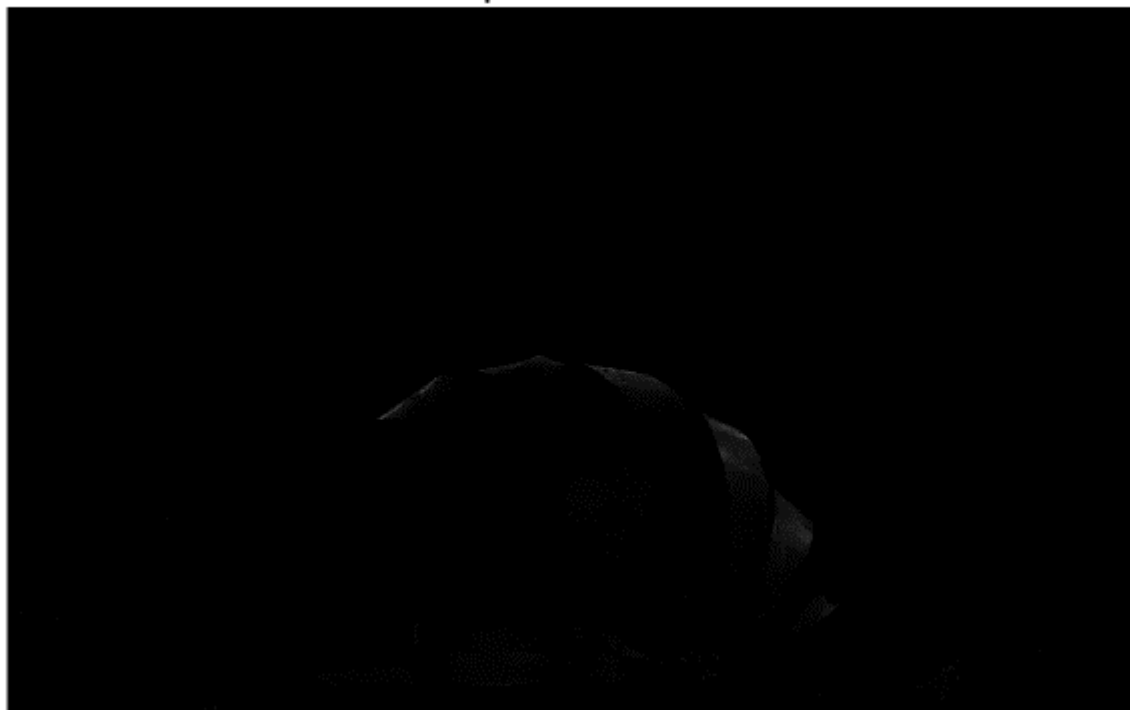
Кадры высокоскоростной съемки экспериментов К1 и К2

Детонация

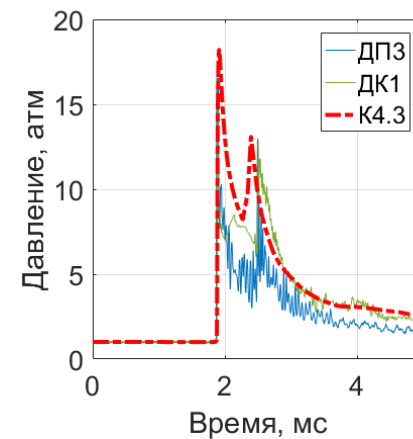
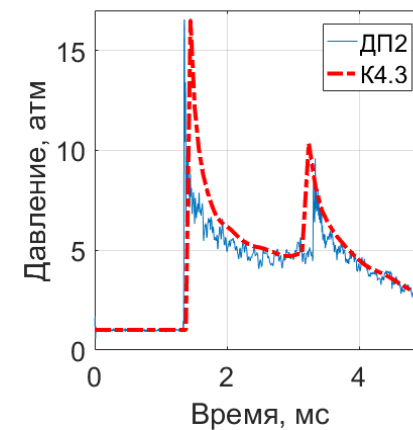
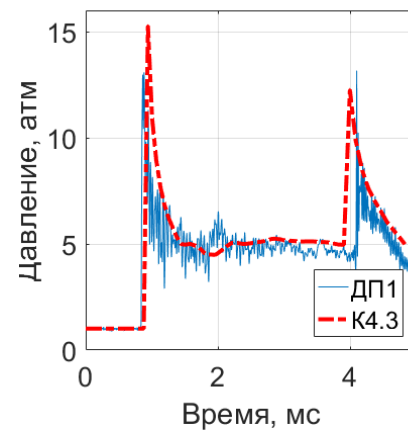


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Время = $5e-05$ с



Видеосъемка эксперимента K4

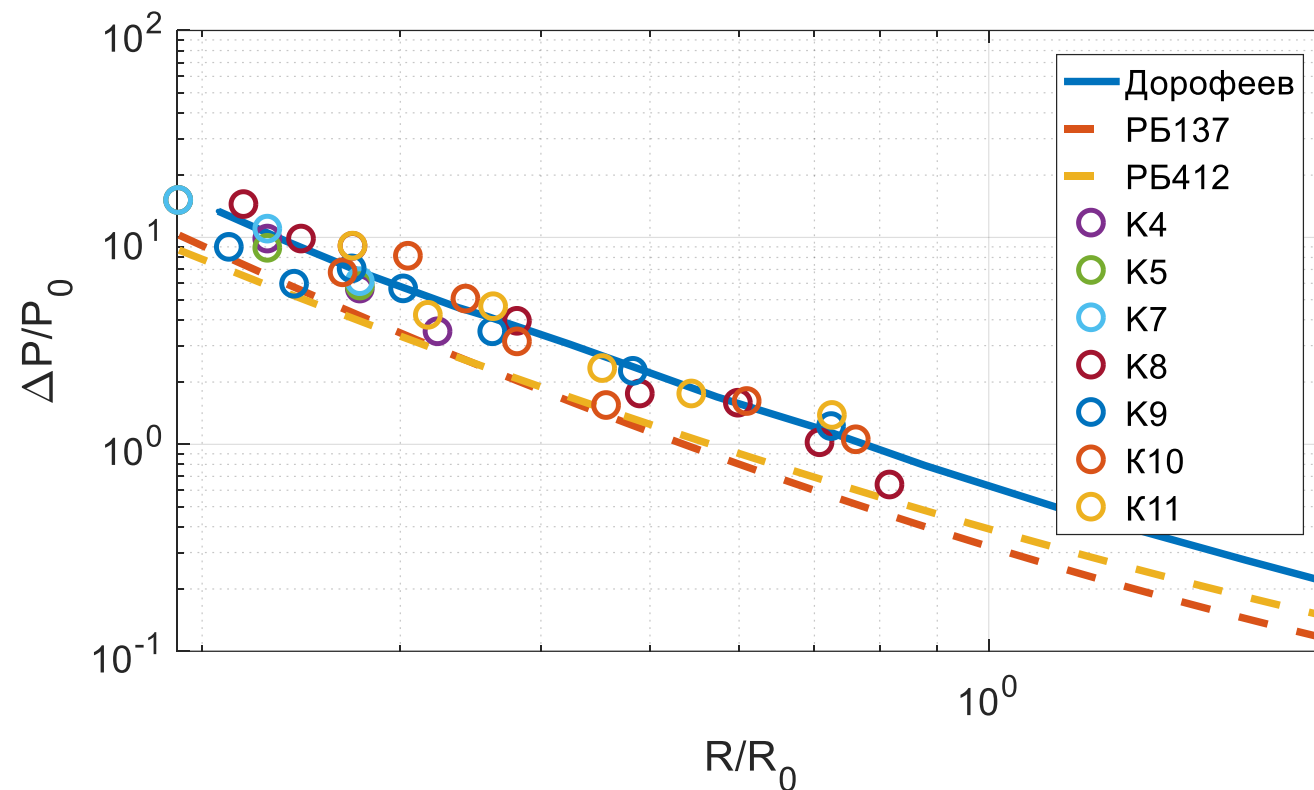


Сравнение результатов расчета и эксперимента

Исследование масштабирования последствий детонации водород-воздушной смеси



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Перепад давления на ударной волне в экспериментах K4-11

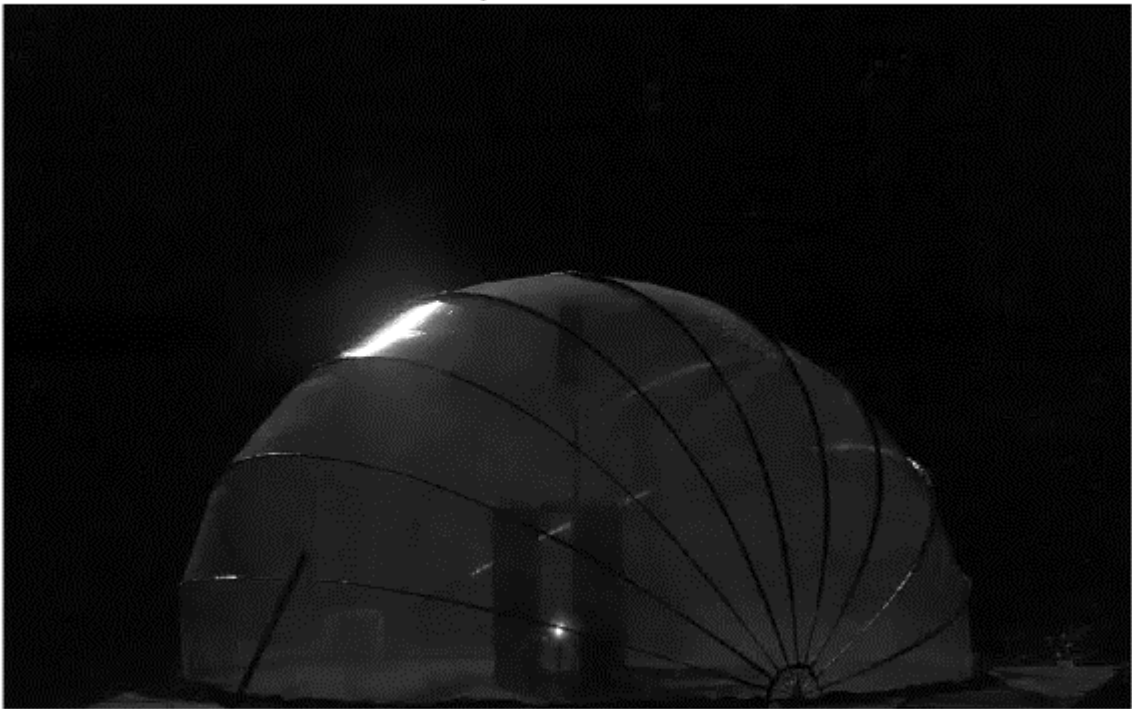
Dorofeev, S.B.; Sidorov, V.P.; Kuznetsov, M.S.; Dvoinishnikov, A.E.; Alekseev, V.I.; Efimenko, A.A. Air blast and heat radiation from fuel-rich mixture detonations. Shock Waves 1996, 6, 21–28.

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВА: РОСТЕХНАДЗОР 2016. – 8 с.

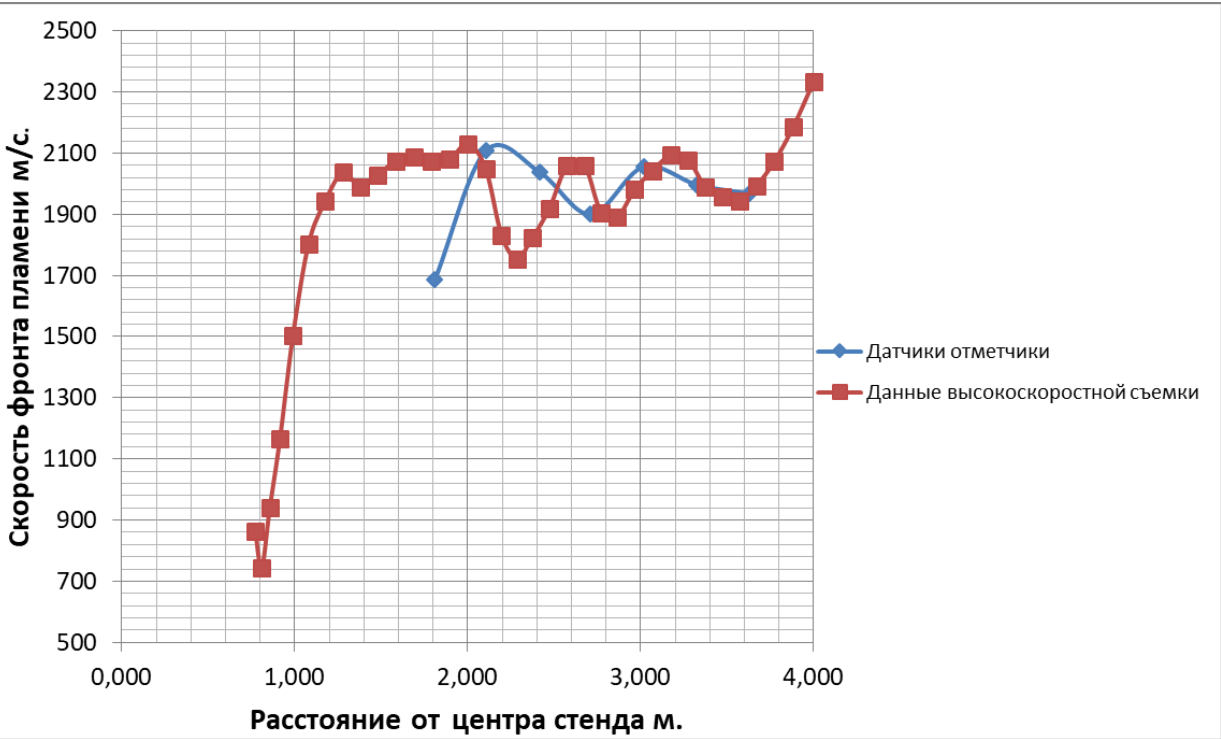
РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ "МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ"
РОСТЕХНАДЗОР 2022. – 25 с



Время = 5e-05 с



Видеосъемка эксперимента K7



Скорость Распространения фронта пламени в эксперименте K7

Переход из дефлаграции в детонацию

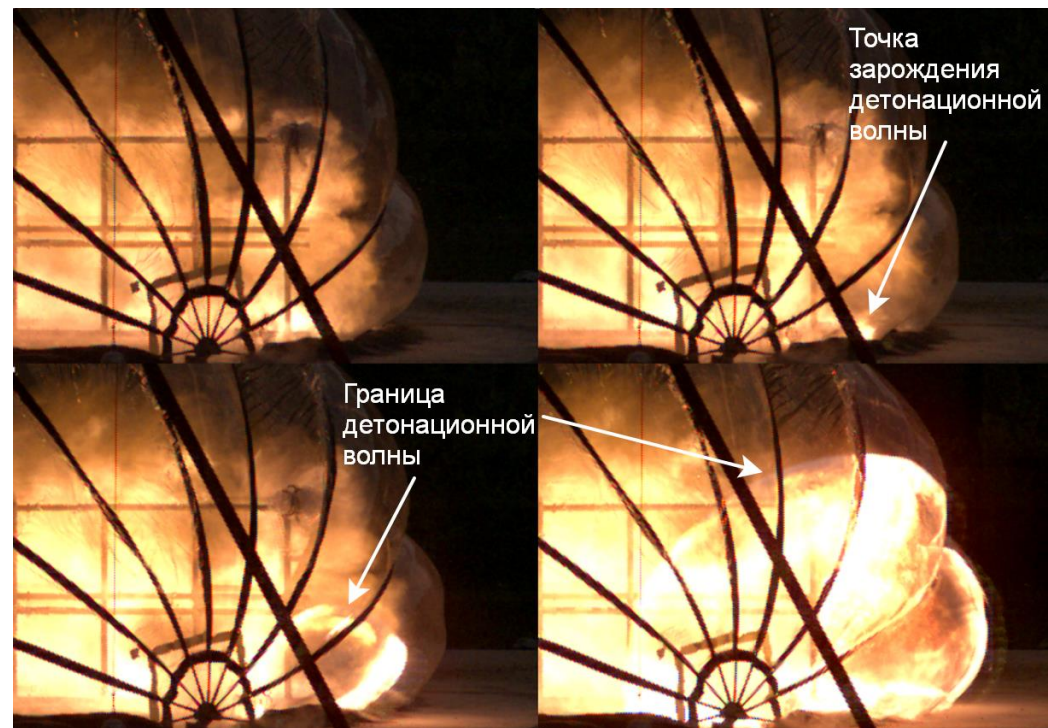


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Время = 0.00025 с



Видеосъемка эксперимента K12



Момент перехода из дефлаграции в детонацию



В ходе проведения серии экспериментов получены данные по заполнению полусферического объема, соединенного с окружающей средой.

Зарегистрированы режимы горения:

- медленная дефлаграция,
- быстрая дефлаграция
- детонация.

Получены данные по распространению ударной волны в открытом пространстве.

Перепады давления гостированной методики оценки безопасности оказались ниже на 20%-40% в сравнении с результатами экспериментов.

**Спасибо за
внимание!**

Мастюк Дмитрий Александрович

