

ЭВОЛЮЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ГРАНИЦЕ ГАЗОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЭЛЕЯ – ТЭЙЛОРА

А. А. Тяктев, А.В. Павленко, Ю.А. Пискунов, И.Л. Бугаенко, С.С. Мокрушин

«XIII ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ»

20–24 марта 2017 г. Снежинск, Челябинская область, Россия

План презентации:

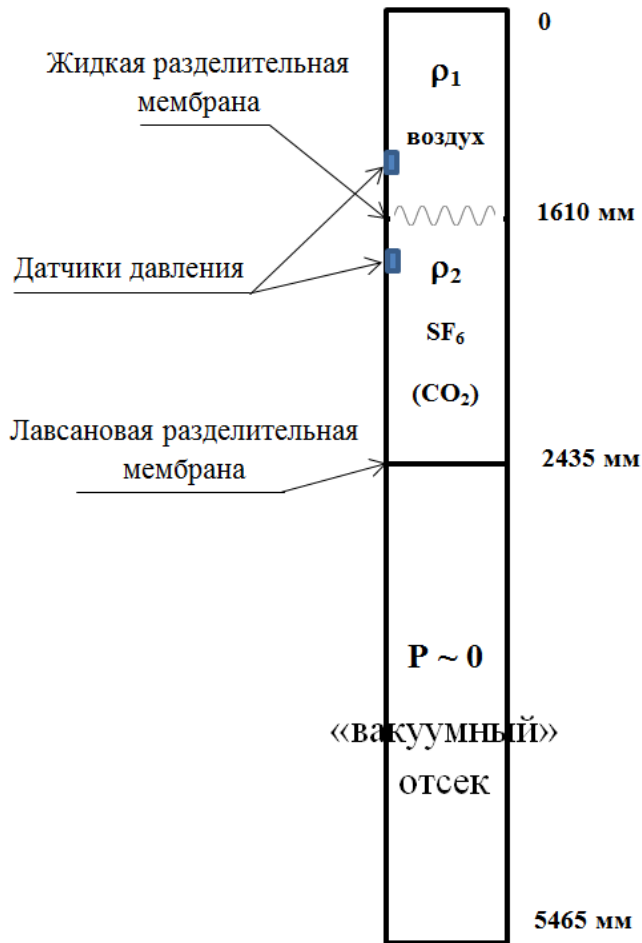
- ▶ **Установка**
 - ▶ Параметры проведения экспериментов

- ▶ **Начальная граница раздела газов**

- ▶ **Экспериментальные результаты**
 - ▶ Шлирен метод;
 - ▶ Метод «лазерный лист»

- ▶ **Заключение**

Установка:



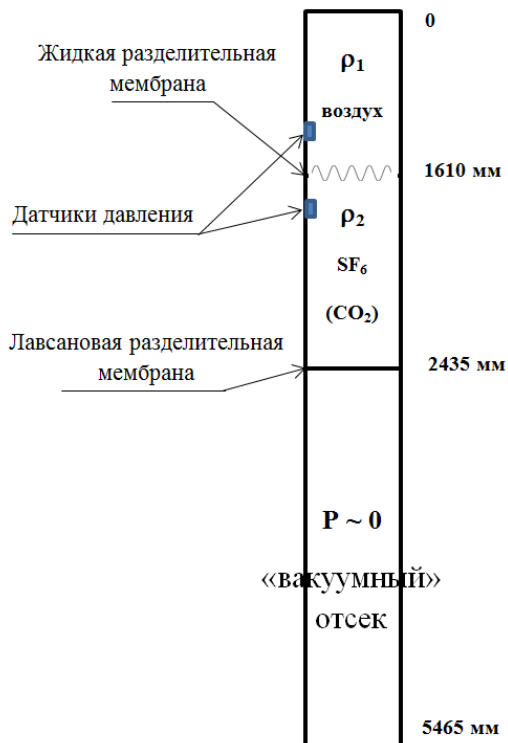
Эксперименты проводились на вертикальной многофункциональной ударной трубе (МУТ) с поперечным сечением $138 \times 138 \text{ мм}^2$, которая состояла из трех основных частей.

Нижняя часть – это «вакуумный» отсек длиной 3030 мм. «Вакуумный» отсек отделялся от остальной трубы мембраной, изготовленной из трех слоев лавсановой пленки толщиной 20 мкм каждый. В средней части трубы располагался отсек с тяжелым газом плотностью ρ_2 . Длина этого отсека равна 825 мм. Верхнюю часть трубы занимал отсек длиной 1610 мм с легким газом плотностью ρ_1 .

Газы находились при нормальных условиях и разделялись жидкой разделительной мембраной толщиной $\sim 1 \text{ мкм}$, нанесенной на струны из лески. Струны из лески, были натянуты внутри рамки с внутренним сечением $138 \times 138 \text{ мм}^2$. 31 струна служила образующими поверхности с амплитудой $a \sim 4 \text{ мм}$ и длиной волны $\lambda \sim 28 \text{ мм}$. Такая поверхность задавала одномодовые синусоидальные возмущения границы раздела газов.

В средней части трубы располагался отсек, снабженный прозрачными окнами, позволяющий проводить теневую скоростную фоторегистрацию и использовать лазерные диагностические методы исследования. Установка была оборудована датчиками давления, расположенными в отсеках с тяжелым и легким газами.

Параметры проведения экспериментов:

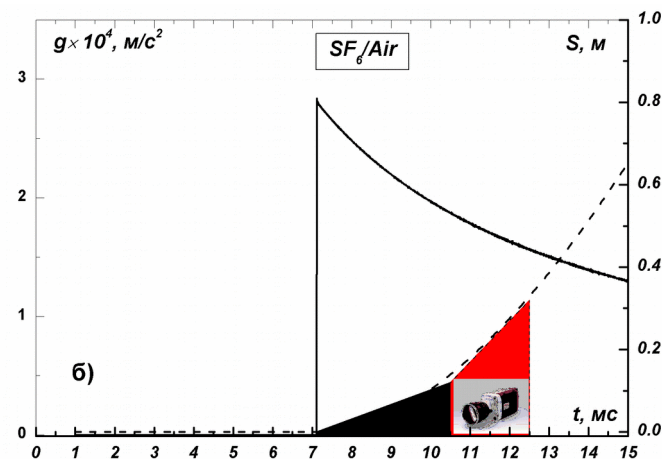
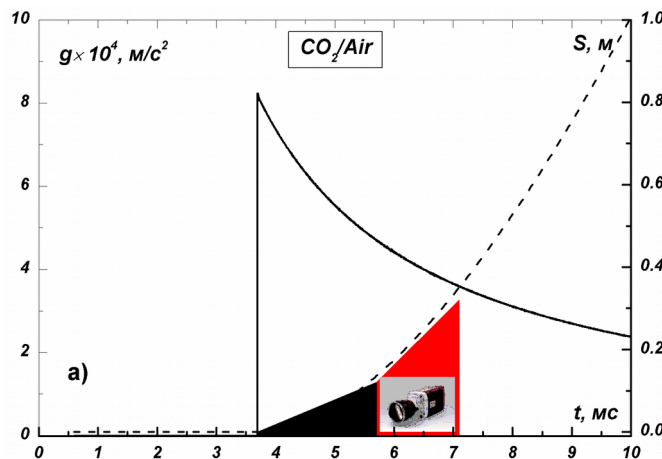


В начальный момент времени мембрана из лавсановой пленки принудительно разрывалась. После чего, волны разрежения разрушали жидкую разделительную мембрану, формируя возмущенную контактную границу исследуемых газов, и ускоряли ее в направлении вакуумного отсека.

Ускорение $g(t)$ и путь ускорения $S(t)$ контактной границы исследуемых газов рассчитывались кодом «Волна».

A=0.2

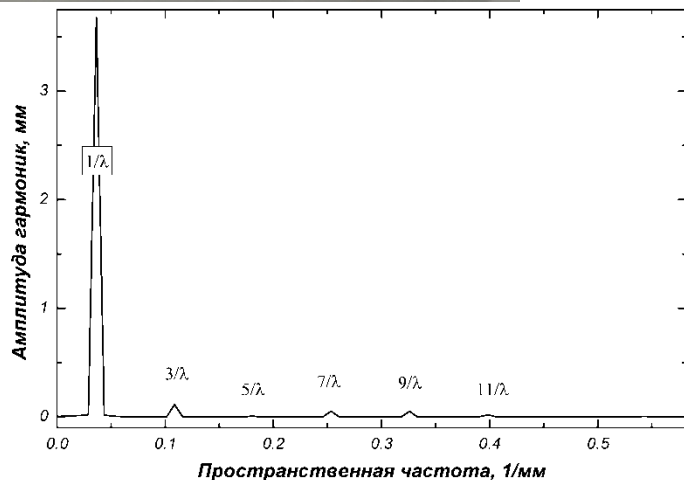
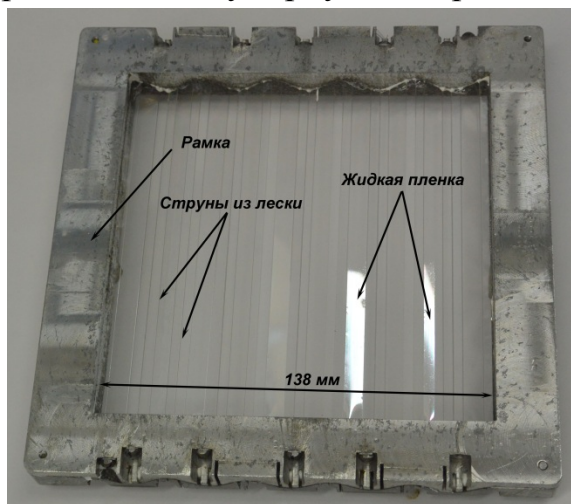
A=0.7



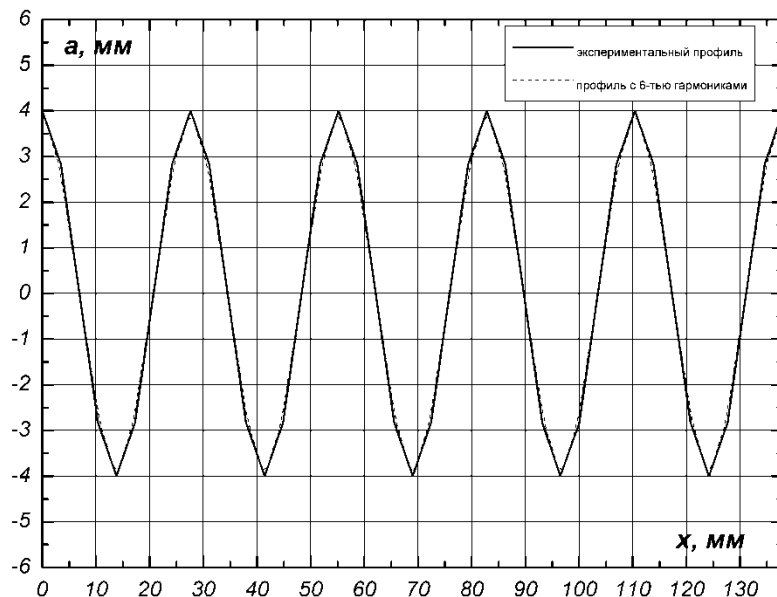
Ускорение контактной границы плавно уменьшалось со временем от максимального значения $8.2 \times 10^4 \text{ м/с}^2$ для $\text{CO}_2/\text{воздух}$ и $2.8 \times 10^4 \text{ м/с}^2$ для $\text{SF}_6/\text{воздух}$. Диапазон регистрации зоны турбулентного перемешивания находился в пределах смещения контактной границы $120 \text{ мм} < S < 320 \text{ мм}$.

Начальная граница раздела газов:

Жидкая разделительная мембрана, наносилась на 31 струну из лески, натянутую внутри рамки и образовывала двумерную поверхность раздела.



Экспериментальный профиль сечения двумерной поверхности раздела газов



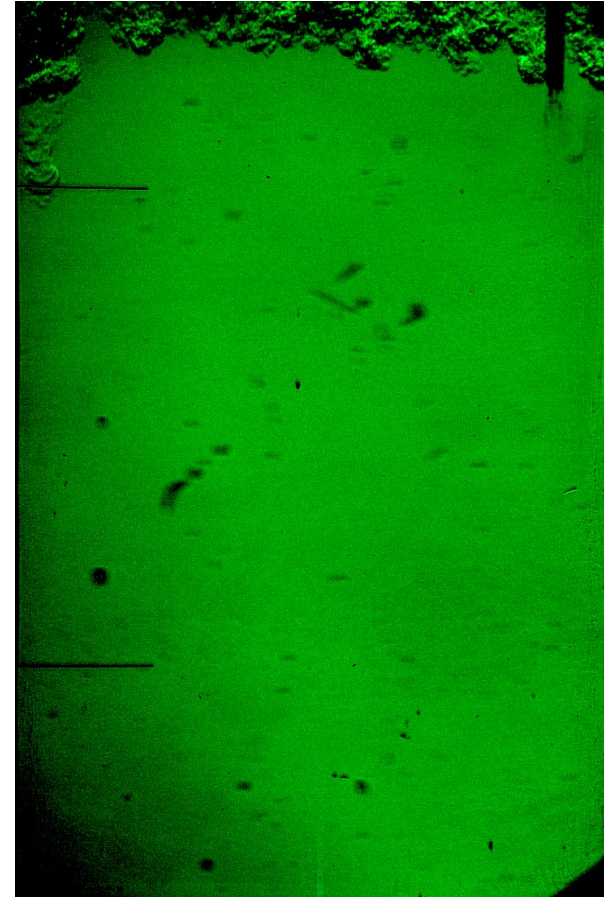
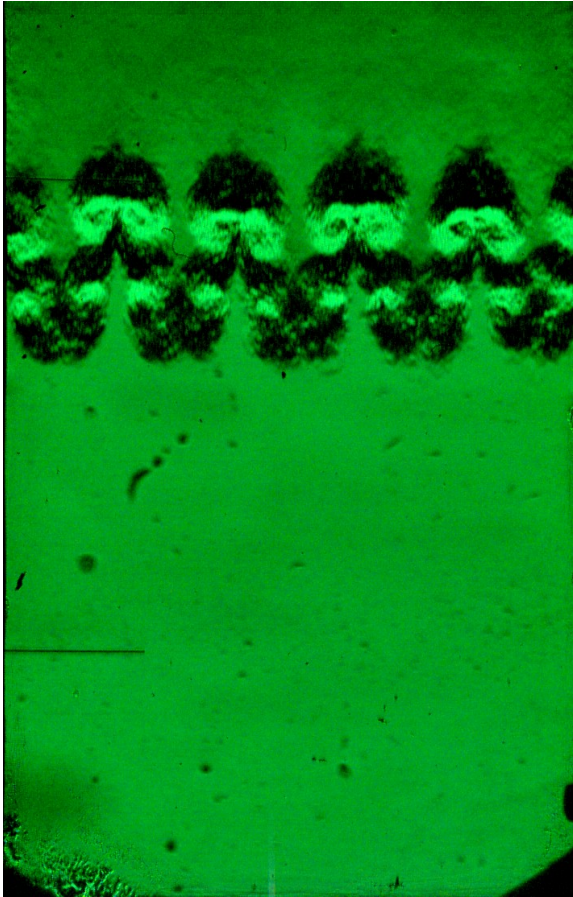
Расчетный профиль сечения двумерной поверхности по зависимости: $a(x) = \sum_{i=1,3,5,7,9,11}^{11} A_i \cdot \cos\left(\frac{i}{\lambda} * x\right)$ (профиль с 6-тью гармониками, пунктирная линия). Амплитуда A_i соответствующих гармонических составляющих приведена в таблице. Экспериментальный и расчетный профили удовлетворительно совпадают.

i	1	3	5	7	9	11
$A_i, мм$	3,677	0,115	0,008	0,053	0,051	0,019



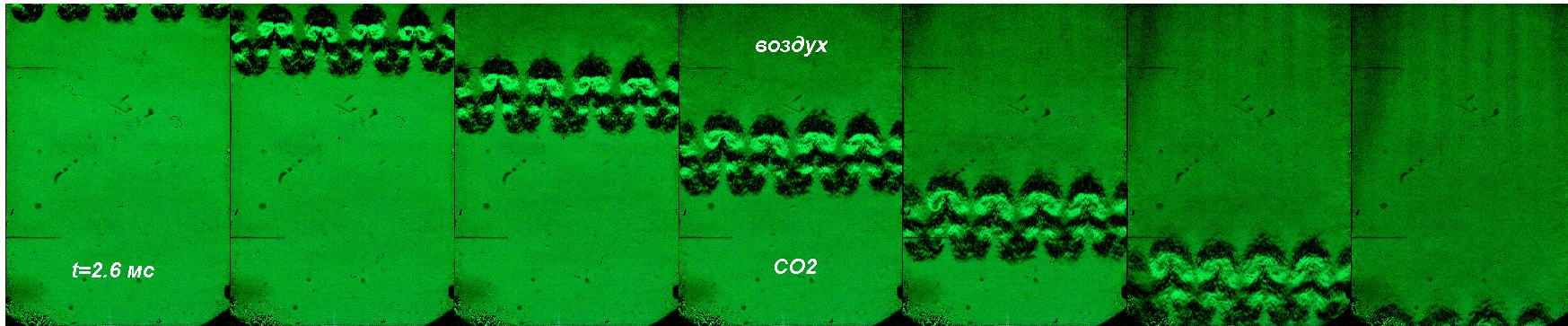
Фурье – анализ экспериментального профиля показывает доминирующую пространственную частоту в спектре, соответствующую длине волны $\lambda = 27.6$ мм, что составляет 1/5 от величины ширины канала установки $L_x = 138$ мм. Кратные частоты с соответствующими длинами волн $\lambda/3, \lambda/5, \lambda/7, \lambda/9$ и $\lambda/11$ существенно меньше по амплитуде.

Экспериментальные результаты: (шлирен метод, $f = 4100$ к/с)

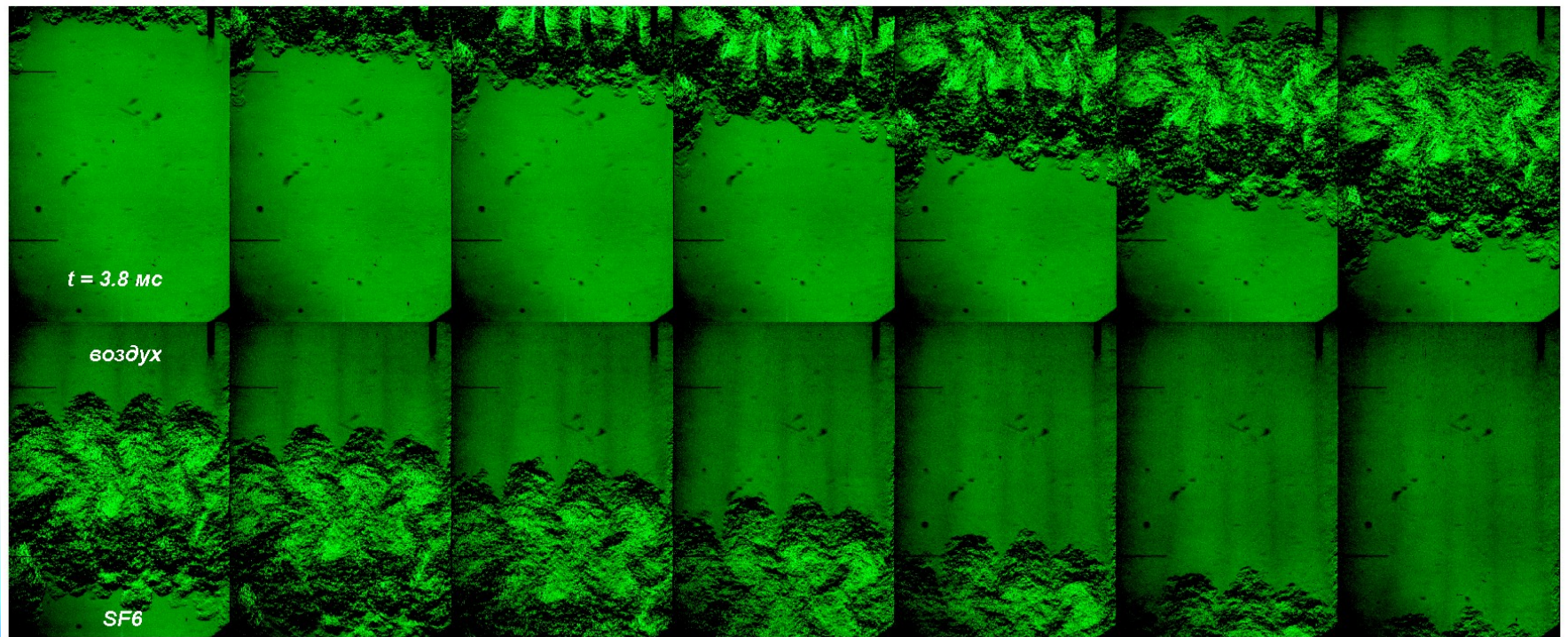


Экспериментальные результаты: (шлирен метод)

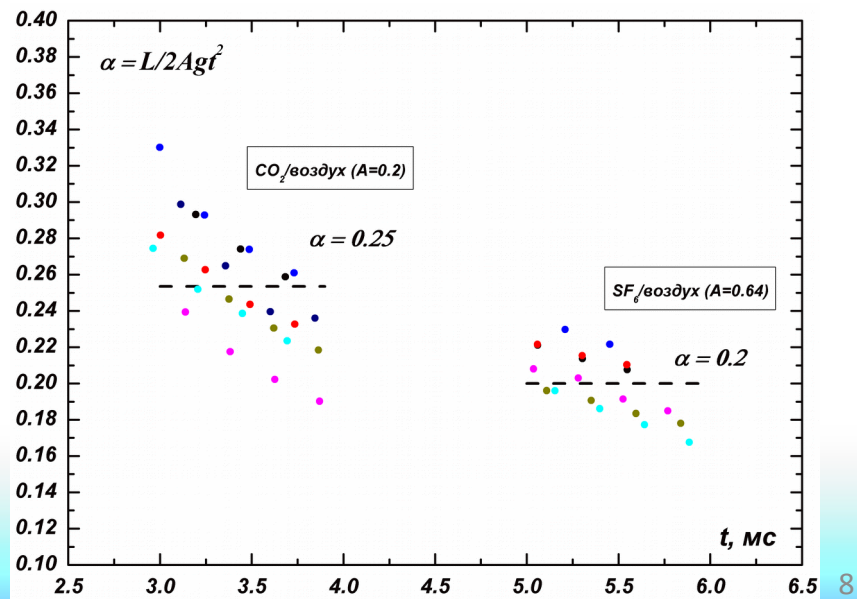
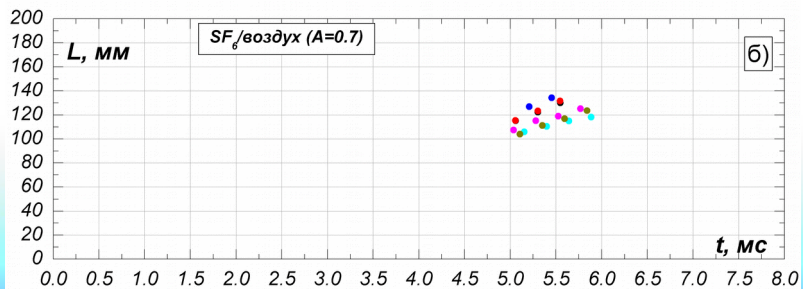
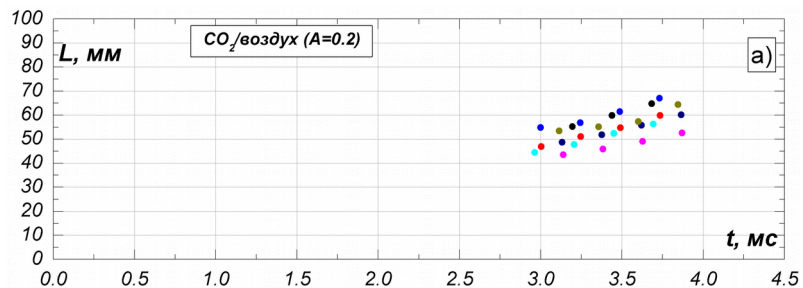
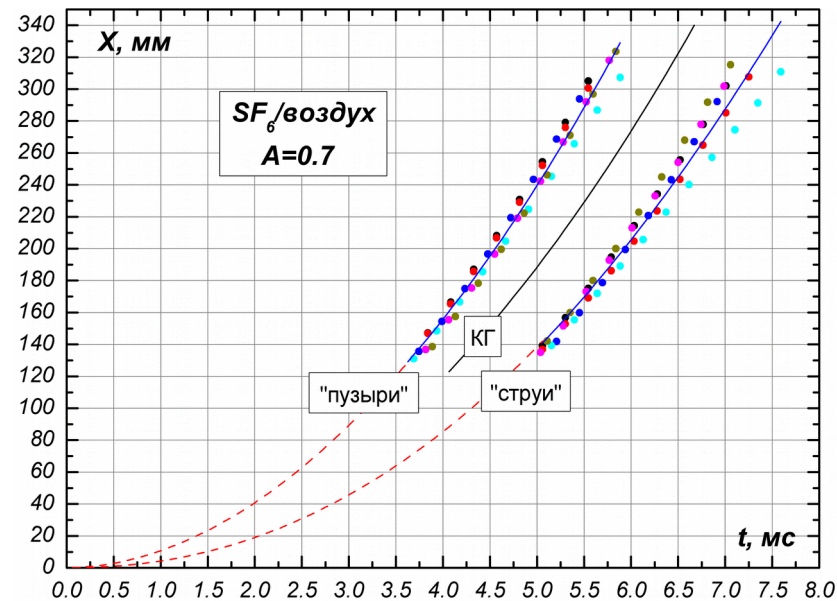
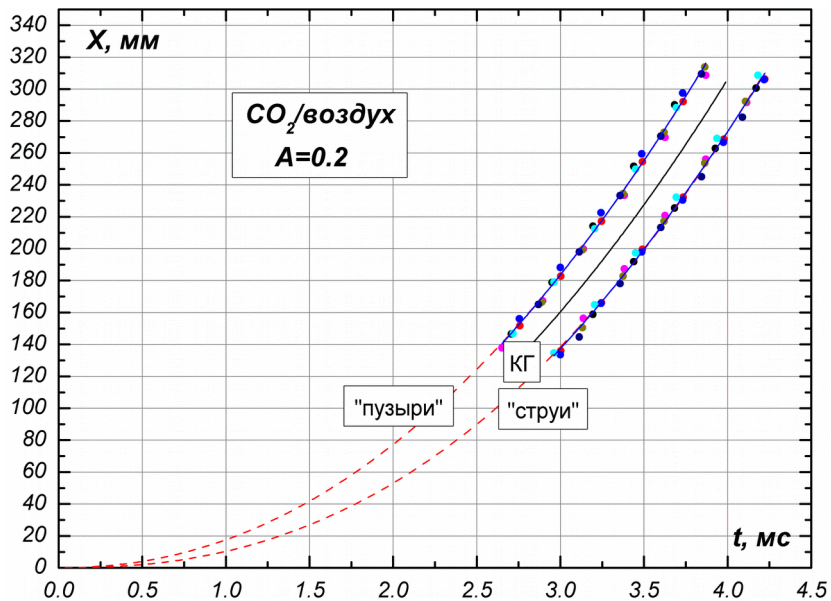
A=0.2



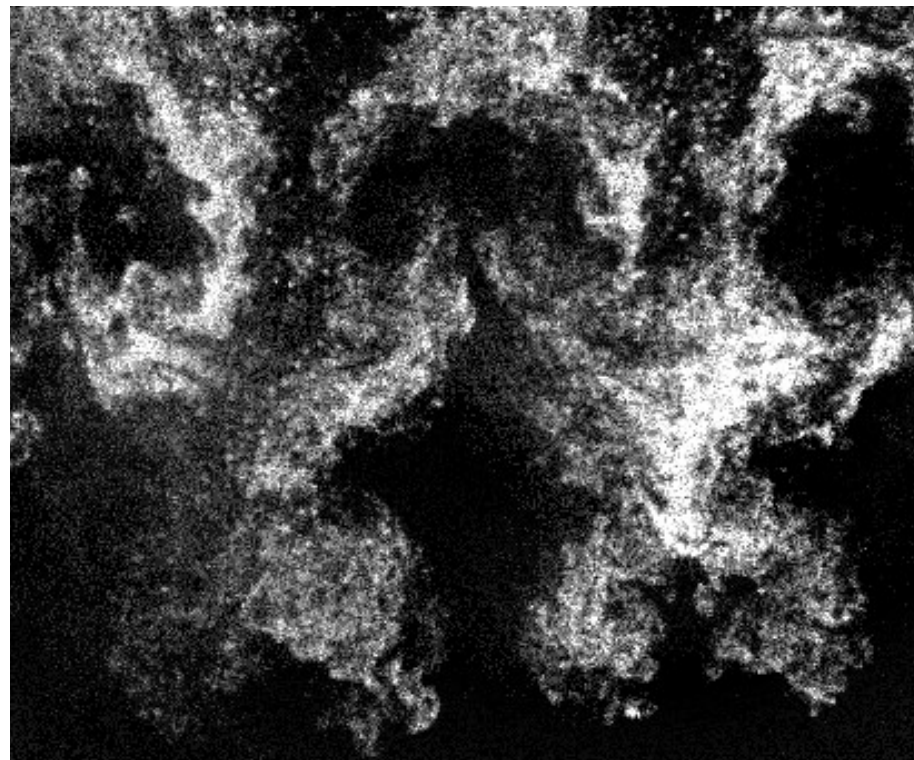
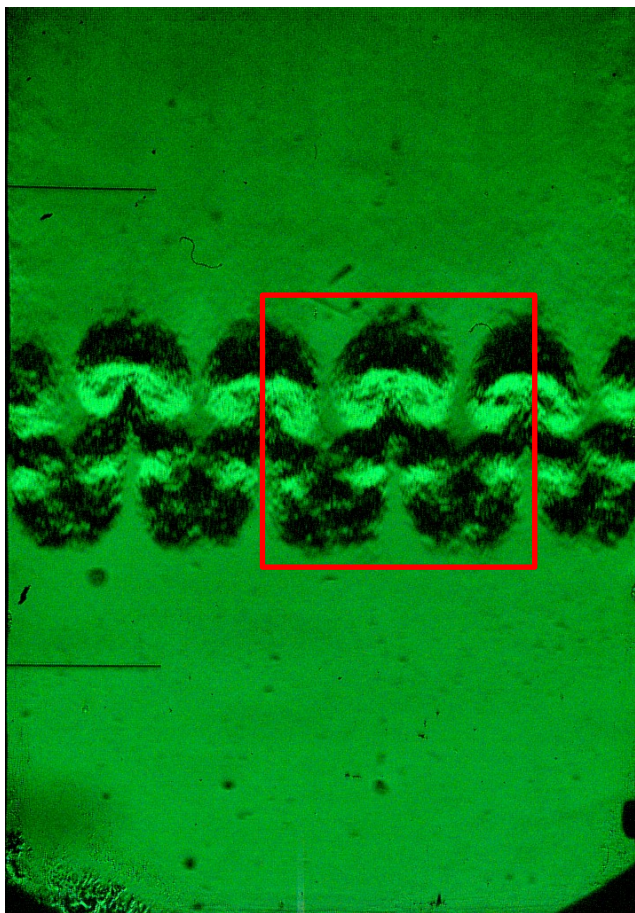
A=0.7



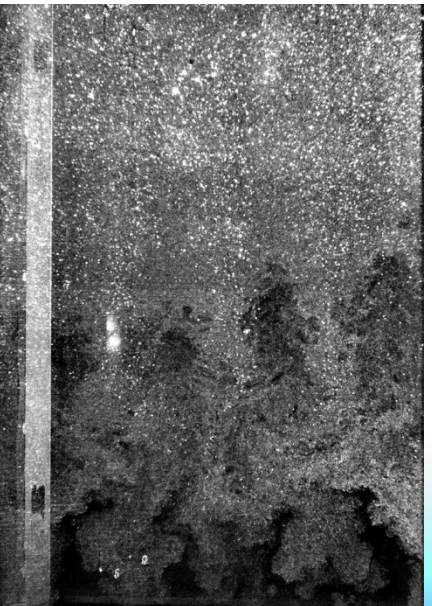
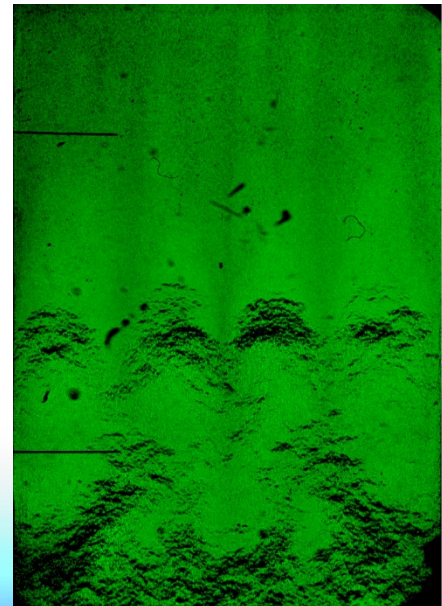
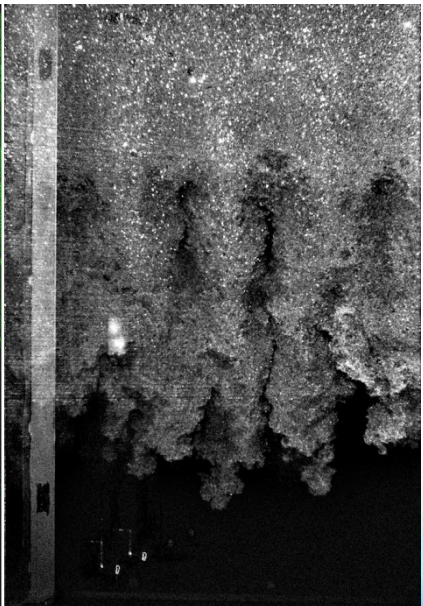
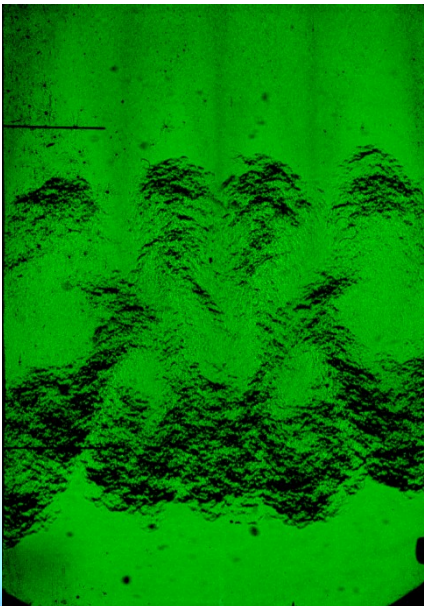
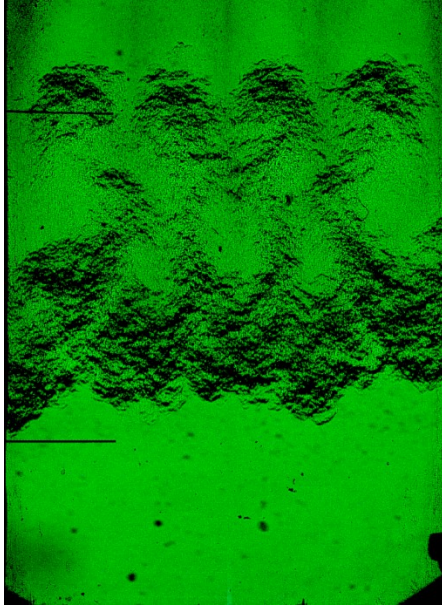
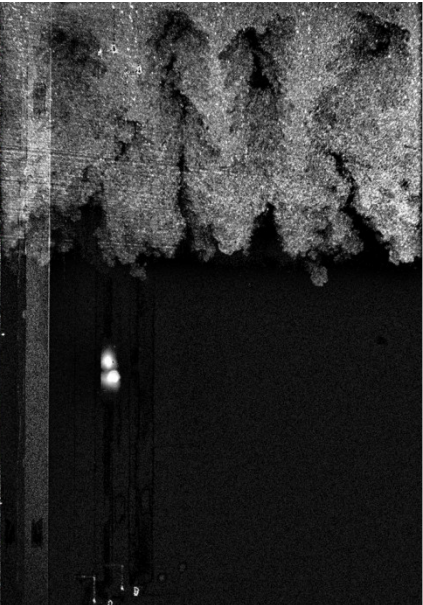
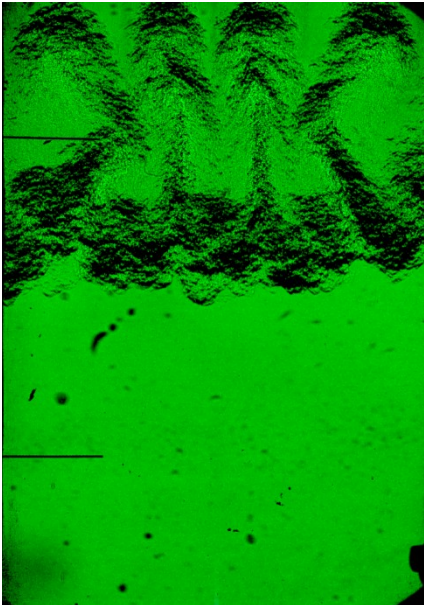
Экспериментальные результаты: (шлирен метод)



Экспериментальные результаты: (метод «лазерный лист», $A=0.2$)



Экспериментальные результаты: (метод «лазерный лист», $A=0.7$)



Заключение

- На моделирующей установке исследовалось развитие периодических возмущений, вызванное действием неустойчивости Рэля – Тэйлора, при нестационарном расширении в «вакуум». Отношение $a/\lambda = 1/7$.
- Использовались газовые системы с числами Атвуда 0.2 и 0.7. Ускорения контактных границ превышало $10^3 g_0$. Диапазон регистрации характеристик зоны перемешивания находился в пределах смещения контактной границы $120 \text{ мм} < S < 320 \text{ мм}$
- Результатом экспериментов являются временные зависимости положений границ зоны турбулентного перемешивания и эволюции ширины зоны турбулентного перемешивания на регистрируемом участке для обеих исследуемых систем газов.
- В случае числа Атвуда $A=0.2$, среднее значение величины $\alpha = 0.25$; при $A=0.7$, среднее значение величины $\alpha = 0.2$
- Фотоизображения полученные методом «лазерный лист», показывают, что зона перемешивания не достигла турбулентной стадии, а развитие возмущений с $a/\lambda = 1/7$ находится на нелинейной стадии. Это объясняет «высокие» значения величины α .
- Продолжение экспериментальной работы будет направлено на исследование развития возмущений с момента прихода волн разрежения на контактную границу разноплотных газов. Метод «лазерного листа» планируется усовершенствовать до метода PIV, позволяющего получать одномоментное поле скорости вещества в зоне турбулентного перемешивания.

Спасибо за внимание!