



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

# **Экспериментальное исследование неустойчивости Рихтмайера-Мешкова в сходящейся геометрии, развивающейся на цилиндрической и цилиндрически-синусоидальной контактных границах газов разной плотности**

Д.И. Капустин, Е.В. Свиридов, А.М. Андреев, Е.С. Морозов,  
А.А. Тяктев, Н.Б. Аникин

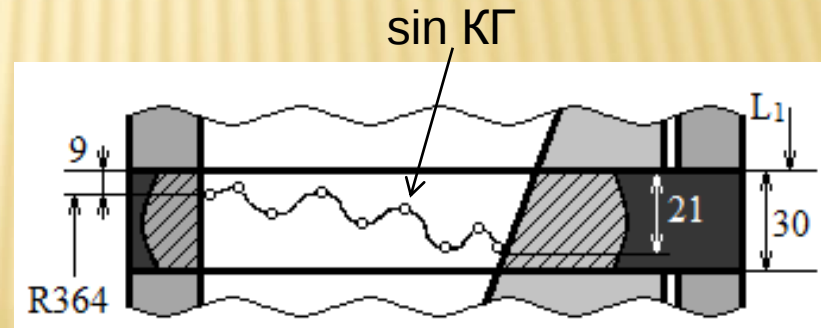
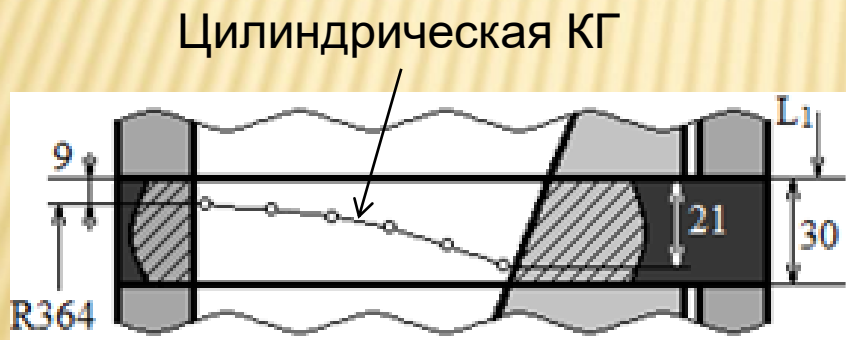
Дмитрий Игоревич Капустин,  
нс, РФЯЦ-ВНИИТФ

XVII международная конференция  
«Забабахинские научные чтения»

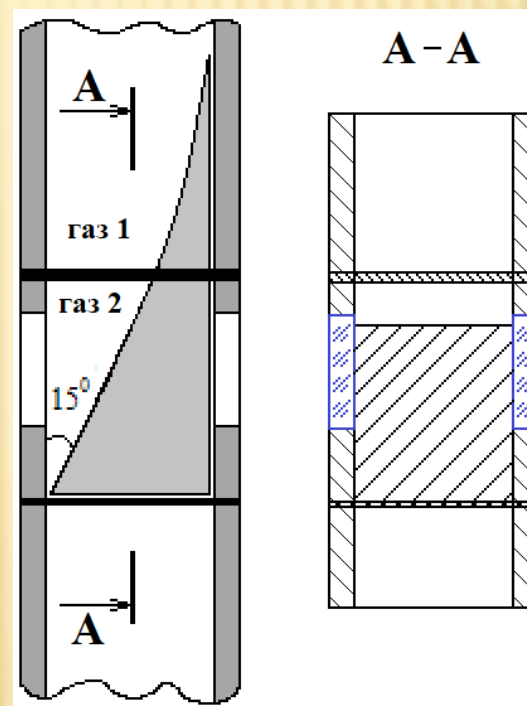
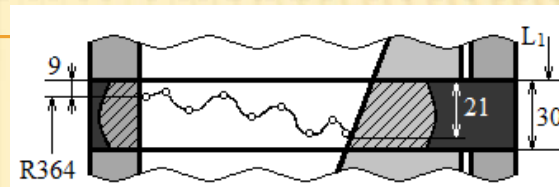
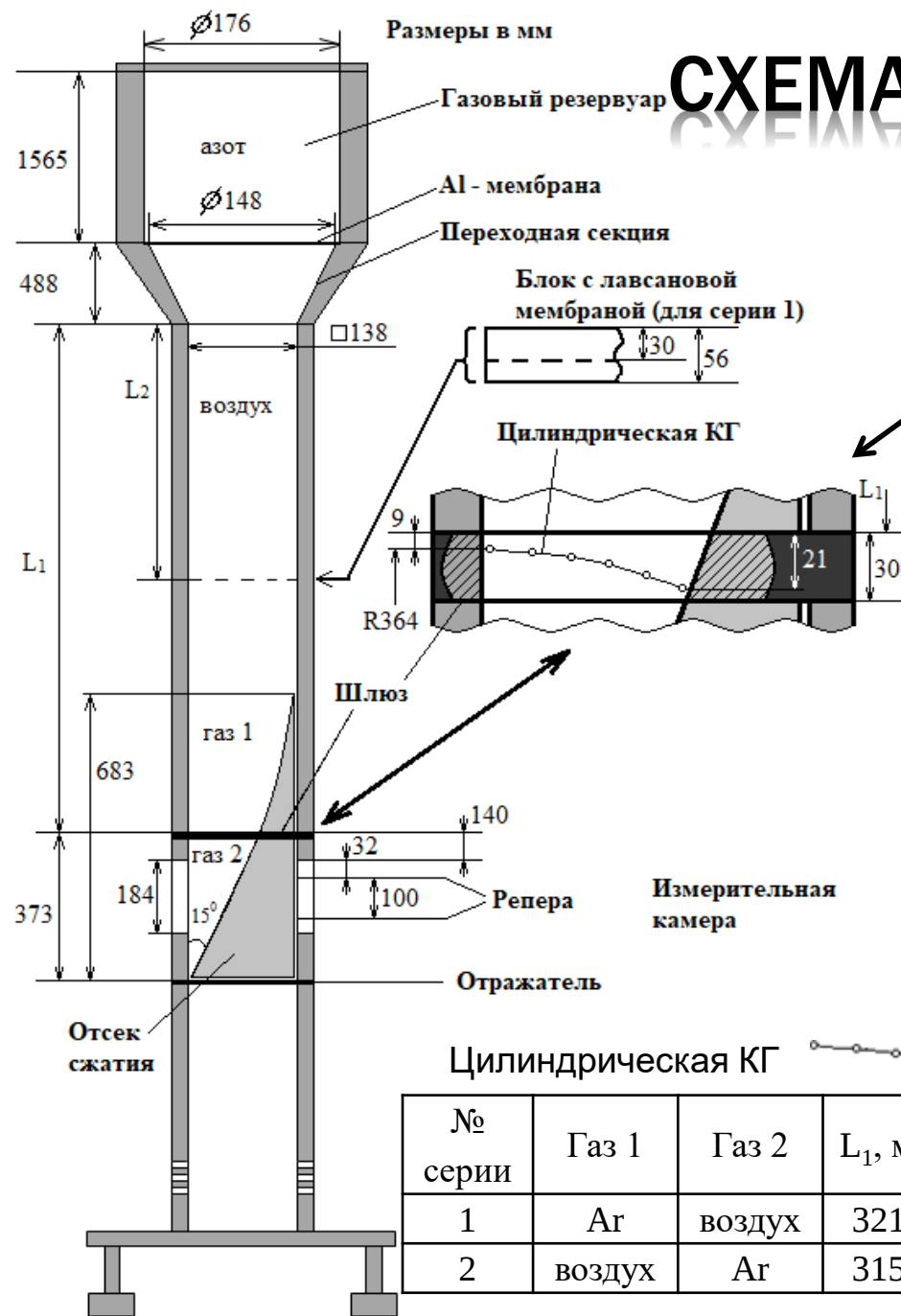
Снежинск, 2025

# Цель работы

- ✗ Цель настоящей работы заключалась в исследовании на ударной трубе неустойчивости Рихтмайера-Мешкова в сходящейся геометрии на цилиндрической и 2D (цилиндрическо-синусоидальной) контактной границе разноплотных газов. Найдены зависимости толщины зоны перемешивания от времени,  $H(t)$ , средней скорости роста зоны,  $S$ , а также скорости прошедших и отражённых ударных волн.



# СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТОВ



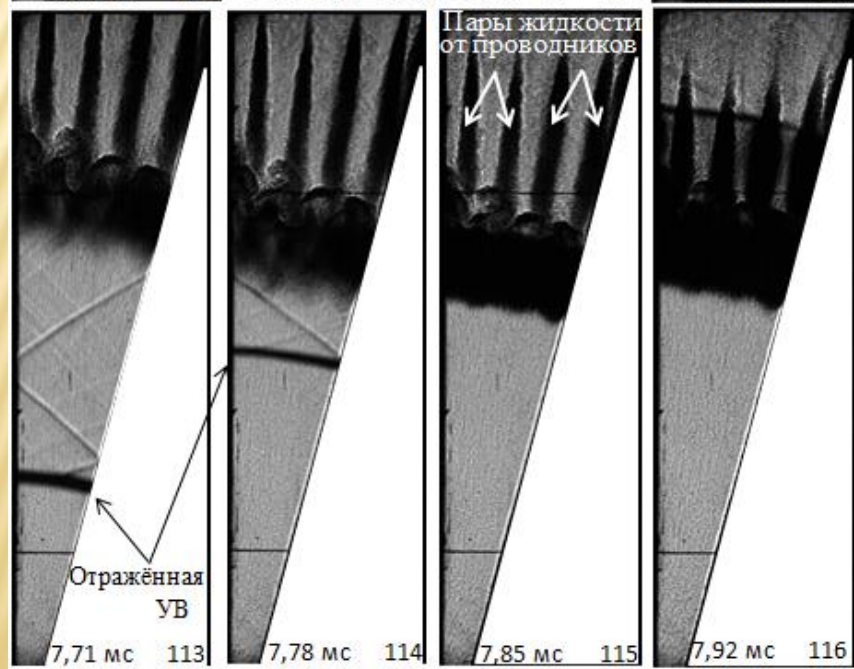
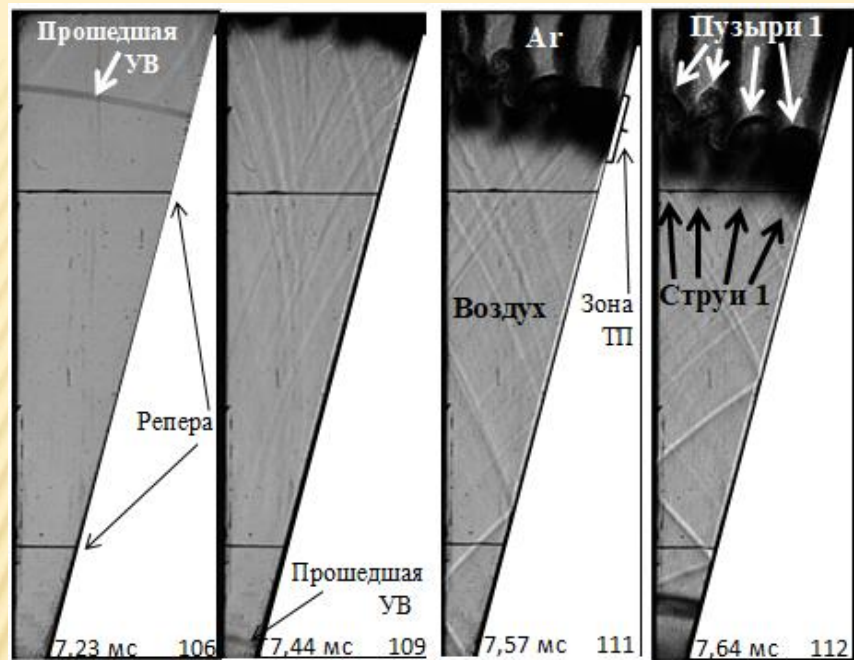
смотровые окна

Цилиндрическая КГ

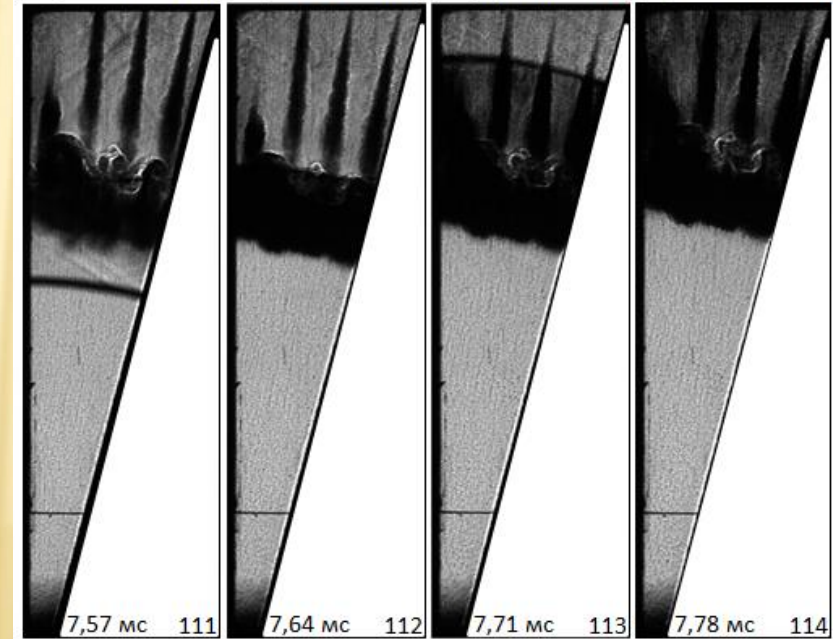
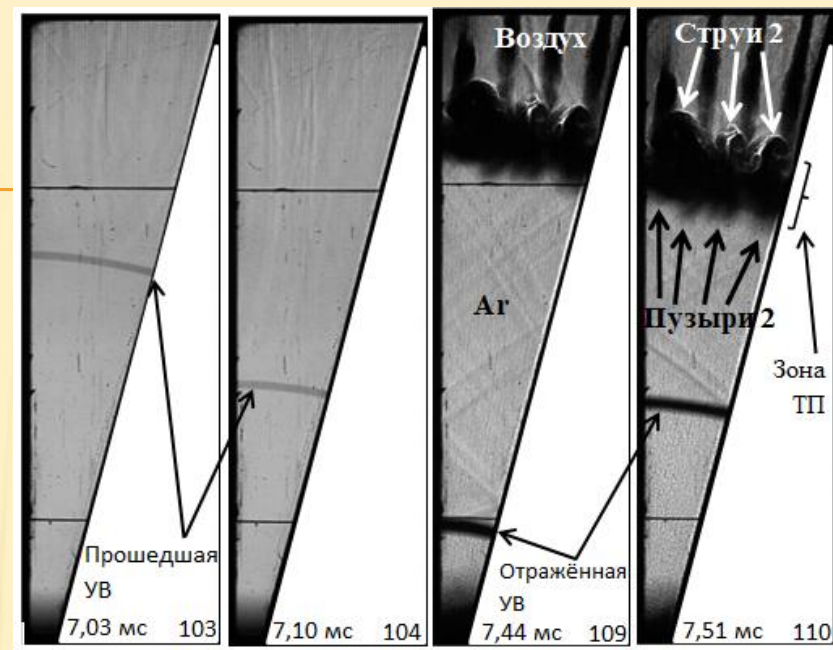
| № серии | Газ 1  | Газ 2  | $L_1$ , мм | $L_2$ , мм |
|---------|--------|--------|------------|------------|
| 1       | Ar     | воздух | 3214       | 2180       |
| 2       | воздух | Ar     | 3158       | -          |

sin КГ

| № серии | Газ 1  | Газ 2           | $L_1$ , мм | $L_2$ , мм |
|---------|--------|-----------------|------------|------------|
| 1       | воздух | Ar              | 3158       | -          |
| 2       | воздух | SF <sub>6</sub> |            |            |

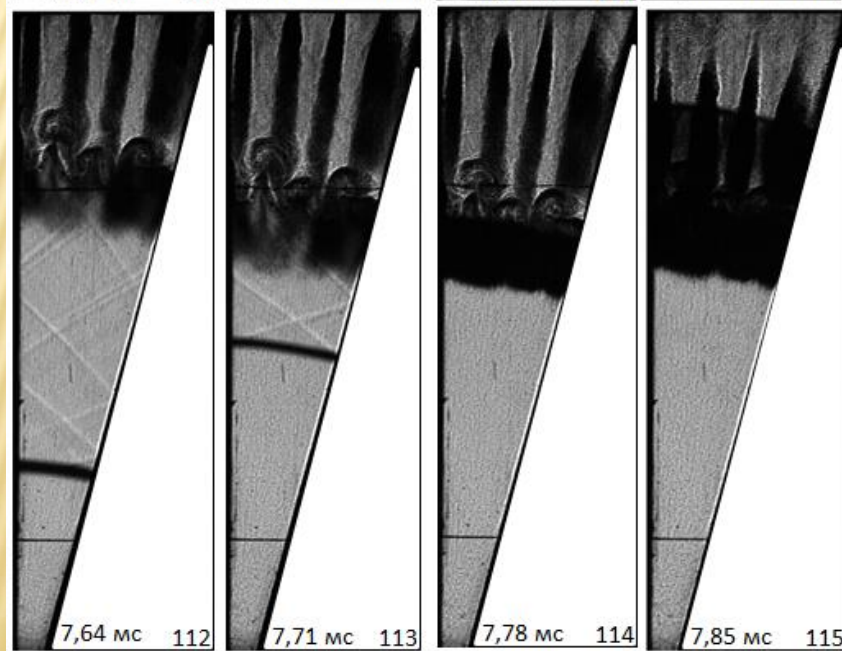
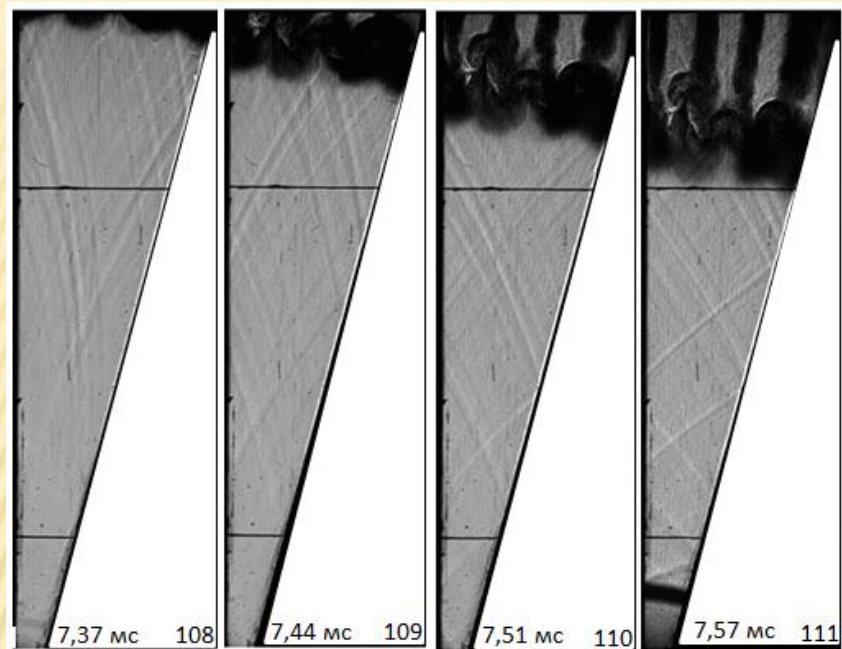


Опыт № 4, Ag-воздух



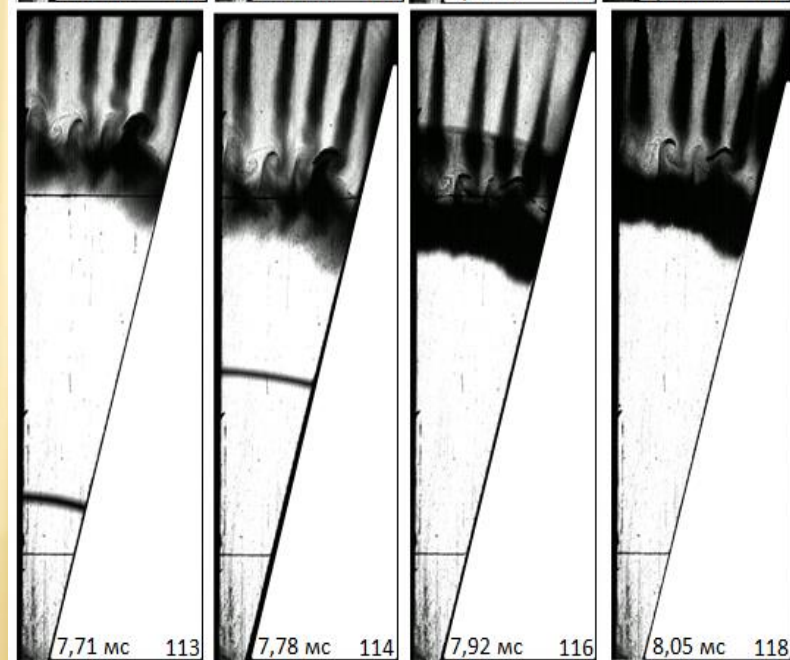
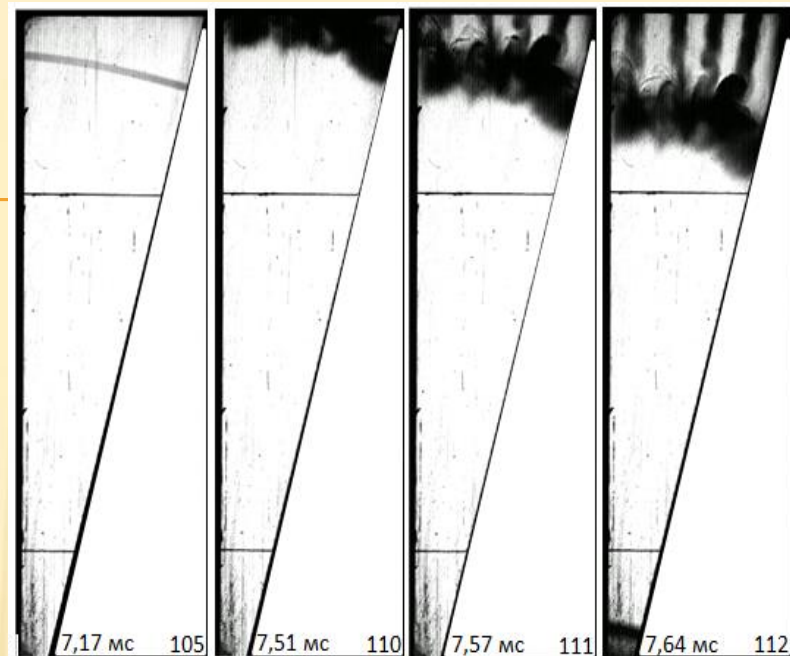
Опыт № 8, воздух-Ag

цил.

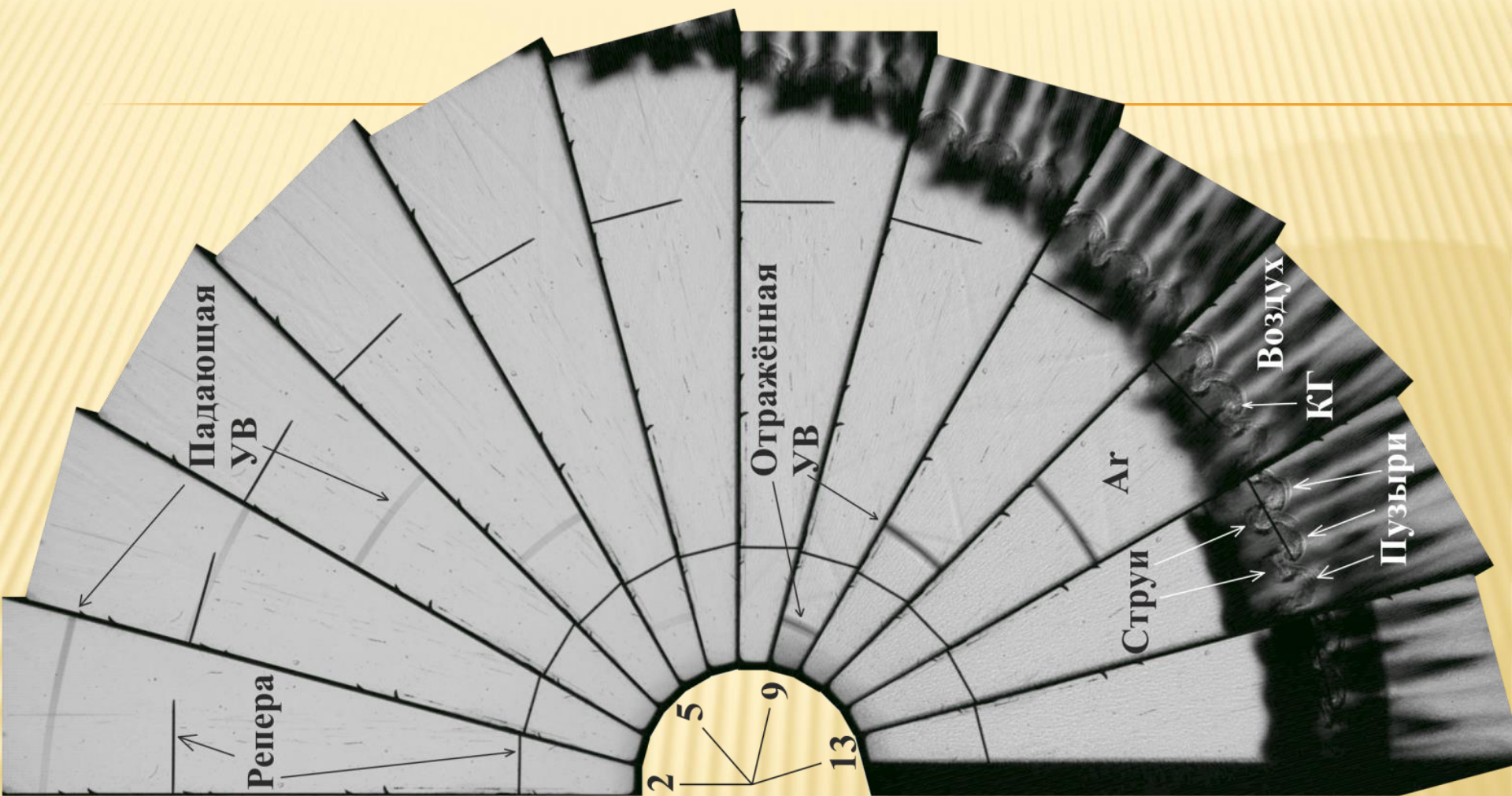


Опыт № 1, Ar-воздух

цил.

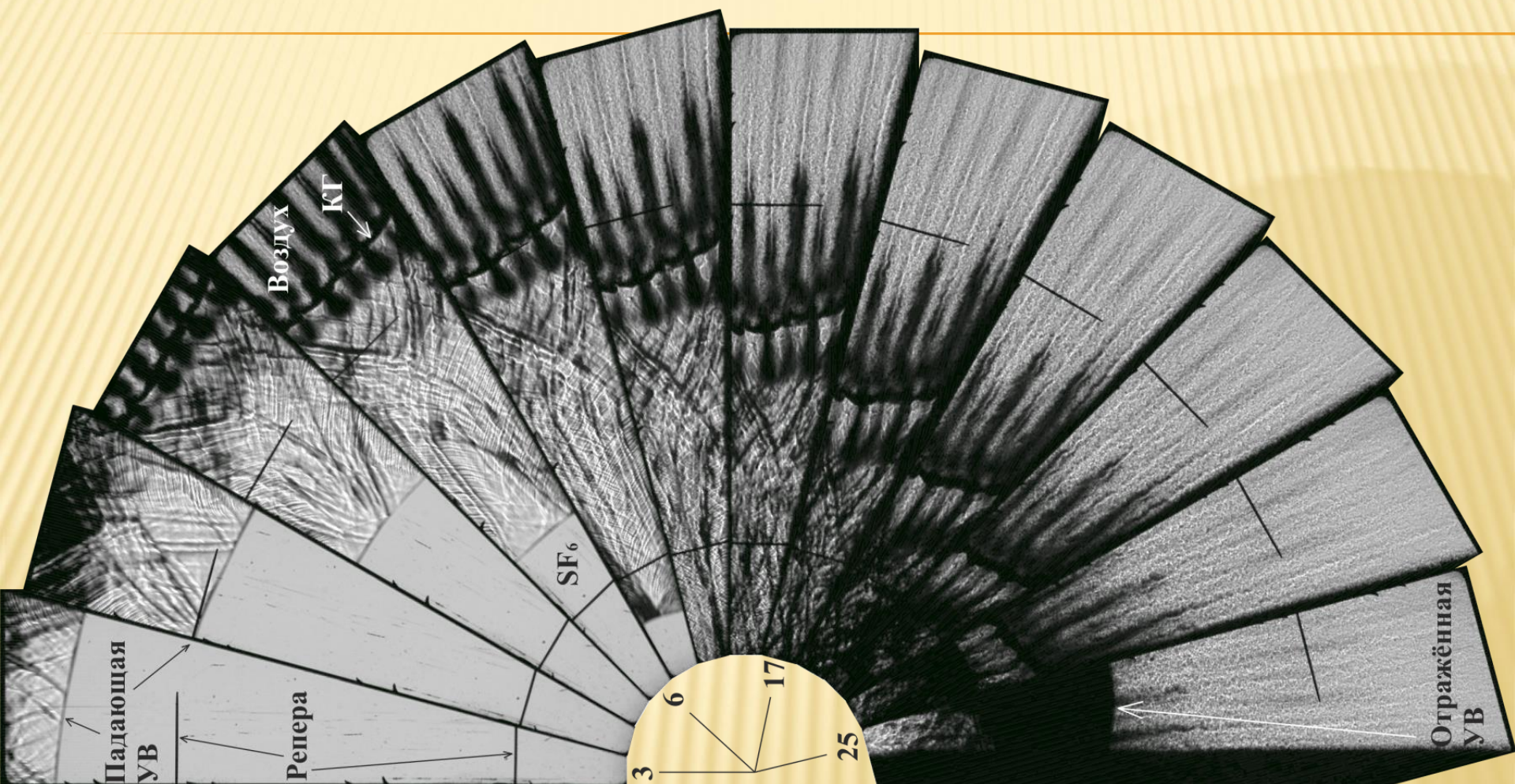


Опыт № 6, воздух-Ar



Эксперимент № 5. Воздух-Ar.

sin



Эксперимент № 6. Воздух-SF6

sin

# ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

$H = (r_{\text{л}} - r_{\text{п}}) \cdot k$  – ширина зоны перемешивания, мм

$$V = \frac{(X_{\text{УВ2}} - X_{\text{УВ1}}) \cdot k}{t_{\text{УВ2}} - t_{\text{УВ1}}} \quad \text{– скорость УВ, м/с}$$

Где

$$k = \frac{100}{X_b - X_A} \quad \text{– масштабный коэффициент, мм/пкс}$$

$$r_{\text{л}} = \max(\sqrt{(X_{i\text{л}} - X_{\text{В}})^2 + (Y_{i\text{л}} - Y_{\text{В}})^2}) \quad \text{– граничные}$$

$$r_{\text{п}} = \max(\sqrt{(X_{i\text{п}} - X_{\text{В}})^2 + (Y_{i\text{п}} - Y_{\text{В}})^2}) \quad \text{радиусы, мм}$$

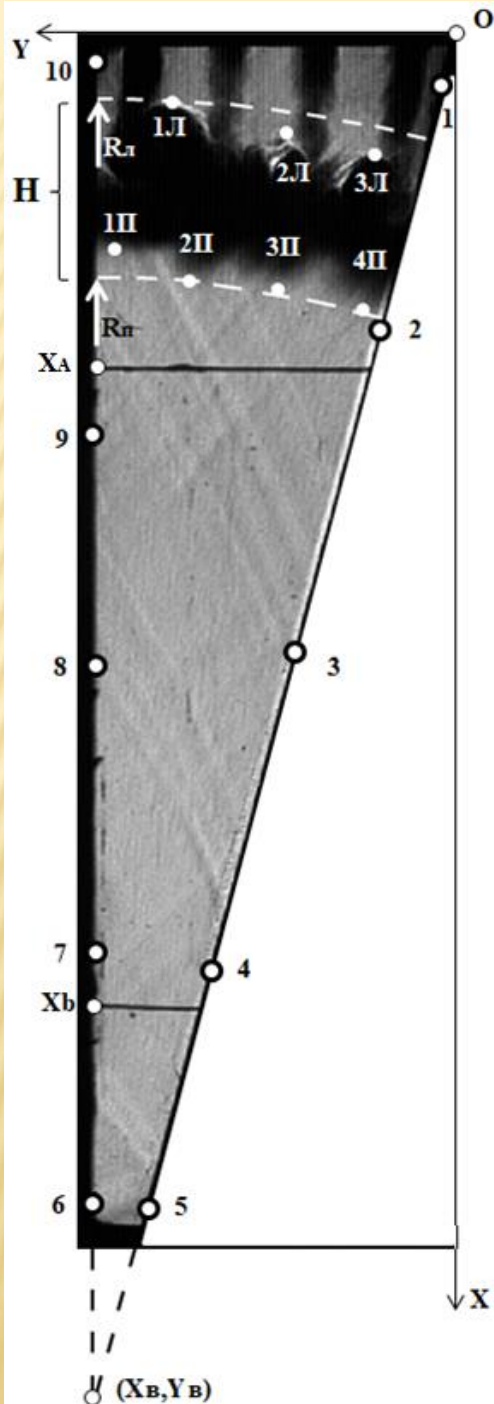
$X_A, X_b$  – координаты реперов, пкс

$X_{\text{В}}, Y_{\text{В}}$  – координаты вершины, пкс

$X_1, \dots, X_5, X_6, \dots, X_{10}$  – координаты стенок, пкс

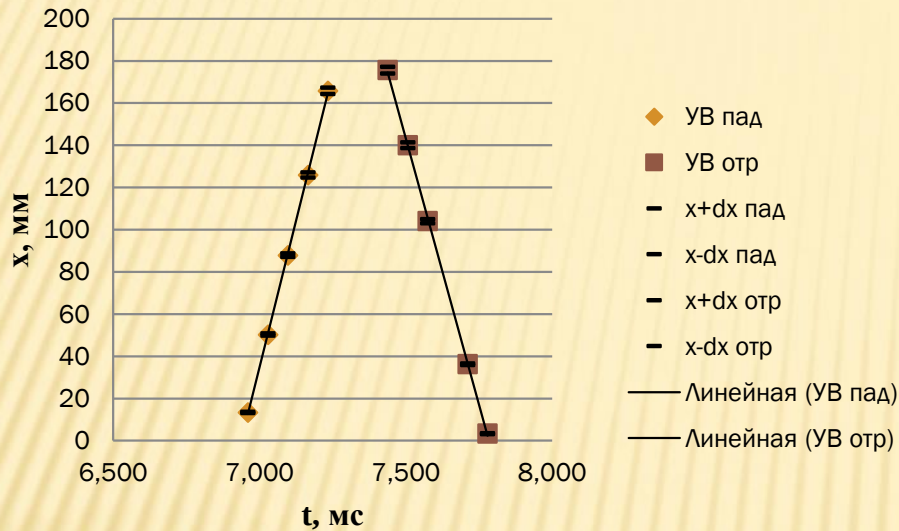
$X_{i\text{л}}, Y_{i\text{л}}, X_{i\text{п}}, Y_{i\text{п}}$  – координаты вершин пузырей и струй, пкс

$X_{\text{УВ1}}, X_{\text{УВ2}}, t_{\text{УВ1}}, t_{\text{УВ2}}$  – координаты (пкс) и времена (мкс) УВ

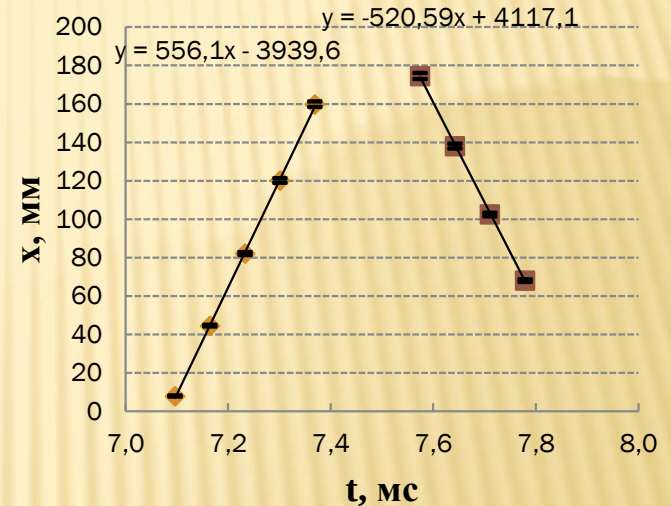


# ПАРАМЕТРЫ УВ

Средние скорости между экспериментальными точками



Эксп. № 7, Возд-Ar



Эксп. № 4, Возд-Ar

цил.

sin

Прошедшая УВ

Отражённая УВ

Прошедшая УВ

Отражённая УВ

| V1, м/с | $\Delta V1$ , м/с |
|---------|-------------------|
| 541     | 16                |
| 551     | 16                |
| 557     | 16                |
| 584     | 17                |

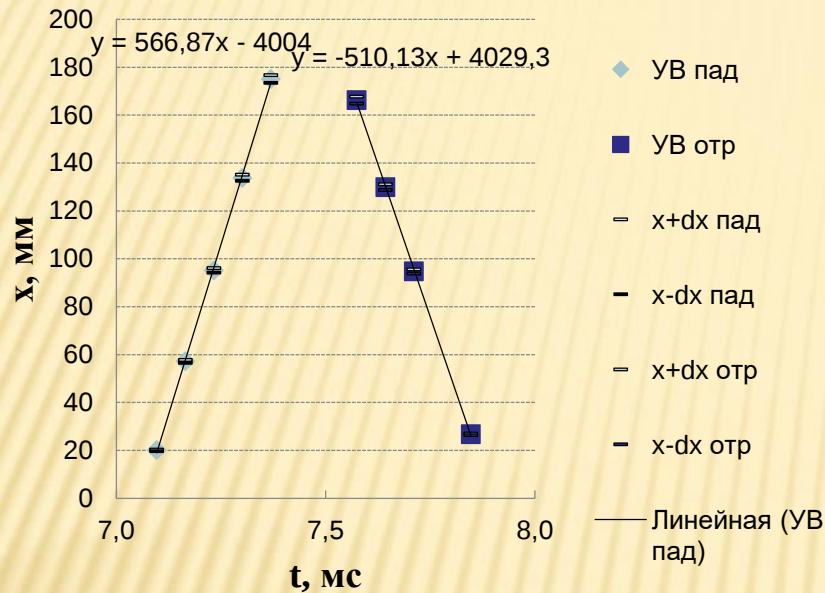
| V2, м/с | $\Delta V2$ , м/с |
|---------|-------------------|
| -521    | 16                |
| -528    | 16                |
| -       | -                 |
| -       | -                 |
| -482    | 15                |

| V1, м/с | $\Delta V1$ , м/с |
|---------|-------------------|
| 538     | 16                |
| 550     | 16                |
| 557     | 16                |
| 582     | 16                |

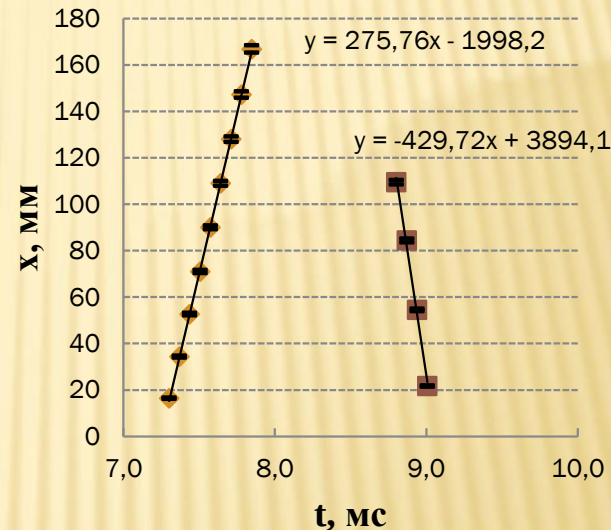
| V2, м/с | $\Delta V2$ , м/с |
|---------|-------------------|
| -534    | 16                |
| -522    | 15                |
| -506    | 15                |

# ПАРАМЕТРЫ УВ

Средние скорости между  
экспериментальными точками



Эксп. № 1, Ar-Возд



Эксп. № 6, Возд-SF<sub>6</sub>

цил.

Прошедшая УВ

Отражённая УВ

| V1, м/с | ΔV1, м/с |
|---------|----------|
| 544     | 16       |
| 557     | 16       |
| 567     | 16       |
| 605     | 17       |

| V2, м/с | ΔV2, м/с |
|---------|----------|
| -532    | 16       |
| -516    | 16       |
| -499    | 8        |

Прошедшая УВ

sin

Отражённая УВ

| V1, м/с | ΔV1, м/с |
|---------|----------|
| 262     | 12       |
| 269     | 12       |
| 269     | 12       |
| 278     | 12       |
| 278     | 12       |
| 278     | 12       |
| 282     | 12       |
| 288     | 12       |

| V2, м/с | ΔV2, м/с |
|---------|----------|
| -368    | 13       |
| -438    | 14       |
| -480    | 15       |

# ПАРАМЕТРЫ УВ

Средние скорости прошедших и отражённых ударных волн на участке измерительного окна

ЦИЛ.

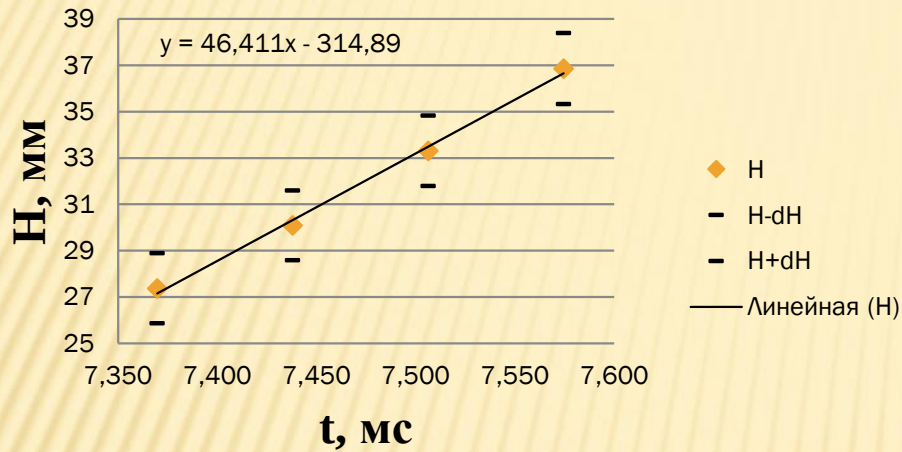
sin

| №<br>серии | Газ 1 /<br>газ 2 | №<br>опыта | $V_{\text{прош}}$<br>м/с | $\Delta V_{\text{прош}}$<br>м/с | $V_{\text{отр}}$<br>м/с | $\Delta V_{\text{отр}}$<br>м/с |
|------------|------------------|------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1          | Ar /<br>Возд     | 1          | 568,1                    | 6,4                             | 511,2                   | 5,9                            |
|            |                  | 2          | 568,1                    | 6,4                             | 508,8                   | 5,8                            |
|            |                  | 3          | 560,6                    | 6,3                             | 489,5                   | 5,7                            |
|            |                  | 4          | 569,7                    | 6,4                             | 500,9                   | 5,8                            |
|            |                  | 5          | 570,5                    | 6,4                             | 504,0                   | 5,8                            |
|            |                  | Общее      | 567,4                    | 8,1                             | 502,9                   | 12,1                           |
| 2          | Возд /<br>Ar     | 6          | 554,2                    | 6,2                             | 512,0                   | 5,8                            |
|            |                  | 7          | 558,2                    | 6,4                             | 504,9                   | 5,5                            |
|            |                  | 8          | 561,9                    | 7,3                             | 502,7                   | 5,9                            |
|            |                  | 9          | 547,9                    | 6,3                             | 497,1                   | 5,8                            |
|            |                  | 10         | 549,5                    | 6,3                             | 502,7                   | 5,8                            |
|            |                  | Общее      | 554,3                    | 10,3                            | 503,9                   | 8,9                            |

| №<br>серии | Газ 1 /<br>Газ 2          | №<br>опыта | $V_{\text{прош}}$<br>м/с | $\Delta V_{\text{прош}}$<br>м/с | $V_{\text{отр}}$<br>м/с | $\Delta V_{\text{отр}}$<br>м/с |
|------------|---------------------------|------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1          | Возд /<br>Ar              | 1          | 560,3                    | 6,3                             | 520,4                   | 8,7                            |
|            |                           | 2          | 549,1                    | 6,2                             | 509,2                   | 8,5                            |
|            |                           | 3          | 566,7                    | 6,4                             | 523,6                   | 8,7                            |
|            |                           | 4          | 556,7                    | 6,3                             | 520,5                   | 6,7                            |
|            |                           | 5          | 560,7                    | 6,3                             | 527,9                   | 8,7                            |
|            |                           | Общее      | 558,7                    | 10,3                            | 520,3                   | 12,3                           |
| 2          | Возд /<br>SF <sub>6</sub> | 6          | 275,6                    | 2,9                             | 428,8                   | 5,9                            |
|            |                           | 7          | 275,2                    | 2,8                             | 404,0                   | 4,9                            |
|            |                           | 8          | 274,5                    | 2,8                             | 403,2                   | 4,9                            |
|            |                           | 9          | 275,4                    | 2,8                             | 409,0                   | 5,6                            |
|            |                           | 10         | 269,9                    | 2,7                             | 396,2                   | 4,8                            |
|            |                           | Общее      | 274,1                    | 4,2                             | 408,2                   | 16,5                           |

# Параметры зоны перемешивания

Зона. Зависимость ширины от t

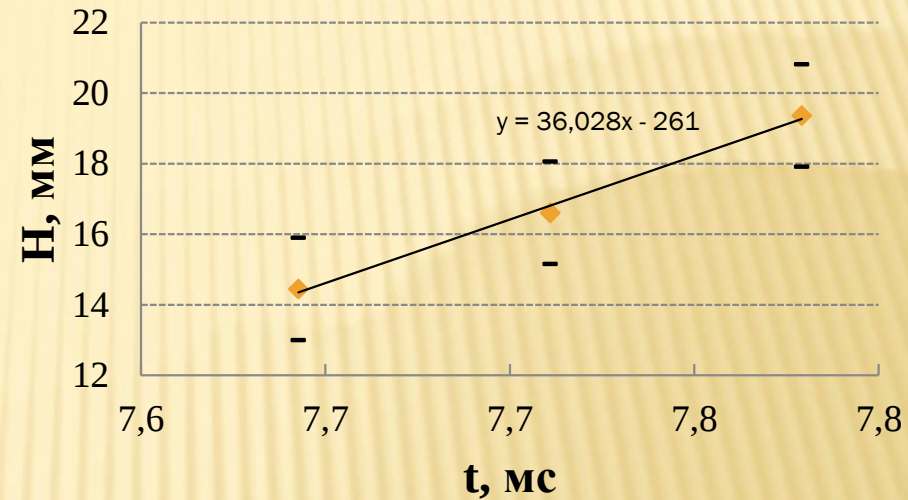


Эксп. № 7 воздух-Ar

ЦИЛ.

| S1, м/с | $\Delta S1$ , м/с |
|---------|-------------------|
| 40      | 35.4              |
| 47      | 35.5              |
| 52      | 35.9              |

Зона. Зависимость ширины от t

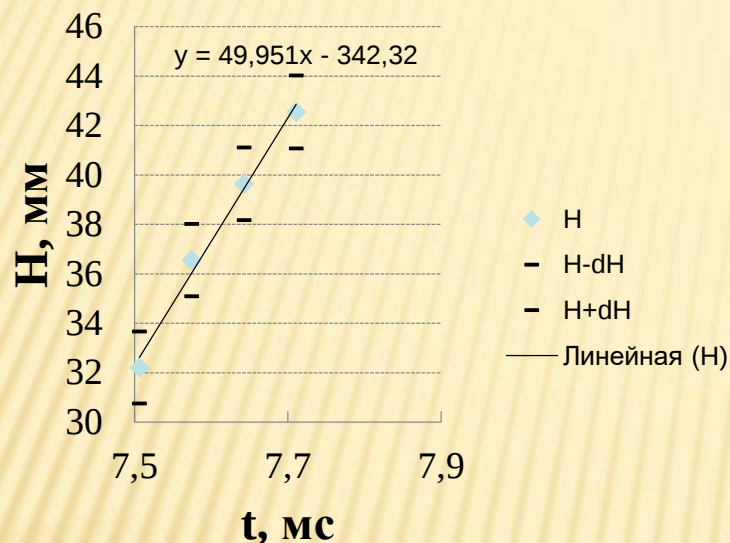


Эксп. № 4 воздух-Ar

sin

| S1, м/с | $\Delta S1$ , м/с |
|---------|-------------------|
| 32      | 34.0              |
| 40      | 34.0              |

# Параметры зоны перемешивания

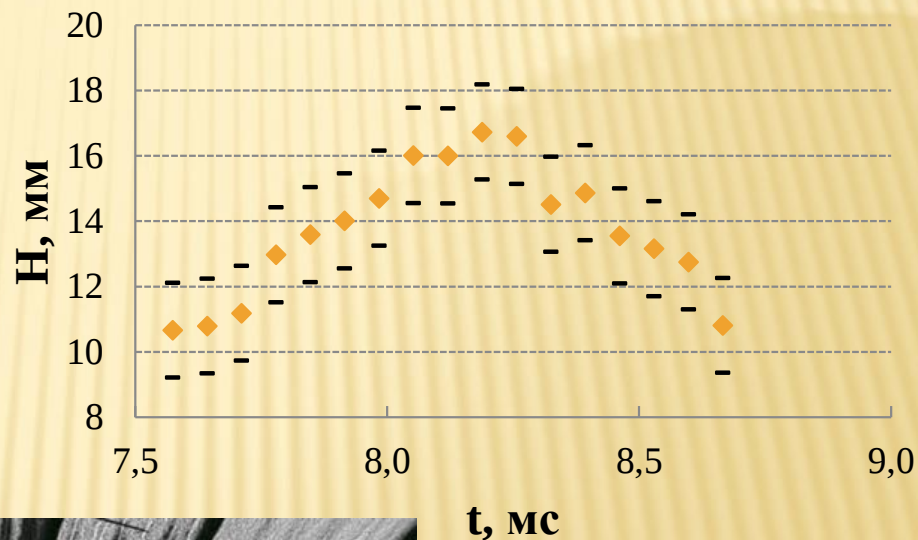


Эксп. № 1 Ar-воздух

цил.

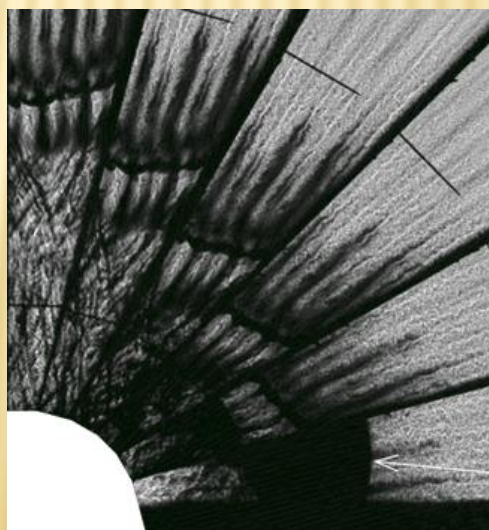
| $S1$ , м/с | $\Delta S1$ , м/с |
|------------|-------------------|
| 64         | 34,2              |
| 45         | 34,4              |
| 43         | 34,5              |

Средние скорости роста зоны перемешивания между экспериментальными точками

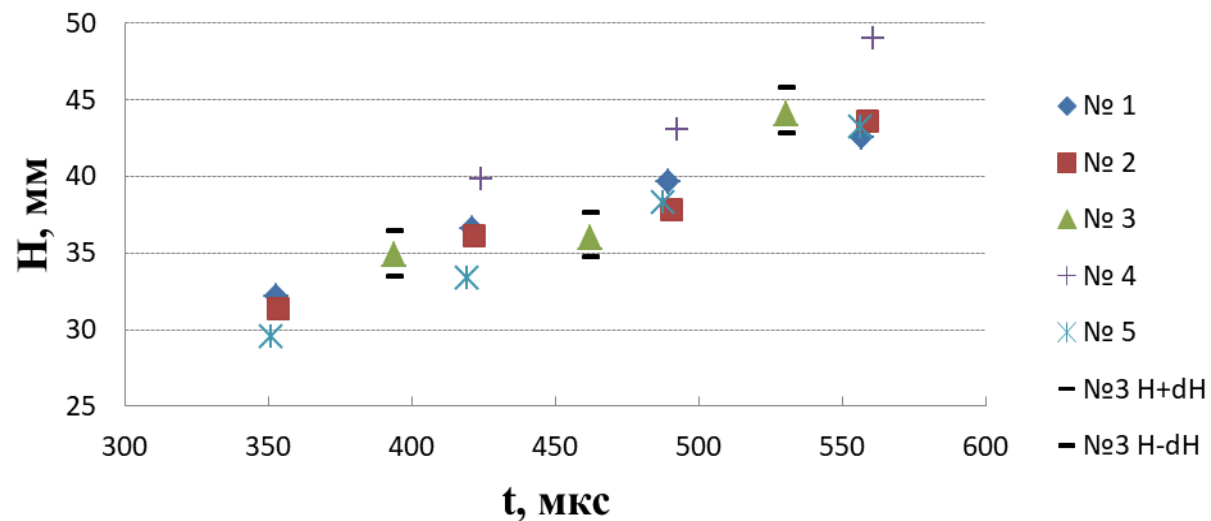


Эксп. № 6, Возд-SF<sub>6</sub>

sin



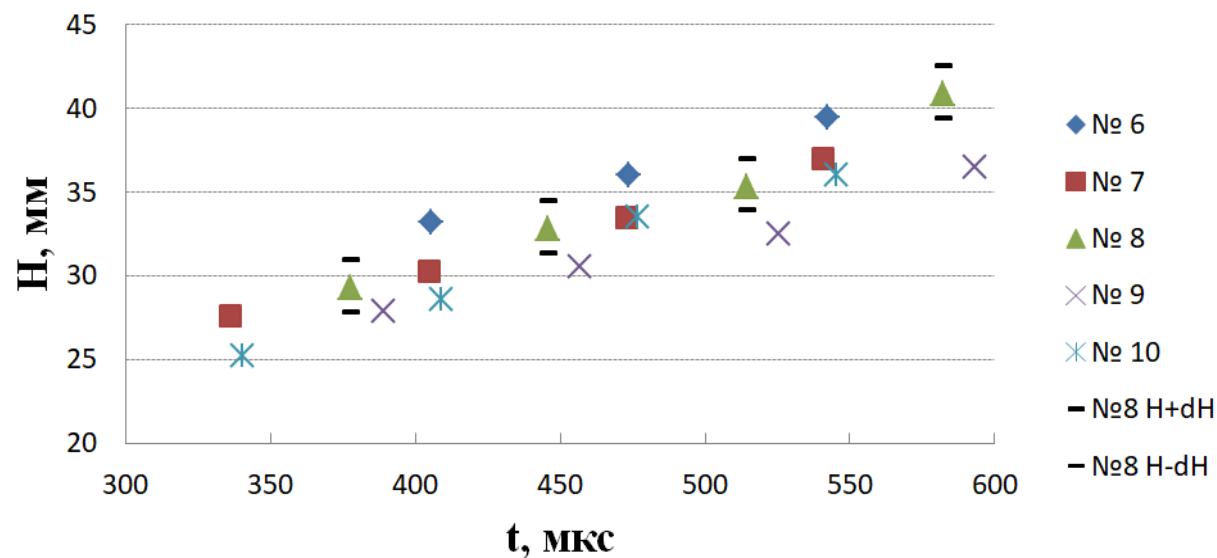
# Параметры зоны перемешивания



Сводные графики  
по сериям

1 серия  
Ar-воздух

цил.



2 серия  
воздух-Ar

Отсчет времени  $t$  от  
прихода УВ на  
первый репер  $X_A$

# ПАРАМЕТРЫ ЗОНЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Зона перемешивания

Скорость роста  
зоны

| № серии | Газ 1 /<br>газ 2 | № опыта | Границы H,<br>мм | $\Delta H_{пр}$ ,<br>мм | $\Delta H_{сл}$ ,<br>мм | $\Delta H$ ,<br>мм | S, м/с    | $\Delta S$ ,<br>м/с |
|---------|------------------|---------|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| 1       | Ar /<br>воздух   | 1       | 32,2÷42,5        | 1,47                    | 3,40                    | 3,71               | 50,5      | 15,0                |
|         |                  | 2       | 31,2÷43,4        | 1,50                    |                         | 3,72               | 59,7      |                     |
|         |                  | 3       | 34,9÷44,1        | 1,48                    |                         | 3,71               | 68,1      |                     |
|         |                  | 4       | 39,7÷48,9        | 1,53                    |                         | 3,72               | 67,4      |                     |
|         |                  | 5       | 29,5÷43,2        | 1,49                    |                         | 3,71               | 67,0      |                     |
|         |                  | Общее   | 29,5÷48,9        | -                       | -                       | 3,8                | <u>65</u> | <u>15</u>           |
| 2       | Воздух /<br>Ar   | 6       | 33,1÷39,4        | 1,49                    | 3,23                    | 3,55               | 46,1      | 12,8                |
|         |                  | 7       | 27,4÷36,9        | 1,54                    |                         | 3,57               | 46,3      |                     |
|         |                  | 8       | 29,2÷40,9        | 1,55                    |                         | 3,58               | 56,8      |                     |
|         |                  | 9       | 27,8÷36,5        | 1,51                    |                         | 3,56               | 42,6      |                     |
|         |                  | 10      | 25,1÷36,0        | 1,51                    |                         | 3,56               | 53,3      |                     |
|         |                  | Общее   | 25,1÷40,9        | -                       | -                       | 3,6                | <u>49</u> | <u>13</u>           |

ЦИЛ.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ✗ В работе на ударной трубе изучена неустойчивость Рихтмайера-Мешкова на плоской контактной границе разноплотных газов в конвергентной геометрии с углом схождения  $15^\circ$ . Проведены две серии экспериментов в постановке Ar-воздух и воздух-Ar, измерены скорости прошедших и отражённых ударных волн и оценены ширина и скорость роста зоны перемешивания.
- ✗ Для цилиндрической КГ в первой (Ar-воздух) и второй (воздух-Ar) серии скорости прошедших волн составили  $(567 \pm 9)$  и  $(554 \pm 11)$  м/с; отражённых  $(503 \pm 13)$  и  $(504 \pm 9)$  м/с. В первой серии ширина зоны находилась в пределах от  $(29,5 \pm 3,8)$  мм до  $(48,9 \pm 3,8)$  мм и средняя скорость роста зоны составила  $(65 \pm 15)$  м/с. Во второй серии ширина зоны находилась в пределах от  $(25,1 \pm 3,6)$  мм до  $(40,9 \pm 3,6)$  мм и средняя скорость роста зоны составила  $(49 \pm 13)$  м/с.
- ✗ Для синусоидальной КГ в первой (воздух-Ar) и второй (воздух-SF<sub>6</sub>) серии скорости прошедших волн составили  $(559 \pm 11)$  и  $(274 \pm 5)$  м/с; отражённых  $(520 \pm 13)$  и  $(408 \pm 17)$  м/с. В первой серии ширина зоны увеличивалась со временем, во второй серии сначала увеличивалась, затем уменьшалась вследствие приближения к точке схождения.
- ✗ Данные экспериментов могут использоваться с целью верификации производственных численных комплексов.

---

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**