

---

УДК533.6.011

**Результаты экспериментальных исследований  
взаимодействия многоблочных сверхзвуковых турбулентных  
струй с преградой**

**Кудимов Н. Ф.<sup>1\*</sup>, Сафронов А. В.<sup>2\*\*</sup>, Третьякова О. Н.<sup>1\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

<sup>2</sup>*Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, ЦНИИмаш, ул. Пионерская, 4, Королёв, Московская область, 141070, Россия*

*\*e-mail: itterasai@gmail.com*

*\*\*e-mail: avsafron@gmail.com*

*\*\*\*e-mail: tretiyakova\_olga@mail.ru*

**Аннотация**

При старте ракет-носителей актуальной является задача исследования многоблочных струй двигательных установок. Особый практический интерес представляет взаимодействие многоблочных сверхзвуковых турбулентных струй с преградой. Причем для данного случая практически отсутствуют экспериментальные данные.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия многоблочных сверхзвуковых турбулентных струй с преградой.

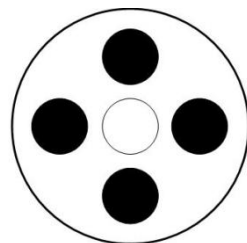
**Ключевые слова:** экспериментальное исследование, многоблочные струи, неустойчивость течения

### **Введение**

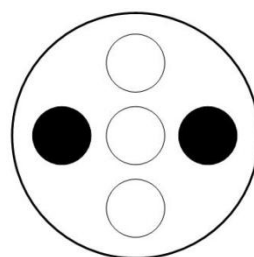
Взаимодействие сверхзвуковой струи с преградой представляет практический интерес при расчетной обработке газодинамики старта ракет-носителей. Особый интерес представляет истечение многоблочных струй ракетных двигателей, причем для данного вида течений практически отсутствуют экспериментальные данные. Характерные случаи взаимодействия одиночных струй с преградой рассмотрены в работах [1-3]. Задачи о взаимодействии многоблочных струй с преградами остаются пока малоизученными и требуются при решении ряда технических вопросов. Частично эти задачи рассмотрены в [4,5]. В зависимости от расстояния между соплами и преградой возникают сложные трехмерные турбулентные течения с областями дозвуковых и сверхзвуковых течений со скачками уплотнения, волнами разрежения и контактными разрывами.

### **Описание методики эксперимента**

В данной работе приведены результаты измерений давления по преграде при натекании многоблочных струй различных компоновок (Рисунок 1, черным цветом обозначены заглушки) при различных расстояниях от среза сопел до преграды.



одиночная струя



Трехблочная струя

Рис. 1 Компоновки сопел

Эксперименты проводились на установке У2-ГД ЦНИИмаш (Рисунок 2). В качестве рабочего тела использовался сухой воздух высокого давления. Параметры в камере: температура  $T_0=300\text{K}$ , давление до 12 МПа. Продолжительность испытаний на стенде до 2-3 минут.



Рис. 2 Вид установки с различными вариантами компоновки сопел (слева – одиночная струя, справа – трехблочная струя)

Сопло, использованное в экспериментах, обеспечивало геометрическое число Маха на срезе  $M_a=4$ . Диаметр среза сопла  $d_a=47.7$  мм, диаметр окружности, проходящей через центры боковых блоков  $D_b=200$  мм.

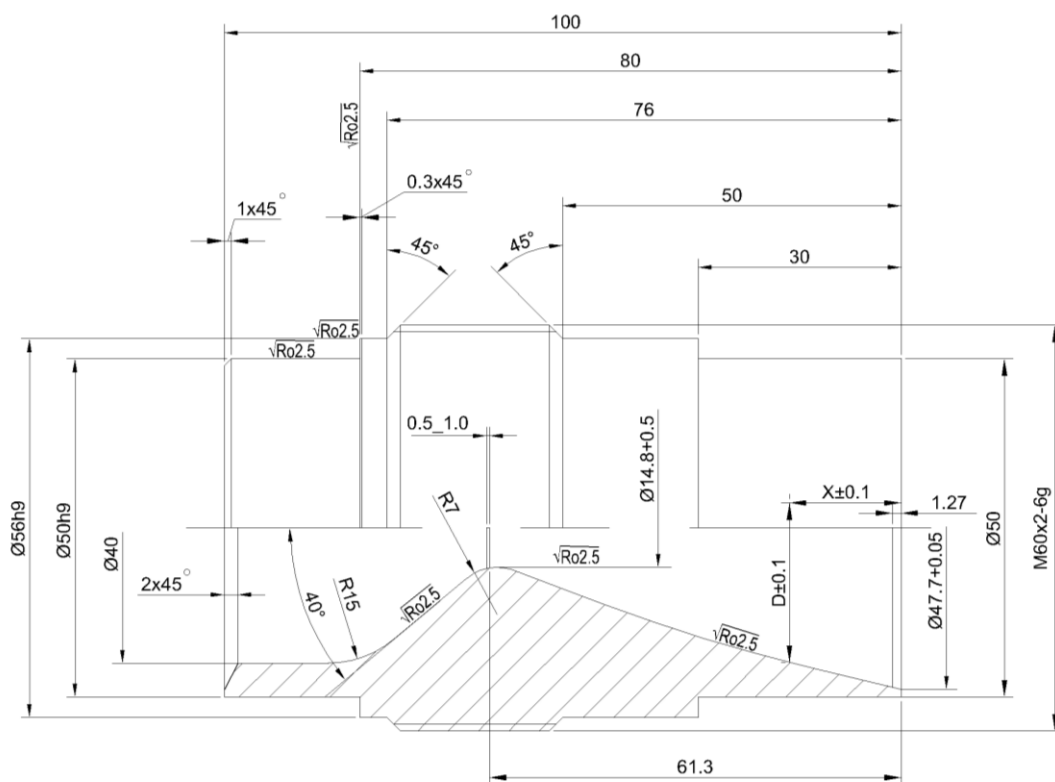


Рис. 3 Эскиз сопла

Преграда представляла собой дюралевую плиту с расположенными на ней датчиками давления. Регистрация измерений проводилась с помощью плат АЦП L-Carol и программного комплекса АСТest фирмы «Лаборатория автоматизированных систем (АС)». Частота опроса датчиков 50 Гц. Для измерения давлений использовались стандартные потенциометрические датчики типа МД-Т с паспортной погрешностью 5%. Схема обозначения дренажных точек на преграде приведена на Рисунке 4.

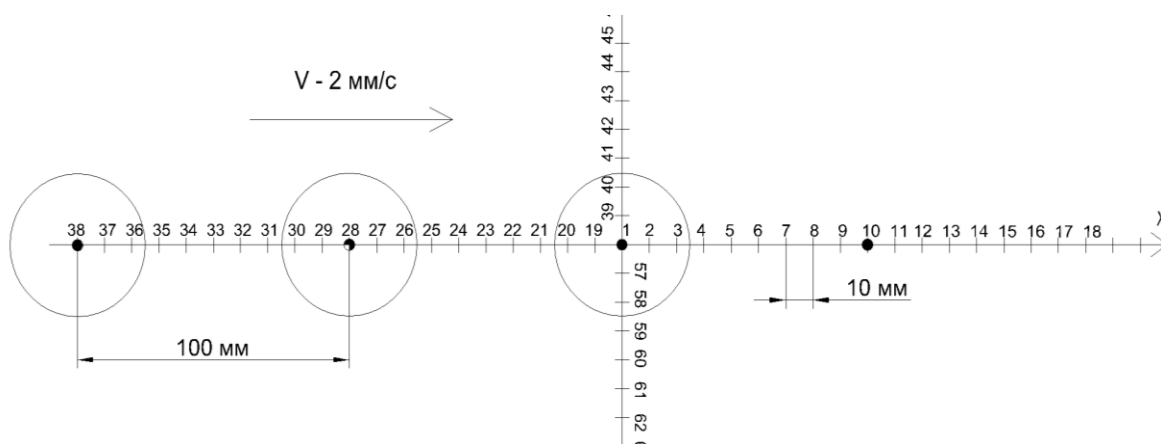


Рис. 4 Расположение и направление перемещения проекций выходных сечений в случае трехблочной конфигурации сопел

Расстояние между дренажными точками равно 10 мм. Скорость движения преграды  $V=2\text{мм/с}$  контролируется датчиком относительных координат ИС 450А.

Для получения распределений давления в системе координат XY (см. Рисунок 5), связанной с осью струи, проводился пересчет из системы координат, связанной с преградой  $xu$  с учетом скорости перемещения преграды и начального положения оси струи  $(x_0, y_0)$ .

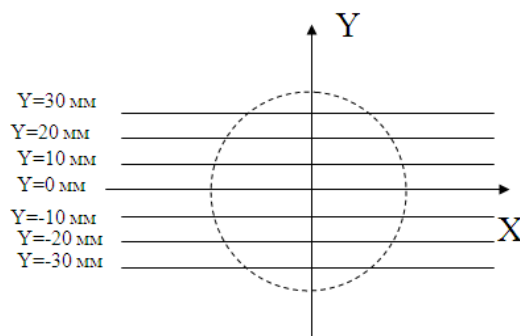


Рис. 5 Система координат XY, связанная со струей

### Результаты измерений

Далее приводятся распределения избыточного давления (в ати) в системе координат, связанной со осью струи (Рисунок 5) по преграде в различных сечениях с арифметическим осреднением по 5 точкам.

Режим I – режим одиночного истечения, давление в камере  $P_0=105$  атм,  $T_0=300$ , расстояние до преграды  $H=590$  мм. В силу симметричности течения распределения приводятся для  $X>0$  и  $Y=0$  мм, 10мм , 20мм , 30 мм. Замеренные давления по преграде для данного режима представлены на Рисунке 6.

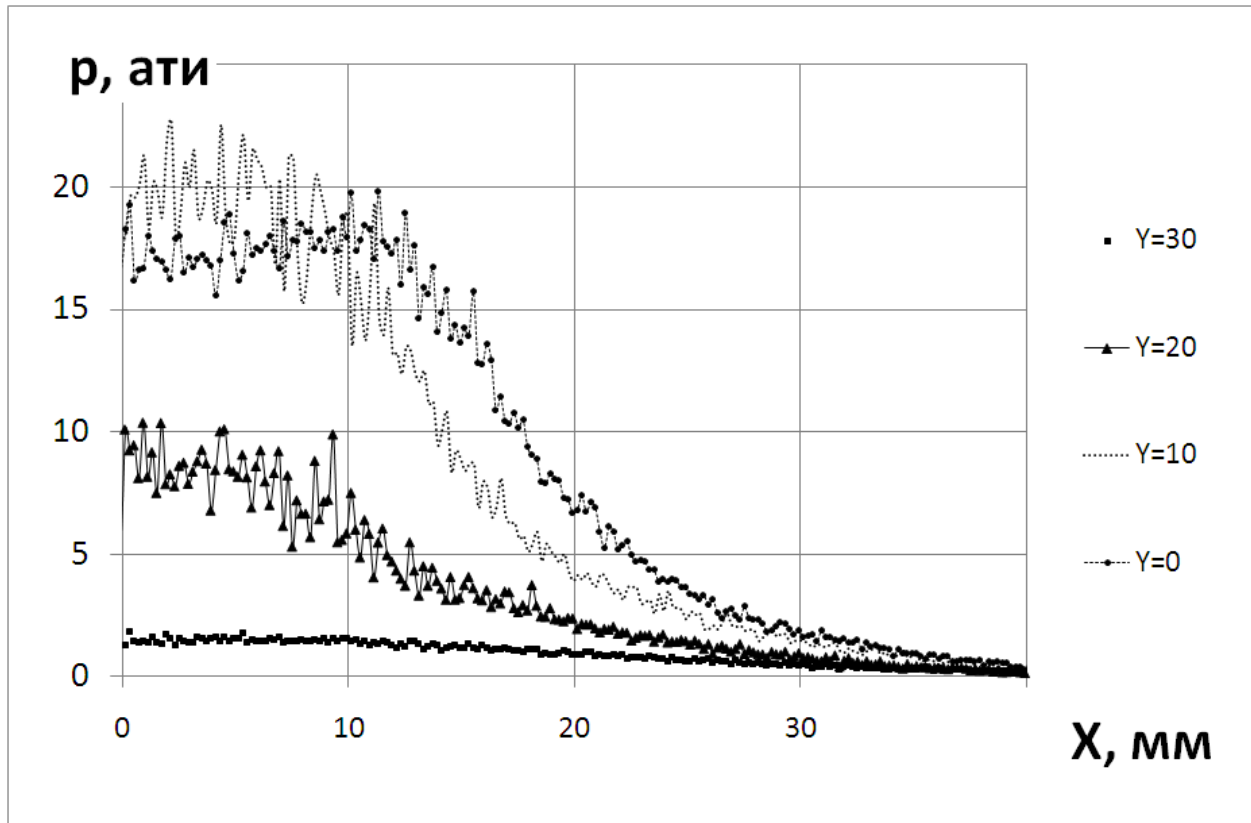


Рис. 6 Распределение давления по преграде для режима I

Режим II - режим одиночного истечения, давление в камере  $P_0=105$  атм,  $T_0=300$ , расстояние до преграды  $H=308$  мм. Нужно отметить, что для данного режима был отмечен характерный «свист» системы струя-преграда, отличающийся наличием неустойчивости течения вблизи преграды и порождением дискретного акустического излучения. Из Рисунка 7 видно, что в сечении  $Y=0$  мм распределение давления имеет «двугорбый» характер, постепенно переходя в «одногорбый» на периферии пятна струи на преграде.

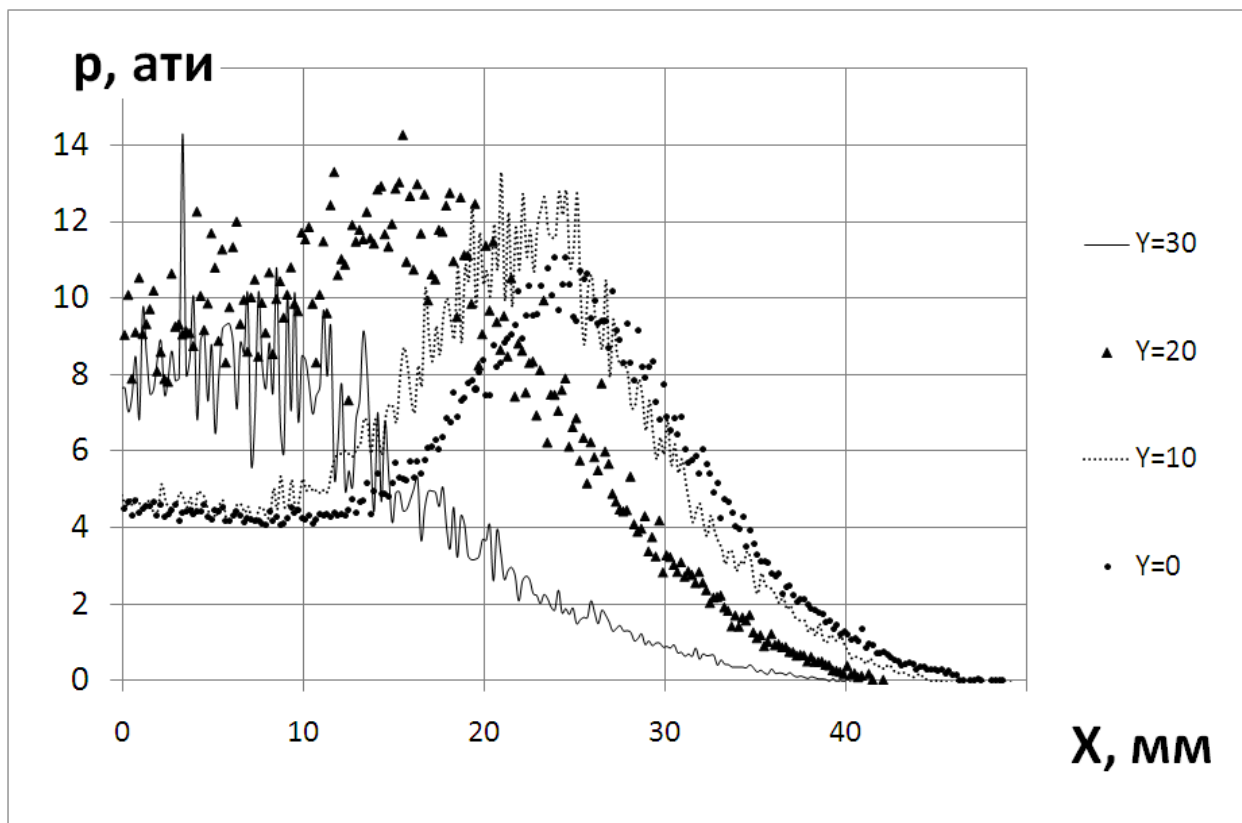


Рис. 7 Распределение давления по преграде для режима II

Режим III – режим тройного истечения, давление в камере  $P_0=105$  атм,  $T_0=300$ , расстояние до преграды  $H=576$  мм.

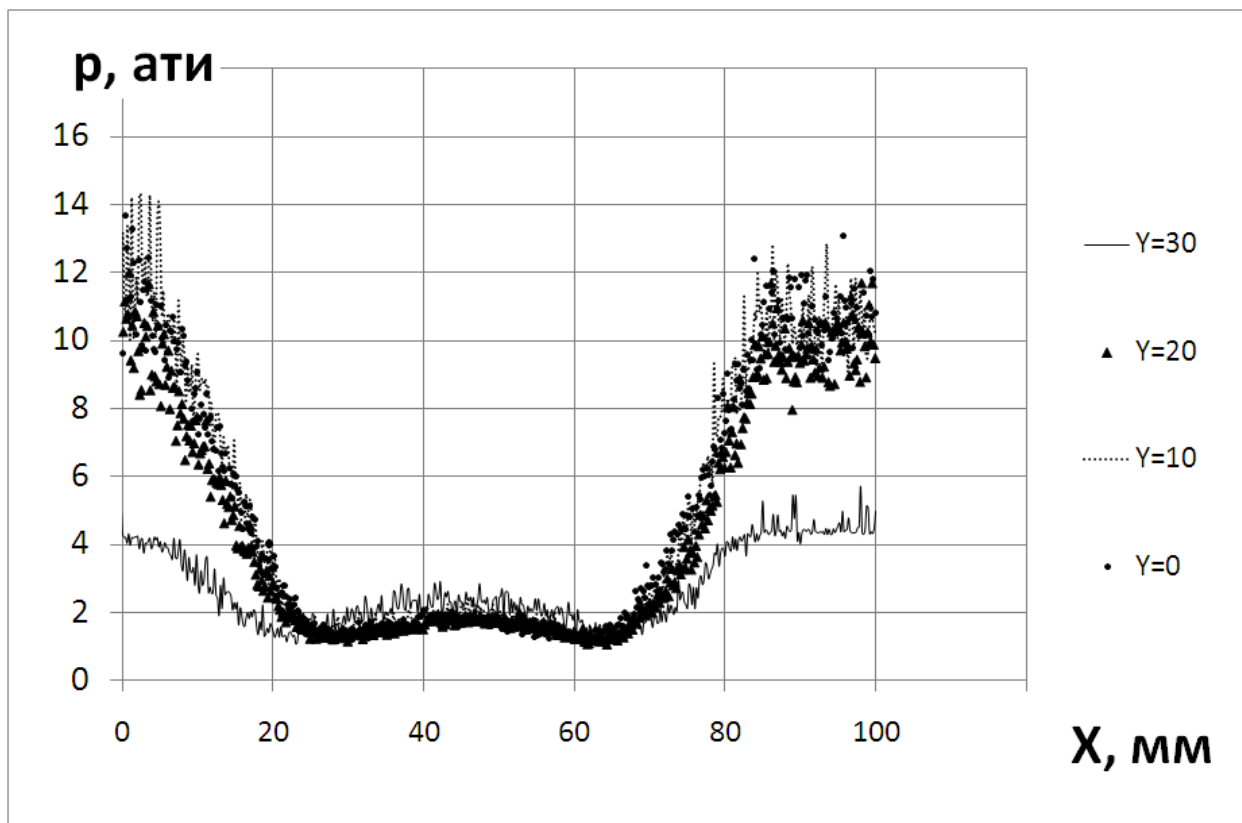


Рис. 8 Распределение давления по преграде для режима III

Проведены замеры давления на преграде в критической точке при непрерывном движении преграды от среза сопел. Скорость движения преграды равнялась 10 мм/с.

Режим IV – режим одиночного истечения, давление в камере  $P_0=105$  атм,  $T_0=300$ , расстояние до преграды от  $H=240$  мм до  $H=550$  мм.



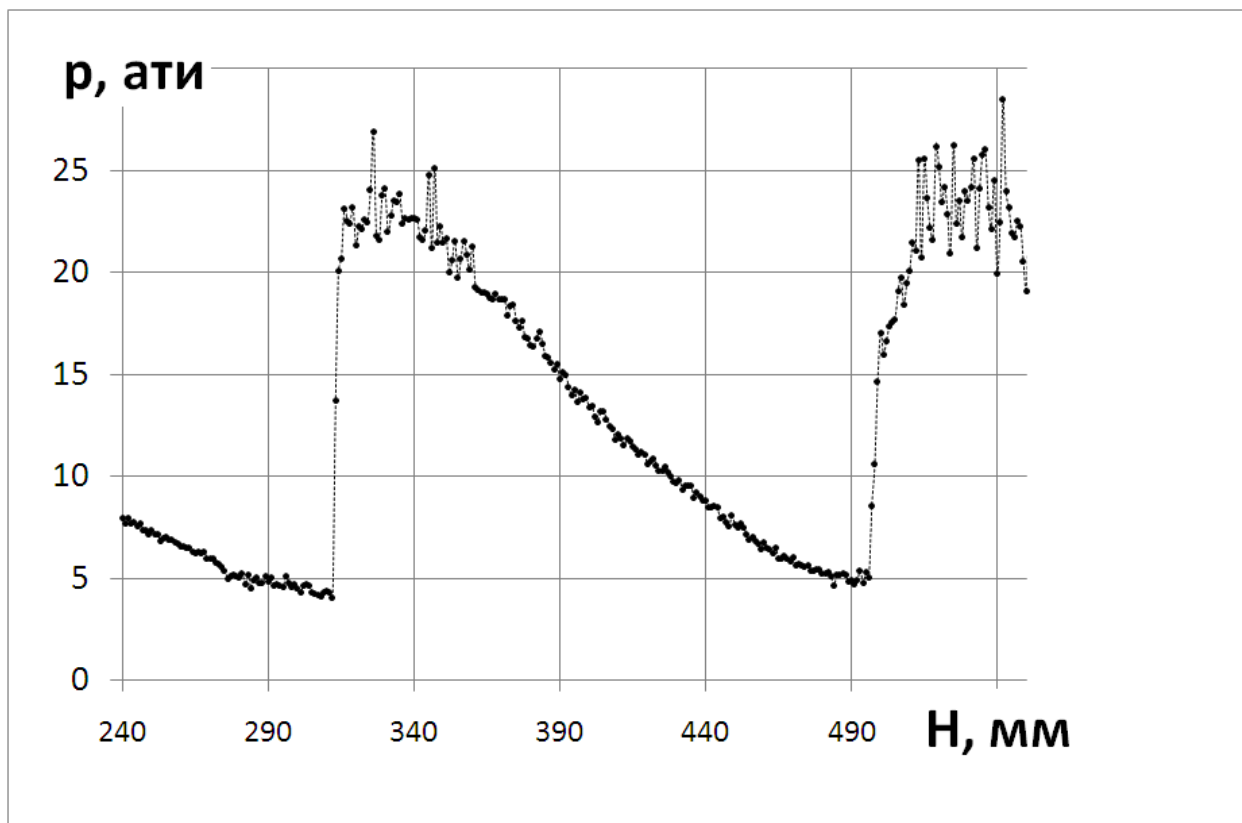


Рис. 9 Давление в критической точке на преграде для режима V

Режим V – режим тройного истечения, давление в камере  $P_0=95$  атм,  $T_0=300$ , расстояние до преграды от  $H=295$  мм до  $H=856$  мм.

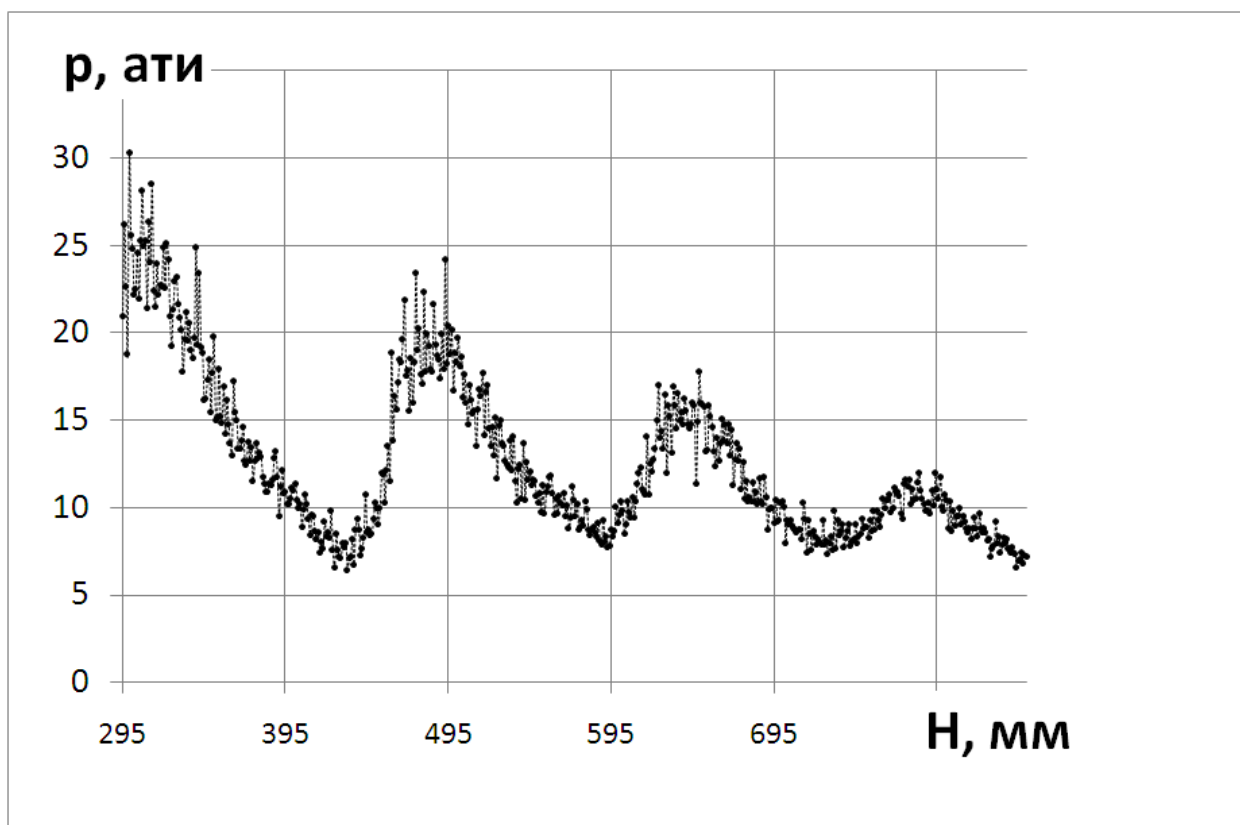


Рис. 10 Распределение давления по преграде для режима VI

### **Выводы**

Результаты анализа приведенных экспериментальных данных могут быть применены при отработке ракет с многоблочной конфигурацией сопел. Полученные данные могут быть использованы для верификации программ расчёта газодинамического воздействия сверхзвуковой блочной струи на газоотводящие устройства стартовых сооружений.

### **Библиографический список**

1. Анцупов А.В. Взаимодействие сверхзвуковой нерасчетной струи с плоской преградой. Труды ЦАГИ, Москва, 1975, вып. 1698, 24 с.
2. Лунев В.В., Губанова О.И., Пластинина Л.И. О центральной срывной зоне при взаимодействии сверхзвуковой недорасширенной струи с преградой. Изв. АН СССР, МЖГ, №2, 1971. С. 135-138.

3. Donaldson C.D., Snedeker R.S. A study of free jet impingement. Mean properties of free and impinging jet, *J. Fluid Mechanics*, 1971, vol. 45, pp.2,
4. Yaga M., Okano M., Tamashiro M., Oyakawa K. Experimental and numerical study of twin underexpanded impinging jet, *J. of Thermal Science*, 2003, vol. 12, no. 3, pp. 255-259.
5. Yaga M., Kinjo Y., Tamashiro M., Oyakawa K. Flow characteristics of rectangular underexpanded impinging jets, *J. of Thermal Science*, 2006, vol. 15, no. 1, pp. 59-64.