

Измерение параметров воздушной ударной волны электроконтактными датчиками.

Хлебановский Николай Александрович

Физический факультет. Практикум по электричеству и магнетизму. 2 семестр.

Группа №18305, 2019.

Научный руководитель:

Кашкаров А. О., научный сотрудник лаборатории физики взрыва ИГиЛ СО РАН

Аннотация

Целью работы являлось изучение параметров воздушной ударной волны при помощи электроконтактных датчиков. Для измерения скорости ударной волны были сконструированы экспериментальные сборки с датчиками и электрическая схема для регистрации сигналов.

Ударная волна в воздухе возбуждалась в результате детонации заряда взрывчатого вещества. При ударном сжатии происходит ионизация воздуха, соответственно, ударная волна по мере распространения вдоль экспериментальной сборки последовательно замыкает контактные датчики.

По измеренной величине скорости фронта ударной волны проведены расчёты таких параметров как: давление, температура и плотность за её фронтом с использованием термодинамического калькулятора ударных волн в достаточно разреженных газах.

Ключевые слова: ударные волны, идеальный газ, взрывчатые вещества.

Работа выполнена в лаборатории физики взрыва Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Хлебановский Николай Александрович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Измерение параметров воздушной ударной волны
электроконтактными датчиками**

Практикум по электричеству и магнетизму, 2 курс, группа №18305

Научный руководитель:

к. ф.-м. н. Кашкаров А. О.

Оценка научного руководителя

«__»_____2019 г.

Преподаватель практикума:

д. ф.-м. н. Терещенко О.Е.

Оценка преподавателя практикума

«__»_____2019 г.

Куратор практикума:

к. т. н. Астрелин В. Т.

Итоговая оценка

«__»_____2019 г.

Аннотация

Целью работы являлось изучение параметров воздушной ударной волны при помощи электроконтактных датчиков. Для измерения скорости ударной волны были сконструированы экспериментальные сборки с датчиками и электрическая схема для регистрации сигналов.

Ударная волна в воздухе возбуждалась в результате детонации заряда взрывчатого вещества. При ударном сжатии происходит ионизация воздуха, соответственно, ударная волна по мере распространения вдоль экспериментальной сборки последовательно замыкает контактные датчики.

По измеренной величине скорости фронта ударной волны проведены расчёты таких параметров как: давление, температура и плотность за её фронтом с использованием термодинамического калькулятора ударных волн в достаточно разреженных газах.

Ключевые слова: ударные волны, идеальный газ, взрывчатые вещества.

Работа выполнена в лаборатории физики взрыва Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН.

Оглавление

Введение.....	4
1. Теоретическая часть.....	5
2. Экспериментальная часть.....	6
2.1 Экспериментальная установка	6
2.2 Методика проведения эксперимента	7
2.3 Обработка данных	9
Заключение	12
Список используемой литературы	12

Введение

Ударная волна — поверхность разрыва, которая движется внутри среды, при этом температура, плотность, скорость и давление испытывают резкий скачок. Скорость ударной волны выше скорости звука в данной среде, и она зависит от давлений перед и за фронтом ударной волны[1].



Рис. 1. Фото взрыва с ударной волной

Целью данной работы было нахождение параметров воздушной ударной волны. Эти данные могут использоваться для нахождения детонирующих свойств взрывчатых веществ (при каких параметрах ударной волны заряд взрывчатого вещества детонирует), нахождения свойств газа, в котором движется ударная волна и т. п.

Для нахождения параметров воздушной ударной волны в данной работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Собрать экспериментальную схему с электроконтактными датчиками, в которой будет проходить ударная волна.
2. Собрать регистрирующую схему.
3. По полученным осциллограммам определить скорость ударной волны.
4. С помощью термодинамического калькулятора определить остальные параметры ударной волны.

1. Теоретическая часть

Для достаточно разреженных газов параметры на ударных волнах могут быть рассчитаны с помощью равновесных уравнений состояния. Суть метода заключается в том, что каждая компонента исходного газа может быть описана с использованием уравнения состояния идеального газа [2, стр. 441-455]. Покомпонентный состав воздуха был выбран как смесь идеальных газов: кислород, азот, аргон и основные их соединения. С учетом сохранения элементного состава всей смеси по отношениям парциальных давлений (констант равновесия химических реакций) рассчитываются концентрации $n_i(T)$ каждой компоненты смеси. Тогда уравнение состояния воздуха представляется в виде: $p(T) = \sum_i n_i(T) kT$.

По известным значениям удельных энтальпий каждого газа и их концентрациям можно определить полную энтальпию смеси. А так же записав законы сохранения массы, импульса и энергии можно получить систему уравнений:

$$\begin{cases} \rho_0 D = \rho(D - u) \\ p_0 + \rho_0 D^2 = p + \rho(D - u)^2 \\ \left(h_0 + \frac{\rho_0 D^2}{2}\right) D = \left(h + \frac{\rho(D - u)^2}{2}\right) (D - u) \end{cases}$$

Где h_0 – энтальпия на единицу массы в начальный момент, h – энтальпия на единицу массы за фронтом ударной волны, D – скорость ударной волны, ρ_0 – плотность газа в начальный момент, ρ – плотность газа за фронтом ударной волны, p_0 – давление газа в начальный момент, p – давление газа за фронтом ударной волны, u – массовая скорость газа за фронтом ударной волны.

Из этих уравнений следует что:

$$h(\rho, T) - h_0 = \frac{p(\rho, T) - p_0}{2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)$$

Это уравнение представляет собой нелинейное уравнение на температуру или плотность. Оно решалось численно относительно плотности при фиксированной температуре. После определения плотности и температуры за

фронтом ударной волны все остальные параметры определяются по известной скорости ударной волны, используя первые два уравнения системы.

Thermodynamic parameters

```
P[Pa]      = 1.63728e+07
T[K]       = 5000
rho[kg/m3] = 10.5737
E [J/kg]   = -2.25851e+07
D[m/s]     = 3934.11
u [m/s]    = 3493.63
a_eq [m/s] = 1373.2
gamma_eq   = 1.21779

Compound name, nu, p[Pa]
Ar      0.00932  141443
CO      0.000357913 5431.81
CO2     4.20868e-05 638.723
N       0.00228907 34739.8
N2      0.722447  1.09641e+07
N2O     8.59011e-05 1303.66
NO      0.114093  1.73152e+06
NO2     0.000229017 3475.63
NOplus  3.61846e-06 54.915
O       0.155297  2.35684e+06
O2      0.0746591  1.13305e+06
O3      7.34657e-06 111.494
e       3.61846e-06 54.915
```

Рис. 2. Термодинамические параметры ударной волны, смоделированные при помощи термодинамического калькулятора фиксировать ударную волну в эксперименте с помощью замыкающихся электроконтактных датчиков.

Описанный метод вычисления газодинамических параметров был выполнен с помощью программного кода “Метод расчета равновесных ударных и детонационных волн в реагирующих газах”, он же термодинамический калькулятор, доступный по адресу <http://ancient.hydro.nsc.ru/chem/> [3].

Из полученных результатов (рис. 2) видно, что за фронтом ударной волны есть свободные заряды, появившиеся в ходе процессов ионизации, способные обеспечить проводимость. Эти заряды и позволяли

2. Экспериментальная часть

2.1 Экспериментальная установка

Установка состоит из: взрывной камеры, осциллографа, регистрирующей



Рис. 3. Фото пробки и трубки

схемы и экспериментальной сборки. Трубка загрузалась взрывчатым веществом тэном с добавлением алюминиевой пудры ПАП1: 0.392 г пудры на 19.58 г тэна (это 2%). Трубка вставлена в пробку для взрывчатки (рис. 3), диаметры выходного отверстия пробок менялся в разных экспериментах, для того чтобы обеспечить возникновение ударных волн различной интенсивности.

Трубка диаметром 15 мм, длиной 73 мм, заполнена воздухом (рис. 4). Так же в трубке находятся датчики. Они представляют собой по два медных провода, расстояние между которыми около 1 мм (рис. 5). От выхода пробки до первого датчика 1 см, между соседними датчиками тоже 1 см. Образцы были собраны вручную для каждого эксперимента.

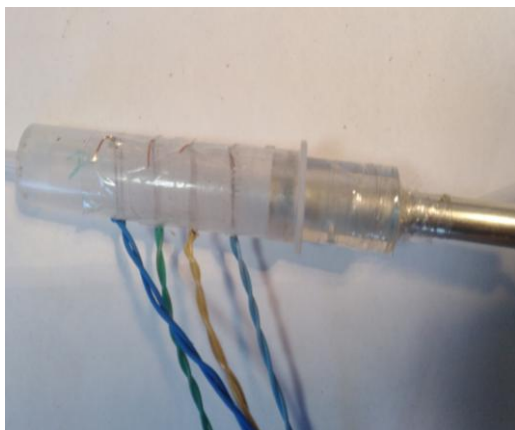


Рис. 4. Фото шприца с датчиками и пробкой с взрывчаткой



Рис. 5. Расположение датчиков внутри шприца

2.2 Методика проведения эксперимента

В данном эксперименте детонация заряда взрывчатого вещества происходит за счет электрического взрыва тонкой проволоки, которая находится в самом

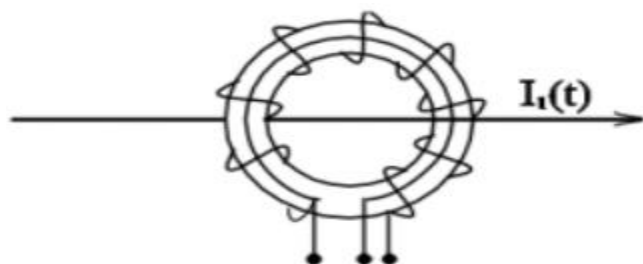


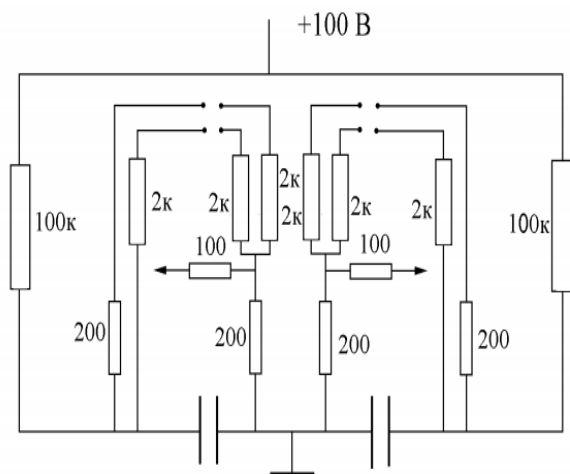
Рис. 6. Схема пояса Роговского

порошке тэна. На генераторе накапливается заряд и потом при запуске он инициирует детонацию в заряде взрывчатого вещества. Ток от генератора слишком велик для того, чтобы подключать его напрямую к

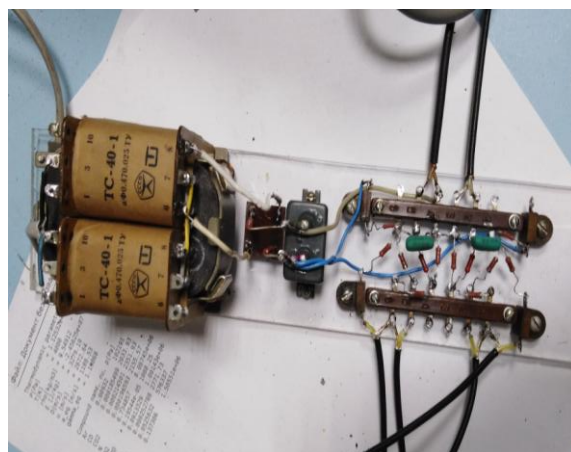
осциллографу для запуска, поэтому в данной работе используется пояс Роговского (рис. 6). Он обводится вокруг провода, по которому проходит импульсный ток на подрыв. Этот ток создает переменное поле, которое наводит ток уже в самом поясе Роговского. Этот ток используется для запуска осциллографа. Такая схема позволяет синхронизировать запуск осциллографа с детонацией заряда.

В результате детонации заряда возникает воздушная ударная волна в трубке, за фронтом которой образуются свободные заряды, следовательно, газ становится проводящим.

Как видно из представленной схемы (рис. 8, а), до замыкания датчиков, ток от напряжения на выходы осциллографа не идет. Но в момент замыкания, ток начинает идти по ветвям цепи, и на осциллографе фиксируется скачок напряжения, потом замыкается вторая ветвь на тот же выход. Для второго выхода на осциллограф процесс происходит аналогично, в результате чего фиксируется четыре скачка напряжения на двух каналах. Регистрирующая схема была собрана вручную.



а)



б)

Рис. 8. а) Схематичное изображение регистрирующей схемы; б) Фото регистрирующей схемы

На осциллографе были получены графики со скачками напряжения, что свидетельствует о том, что в этот момент через датчик прошла ударная волна. Измерив интервалы между сигналами, можно рассчитать скорость ударной волны. Было проведено несколько опытов, в каждом из которых изменялся диаметр выходных отверстий пробки, что позволяло регистрировать различные ударные волны.

2.3 Обработка данных

. Ниже приведены примеры осциллограмм и соответственные выводы скоростей ударных волн.

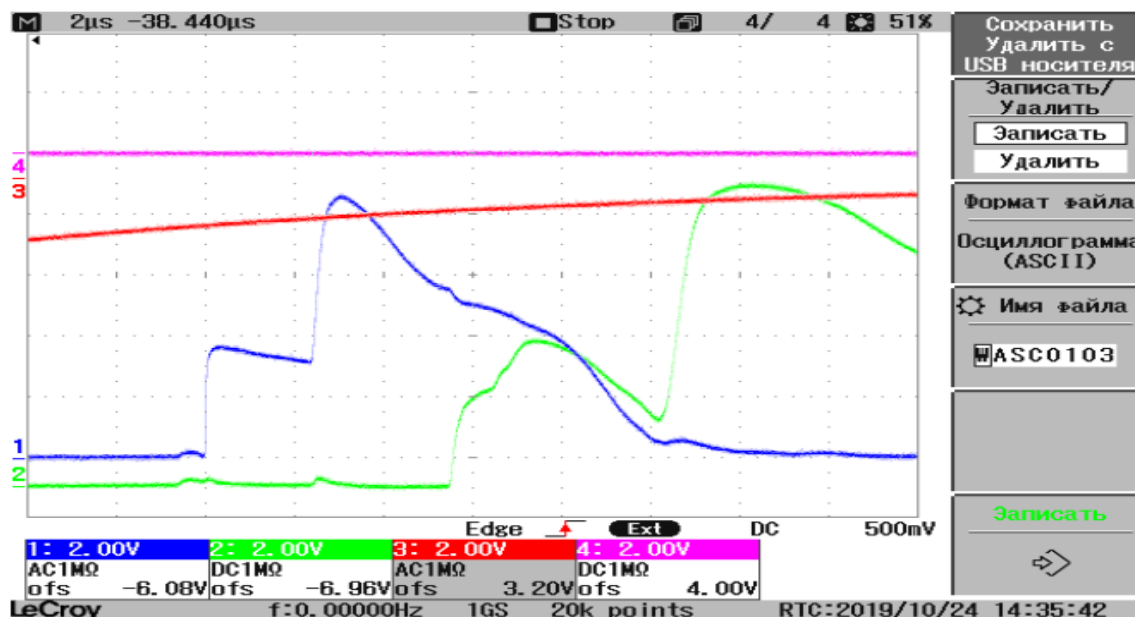


Рис. 9. Осциллограмма первого эксперимента

Обмер осциллограммы (рис. 9): интервалы 61, 78, 120 пикселей, при шкале 10 мкс = 501 пикселя. Времена соответственно 2.435, 3.114 и 4.798 мкс, скорости волны 4.106, 3.212, 2.088 мм/мкс. Детонатор вставлен в пробку с выходным диаметром 2.84 мм.

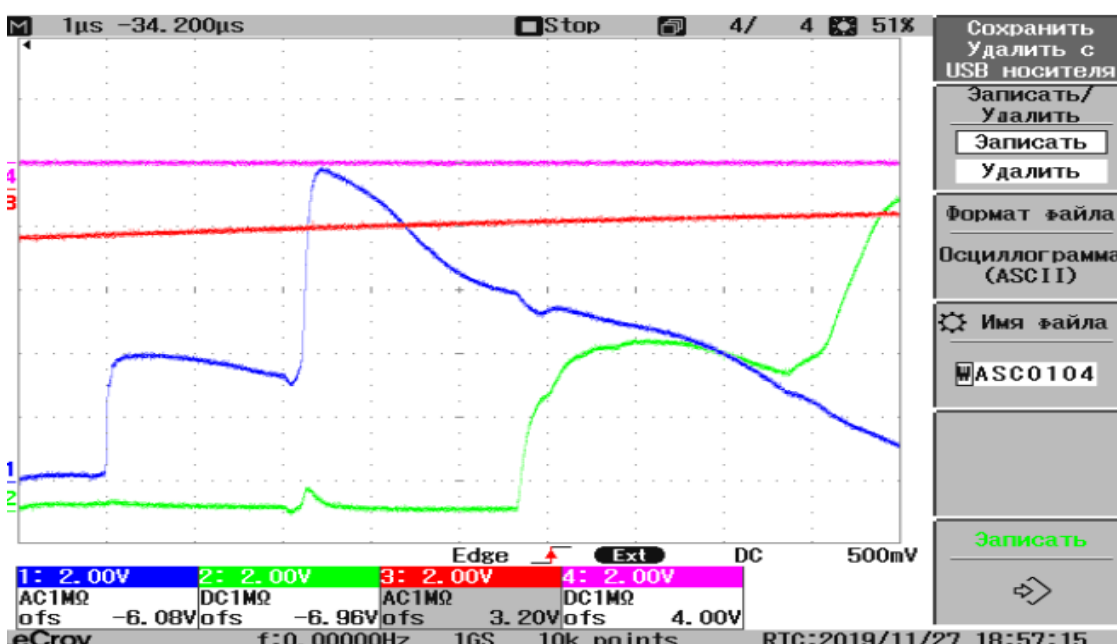


Рис. 10. Осциллограмма второго эксперимента

Обмер осциллограммы (рис. 10): интервалы 112, 124, 155 пикселей, при шкале 10 мкс = 501 пикселя. Времена соответственно 2.236, 2.475 и 3.094 мкс, скорости волны 4.473, 4.04, 3.232 мм/мкс. Детонатор вставлен в пробку с выходным диаметром 3.85 мм.

Из полученных графиков значений скоростей воздушной ударной волны от диаметра отверстия на определенных датчиках видно, что скорость воздушной ударной волны, двигающейся от первого датчика ко второму нестационарна. Но значения скоростей на вторых и на третьих датчиках уже отличаются мало, поэтому будем считать, что значение скорости на третьем датчике является установившейся.

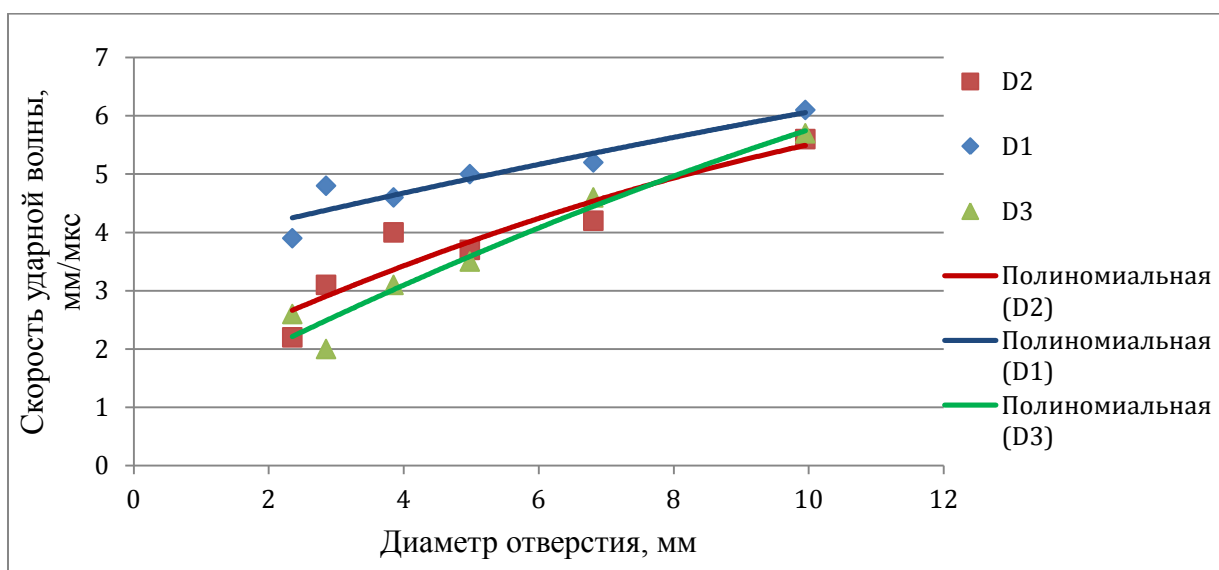


Рис. 11. Скорость ударных волн на датчиках

Получив скорости ударных волн из экспериментов и расчеты программы, можно уже судить о параметрах воздушной ударной волны. При каждой конкретной скорости, ударная волна имеет определенные параметры, которые отмечены на графиках зависимости давления, плотности и температуры воздушной ударной волны от ее скорости (рис. 12, рис. 13, рис. 14).

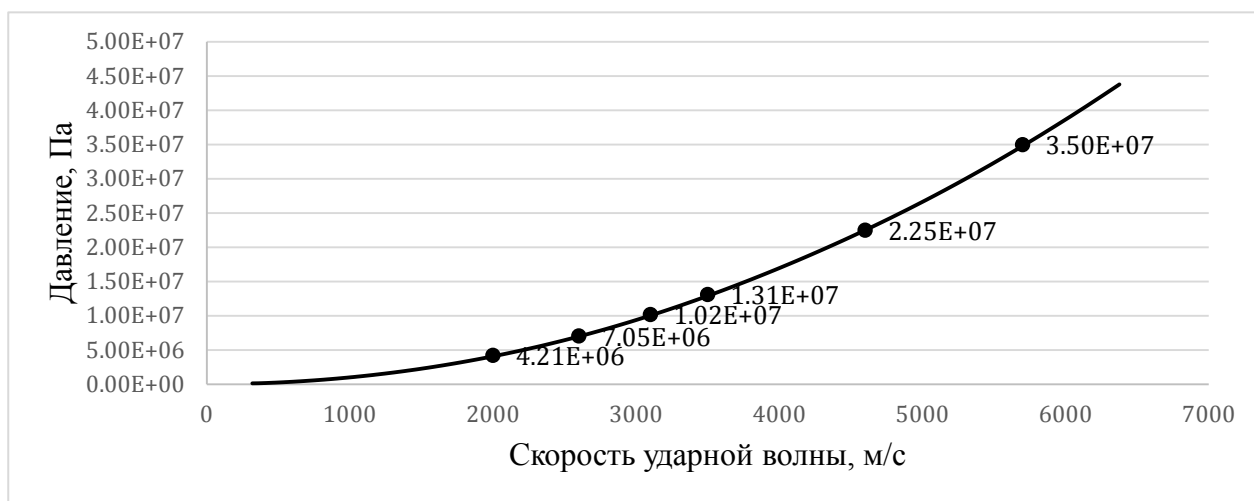


Рис. 13. Зависимость давления от скорости ударной волны

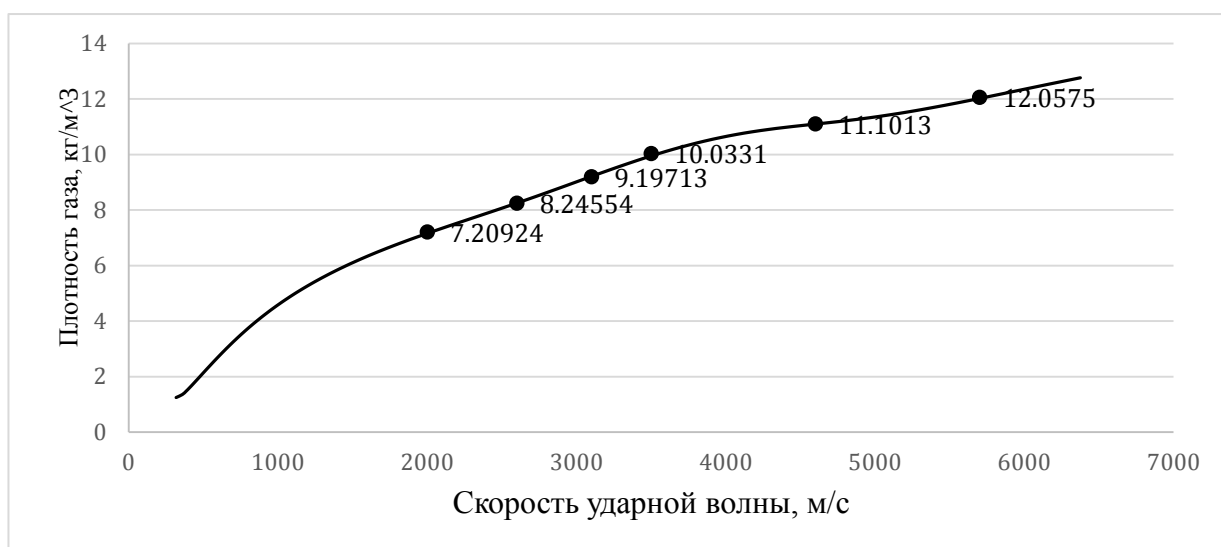


Рис. 14. Зависимость плотности от скорости ударной волны

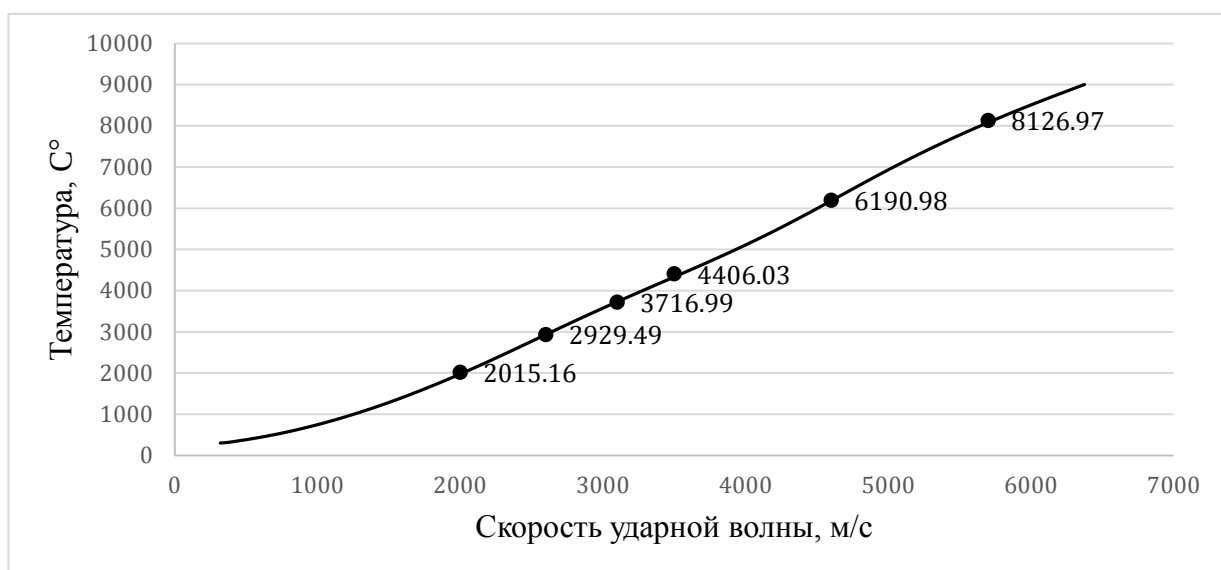


Рис. 15. Зависимость температуры от скорости ударной волны

Заключение

В ходе выполнения работы я ознакомился с методом регистрации и изучения воздушных ударных волн, так же была собрана схема, способная регистрировать прохождение воздушной ударной волны через электроконтактные датчики. В результате данной работы были определены основные параметры воздушной ударной волны такие как: скорость, давление, плотность и температура. Диапазон скорости фронта воздушной ударной волны от 2 до 5,7 мм/мкс, давления от $4,21 \cdot 10^6$ до $3,5 \cdot 10^7$ Па, плотности от 7,2 до $12,05 \text{ кг/м}^3$, температуры от 2015,6 до 8126,9 С°

Список используемой литературы

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: ГИ ТТЛ, 1950. 165 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учебное пособие в 10 т. Т. VI Гидродинамика. М: Наука, 1986. 736с.
3. <http://ancient.hydro.nsc.ru/chem/>