

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Плеханов Михаил Станиславович

КУРСОВАЯ РАБОТА

Быстрое измерение давления в установке ГОЛ-NB

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18312

Научный руководитель:

к. ф.-м. н. И. А. Иванов

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

к. ф.-м. н. Ю. Ю. Чопорова

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к. т. н. В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация

Целью работы являлось нахождение аппаратной функции отклика вакуумной лампы ПММ-46 (преобразователь магнитометрический) на идеальную модельную функцию давления. Для этой цели были синхронно измерены сигналы с трех ламп, расположенных на разном расстоянии от клапана впуска газа в вакуумную установку. Затем произведена аппроксимация полученных сигналов теоретическими функциями с переменными параметрами. Синхронность записи сигналов позволила провести аппроксимацию сразу для трех ламп, что увеличило точность результата. В качестве идеальной функции была выбрана дельта-функция в силу ее математической простоты и удобства в применении результатов эксперимента. В результате аппроксимации сигналов теоретическими функциями было получено временное разрешение лампы 800 ± 100 мкс. Полученное значение позволит повысить точность оценки результатов экспериментов с использованием ПММ-46.

Ключевые слова: быстрое измерение давления, аппаратная функция, ПММ-46, ГОЛ-NB.

Оглавление	
Введение.....	4
Глава 1. Теоретическая база и экспериментальная установка.....	5
1.1 Теоретическая функция распространения давления.....	5
1.2 Аппаратная функция и ее использование.....	6
1.3 Преобразователь магнитометрический ПММ-46.....	7
1.4 Установка ГОЛ-NB и монтаж лампы.....	8
Глава 2. Проведение эксперимента и обработка результатов.....	9
2.5 Установка третьей лампы.....	9
2.6 Регистрация откликов лампы на импульсный газонапуск.....	10
2.7 Аппроксимация сигналов теоретическими кривыми.....	11
Заключение	12
Список используемой литературы	13

Введение

На сегодняшний день в институте ядерной физики СО РАН ведется научная работа по обнаружению методов удержания плазмы в ограниченном пространстве для создания в будущем термоядерного реактора. Подобный реактор привлекателен доступностью используемого в нем топлива (изотопы водорода) и своей гипотетической энергетической выгодностью. В том числе такие работы ведутся и на установке ГОЛ-NB, расположенной в ИЯФ СО РАН.

Важной проблемой, возникающей в процессе проведения экспериментов, является то, что характерное время протекания процессов эксперимента бывает сравнимо с характерным временем реакции лампы на импульс давления. Из-за этого сигнал, получаемый с лампы, не является явным показателем давления, а представляет из себя свертку двух функций: давления в данной точке установки и отклика лампы на дельта-функцию давления. На установке ГОЛ-NB установлены три таких лампы на разных расстояниях от клапана впуска газа. Синхронизированная система впуска газа и собирания информации позволяет получать одновременные сигналы со всех трех ламп после впуска газа в установку. Это дало нам возможность с большей точностью произвести подгонку теоретических функций под реальный сигнал.

Целью данной работы является изучение и оценка функции отклика вакуумной лампы ПММ-46 на обобщенную функцию давления.

Для достижения поставленной цели нужно было решить следующие задачи:

- 1) Создать систему регистрации сигнала и питания для третьей лампы, которая не была изначально установлена.
- 2) Объективно оценить расстояние между клапаном и измеряющими давление лампами.
- 3) Провести запись сигналов с ламп при импульсном газонапуске.
- 4) По результату измерений оценить временное разрешение функции отклика лампы и коэффициент диффузии газа, который определяет функцию распространения давления.

Глава 1. Теоретическая база и экспериментальная установка

1.1. Теоретическая функция распространения давления

В данном эксперименте в качестве теоретической функции распространения давления была выбрана одномерная функция, подчиняющаяся второму закону Фика: $\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}$, где n – концентрация молекул, D – коэффициент диффузии. В приближении данного эксперимента мы считаем, что изначальная функция распределения давления имеет вид дельта-функции, а геометрическими особенностями установки пренебрегаем, считая что газ распространяется во всех направлениях беспрепятственно. Для таких начальных условий мы получаем функцию распределения вероятности, выведенную в курсе лекций по молекулярной физике на втором семестре: $W(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$. А из соотношения $W(x, t) = \frac{n(x, t)S}{N}$ следует зависимость давления от времени: $p(x, t) = \frac{N}{S} \frac{kT}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$, где k – постоянная Больцмана, T – температура, N – общее число молекул, S – сечение в плоскости уз. В нашем случае трудно оценить последние два параметра, поэтому они войдут в константу при аппроксимации и не повлияют на результаты эксперимента. Теоретическая функция будет иметь следующий вид (рис.1).

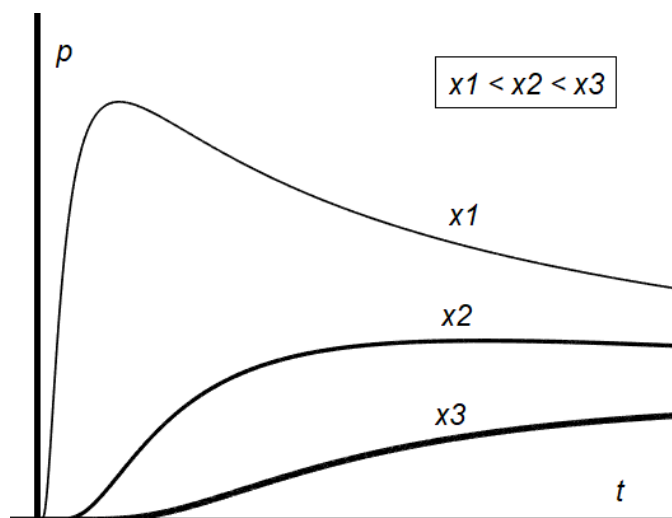


Рис. 1. Зависимость давления в фиксированной точке от времени.

1.2. Аппаратная функция и ее использование

Вид аппаратной функции лампы был выведен из теоретических соображений. В нулевом приближении отклик лампы на тета-функцию Хевисайда должен иметь вид функции ошибок (плавное нарастание от нуля и стремление к константе). Если взять производную от обеих данных функций, мы получаем что отклик лампы на дельта-функцию давления имеет вид функции Гаусса (рис. 2).

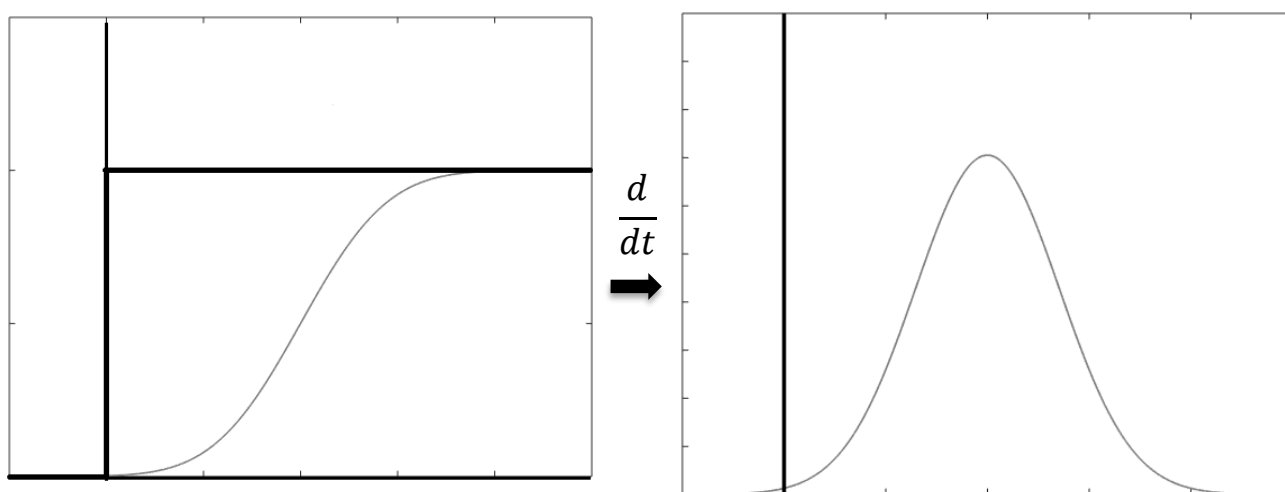


Рис. 2. Отклик лампы на: тета-функцию давления (слева), дельта-функцию давления (справа).

Тогда сигнал, получаемый нами в ходе эксперимента, должен представлять свертку функции реального давления в данной точке и аппаратной функции лампы: $R(t) = \int_0^t A(t') \times p(t-t') dt'$, где R – итоговая функция, A – аппаратная функция, p – функция давления. Используя этот факт также легко убедиться в том, что аппаратная функция имеет выбранный вид – свертка функции Хевисайда и Гаусса равняется функции ошибок, которую мы предположили в самом начале.

1.3. Преобразователь магнитометрический ПММ-46

На установке ГОЛ-NB для измерения давления используются преобразователи инверсно-магнетронного типа ПММ-46 (рис 3).

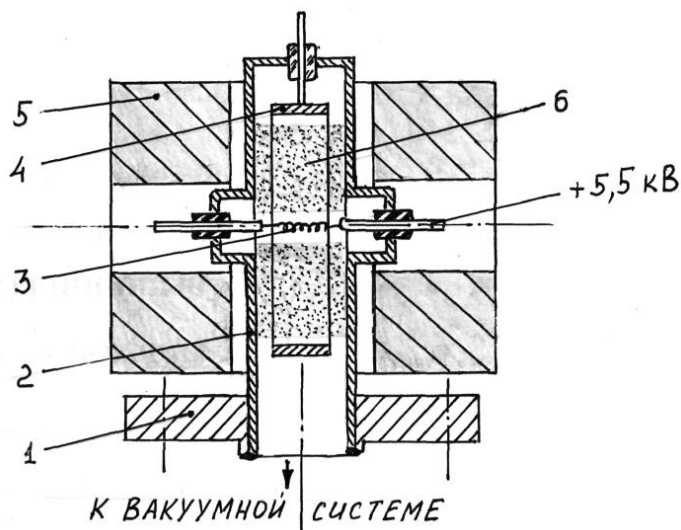


Рис. 3. Схема ПММ-46:

- 1 – присоединительный фланец;
- 2 – корпус преобразователя из немагнитной стали;
- 3 – нитевидный анод;
- 4 – полый цилиндрический катод;
- 5 – съемный постоянный магнит;
- 6 – разрядный промежуток

Разрядный промежуток ПММ-46 (далее – лампа) образован осевым нитевидным анодом, окружающим его цилиндрическим катодом и крышками, закрывающими торцы катодного цилиндра и ограничивающими разрядный промежуток в осевом направлении. Эта система помещена в осевое магнитное поле с индукцией $0,18 \pm 0,005$ Тл.

На анод подается напряжение 5,5 кВ, катод соединен со входом усилителя и находится под нулевым потенциалом. Таким образом, в разрядном промежутке преобразователя образуется радиальное электрическое поле.

Под действием пересекающихся электрического и магнитного полей свободные электроны, образующиеся в результате какого-нибудь первичного акта, начинают двигаться по замкнутым траекториям. Движение в направлении к аноду, а следовательно, и попадание на анод происходит только в результате их столкновения с молекулами газа. Торцевые крышки препятствуют выходу электронов в осевом направлении. Таким образом, возникает большая вероятность ионизации газа.

Образовавшиеся ионы двигаются к катоду, а электроны, вращаясь вокруг анода, в свою очередь, производят ионизацию. В манометрическом

преобразователе происходит самостоятельный газовый разряд, который существует при весьма низких давлениях - от 10^{-1} до 10^{-11} Па. По величине разрядного тока можно судить о давлении газа.

Лампа подсоединяется к установке фланцевым методом.

1.4. Установка ГОЛ-NB и монтаж ламп

В данном эксперименте из всей конструкции установки нам была важна только ее геометрическая конструкция, размеры и места присоединения ламп.

Установка представляет из себя две бочки, соединенные трубой, предназначенной для удержания плазмы. На приведенном чертеже обозначены места крепления ламп и расположение клапана газонапуска (рис. 4).

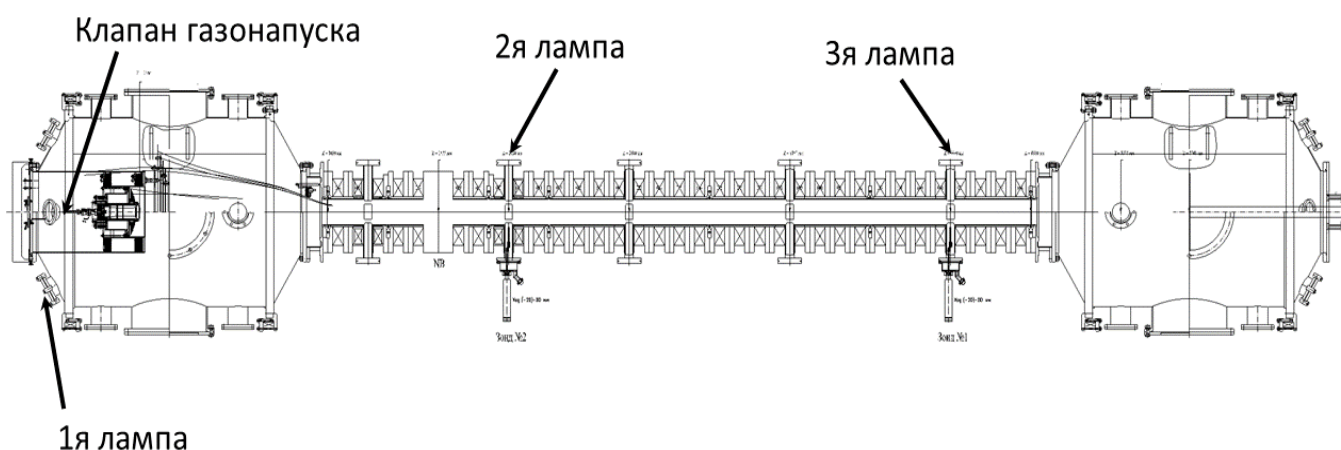


Рис. 4. Схема установки ГОЛ-NB

Клапан газонапуска подведен к центру левой бочки с ее торца.

Измерения расстояний до ламп проводилось в программе AutoCad, в которой создан данный чертеж. При измерении расстояний был измерен кратчайший путь от клапана впуска газа до фланцев, к которым крепились лампы. Также учитывалась разная длина патрубков, к которым крепились вторая и третья лампы. Были получены следующие значения расстояний: первая лампа – 1,1м, вторая – 2,6м, третья – 5,3м.

Глава 2. Проведение эксперимента и обработка результатов

2.1. Установка третьей лампы

Для повышения точности эксперимента было принято решение установить третью лампу на расстоянии 5,3м от клапана впуска. Для этого была собрана соответствующая схема (рис. 5).

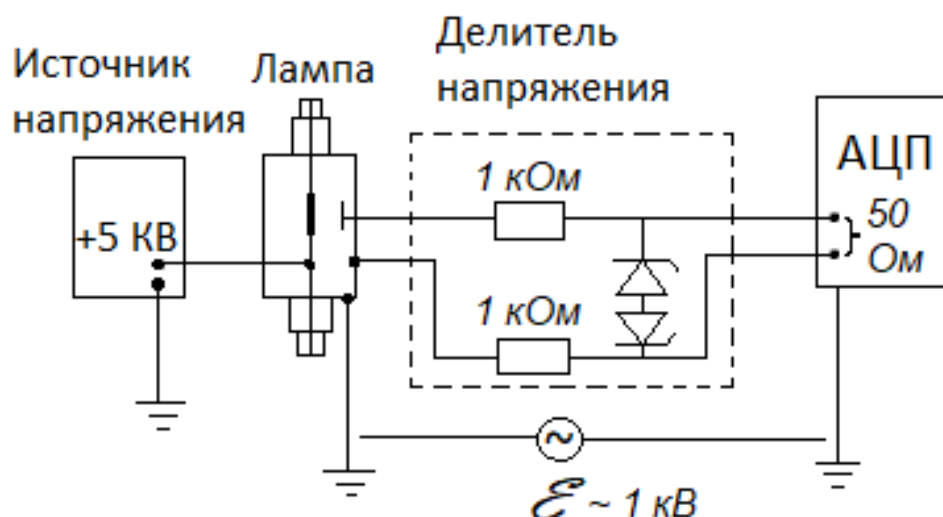


Рис. 5. Схема подключения

Делитель напряжения был спаян на плате и добавлен для предотвращения повреждения АЦП. Защитный диод на 9,1 В предотвращает появления на входах АЦП напряжения выше 9,1В. А два резистора по 1кОм предотвращают протекание сильного тока в АЦП. Нижний резистор добавлен потому, что лампа и АЦП заземлены далеко друг от друга, и во время других экспериментов с плазмой на лампе, которая заземлена со всей установкой, могут возникать скачки ЭДС величиной до 1кВ. А верхний резистор предотвращает протекание высокого тока в случае замыкания источника питания на землю через лампу.

2.2. Регистрация сигналов с ламп при импульсном газонапуске

Обработка данных и построение графиков производилось с помощью студенческой версии программы MATLAB. При импульсном газонапуске были получены следующие сигналы (рис. 6).

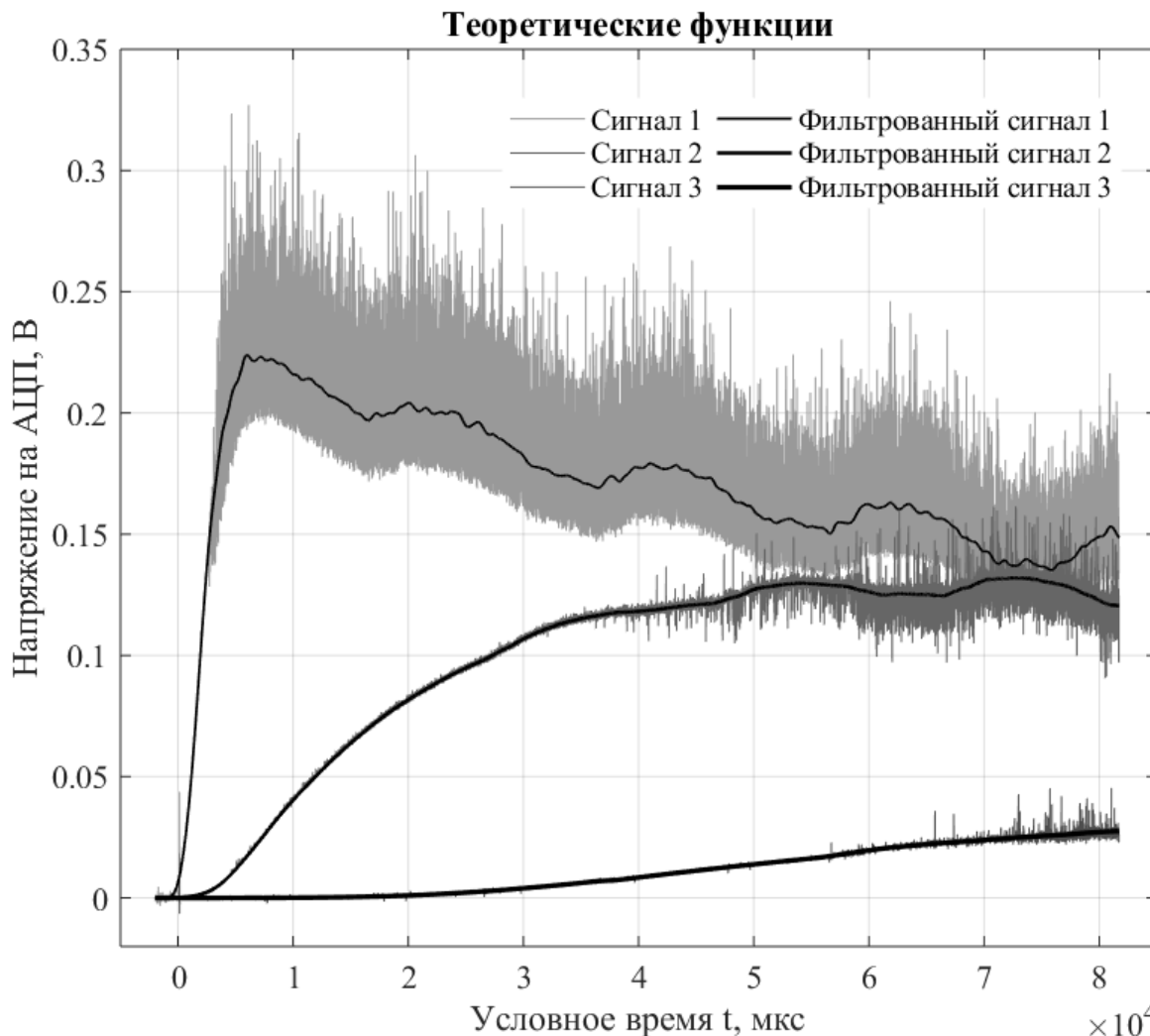


Рис. 6. Чистые и фильтрованные сигналы с трех ламп при импульсном газонапуске.

Время на графике имеет реальный масштаб, но названо условным. Это сделано потому, что ноль этого времени считается моментом срабатывания клапана газонапуска, но не совпадает с реальным моментом срабатывания клапана. Шумы, видимые на графике отражают внутренние плазменные процессы, которые не являются целью исследования и которые мы намеренно опускаем из рассмотрения путем фильтрации сигналов. Сигналы были очищены от шумов с помощью инструмента `sgolayfilt` (фильтр Савицкого-Голея, метод скользящего среднего).

2.3. Аппроксимация сигналов теоретическими кривыми

При аппроксимации теоретическими кривыми в качестве изменяемых использовались следующие параметры: время срабатывания клапана - t_0 , сигма аппаратной функции лампы - σ и коэффициент диффузии газа - D . Каждый из изменяемых параметров разным образом влиял на вид теоретической кривой поэтому количество сигналов оказалось важным, и позволило сузить диапазон допустимых значений параметров. Также полученные сигналы умножались на произвольный коэффициент, приближающий их к теоретическим кривым. Это было сделано по той причине, что чувствительности ламп могут различаться.

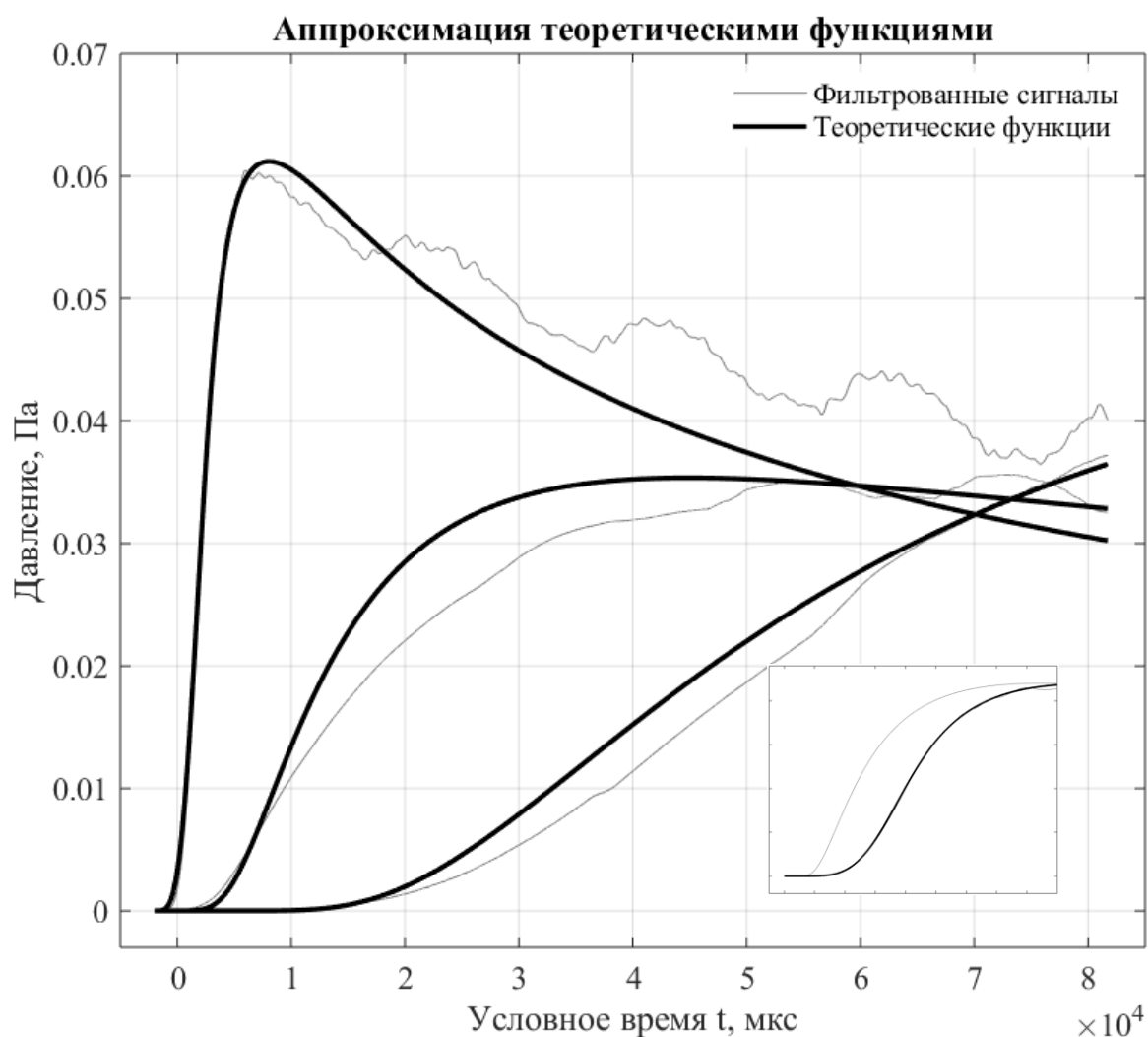


Рис 7. Подгонка теоретическими функциями. В углу изображена область возрастания теоретической функции для первой лампы и ее свертка с аппаратной для наглядности влияния операции свертки. Сигнал и функция, соответствующие

При аппроксимации были поставлены и выполнены следующие задачи:

- добиться наилучшего совпадения фронта теоретической функции для первой лампы с фронтом соответствующего сигнала;
- добиться наилучшего совпадения стартовых точек возрастания теоретических функций для всех ламп с соответствующими точками сигналов;
- добиться наилучшего совпадения конечных амплитуд теоретических функций второй и третьей ламп с соответствующими амплитудами сигналов, так как сигналы с данных ламп наименее подвержены влиянию пространственных ограничений.

Как видно на графике (рис. 8), конечная амплитуда теоретической функции для первой лампы превышает соответствующий сигнал. Данное расхождение вызвано тем, что труба, подсоединенная к бочке (рис. 4) создает аэродинамическое сопротивление для вытекающего из бочки газа. Также видно, что фронты теоретических кривых для второй и третьей лампы гораздо круче фронтов реальных сигналов. Это вызвано тем, что центральная труба установки (рис.4) имеет множество патрубков, которые “забирают” энергию у фронта распространяющегося газа и “зарезают” фронты соответствующих сигналов.

Наилучшая аппроксимация была достигнута при следующих значениях переменных величин: коэффициент диффузии водорода: $D = 73 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, сигма аппаратной функции лампы: $\sigma = 0,8\text{мс}$, время срабатывания клапана: $t_0 = -2\text{мс}$.

Заключение

В результате выполнения данной работы были получены следующие результаты:

- 1) Введена в эксплуатацию третья лампа.
- 2) Произведена оценка временного разрешения вакуумной лампы ПММ-46.
- 3) Получен коэффициент диффузии водорода.
- 4) Получено реальное время срабатывания клапана газонапуска в системе записи АЦП.

Список используемой литературы

1. Дзюба С. А. Лекции по молекулярной физике [Электронный ресурс]. - http://hf.nsu.ru/image/lectures_2019_8-10.pdf
2. Плотников Ю. Д. Манометрические преобразователи: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Вакуумная техника» [Текст]: методическое пособие / Ю. Д. Плотников. - М.: МГИЭМ, 2004 г. - 16 с.
3. Преобразователи манометрические ПММ-46, ПММ-46а. Техническое описание и инструкция по эксплуатации «3.472.008 ТО» [Текст]: эксплуатационный документ/ - 10 с.