Направление Естественнонаучное

**ТЕПЛОВАЯ ТРУБКА РЫБКИ ПОНЬО**

Каучакова Марина

учащаяся 11 класса

ГБ НОУ «Лицей №84 им. В. А. Власова», Новокузнецкий городской округ

Научный руководитель:

Талабира О. И.

учитель высшей

квалификационной категории

ГБНОУ «Лицей № 84 им. В.А. Власова»

г. Новокузнецк

Новокузнецкий округ, 2023

**Оглавление**

[Введение 3](#_Toc65102655)

[Описание экспериментальной установки 4](#_Toc65102657)

[Качественное объяснение: почему наблюдаются колебания воды и пузырьков пара?..........................................................................................................................](#_Toc65102658)5

[Факторы, влияющие на наблюдаемость явления](#_Toc65102658) 6

[Наблюдение явления и анализ видео в PASCO CAPSTONE](#_Toc65102658) 7

[Математическая модель](#_Toc65102659) 8

[Экспериментальная часть](#_Toc65102660) 9

[Выводы](#_Toc65102662) 11

[Литература](#_Toc65102663) 12

# **Введение**

Среди задач IPYT-2023 есть задача «Тепловая трубка рыбки Поньо»: Заполните стеклянную трубку с закрытым верхним концом водой и установите вертикально, погрузив нижний конец в ёмкость с водой. Нагревайте короткий участок трубки. Исследуйте и объясните периодические движения воды и наблюдаемых пузырьков пара.

Название задание получило по мультфильму "Рыбка Поньо на утёсе", в котором герои плыли на кораблике, двигатель которого тоже состоял из нагреваемой трубки с водой.

Я заинтересовалась этим явлением и решила рассмотреть его подробнее.

**Объект исследования:** пульсирующая тепловая трубка.

**Предмет исследования:** периодические движения воды и пузырьков пара в тепловой трубке.

**Актуальность и новизна работы.** При нагревании короткого участка вертикальной трубки за счёт парообразования в нагреваемом объёме можно наблюдать образование пузыря воздуха, его рост, всплытие и последующие схлапывание. Данная установка служит примером релаксационного осциллятора. Для решения данной задачи использовалось методы физического наблюдения, эксперимента, трассировка движения в программе PASCO CAPSTONE

**Цель работы:** Исследовать периодические движения воды и пузырьков пара в пульсирующей тепловой трубке.

**Задачи работы:** Исследовать причины периодических движений воды и наблюдаемых пузырьков пара в пульсирующей тепловой трубке и установить параметры, характеризующее данное движение.

# **Описание экспериментальной установки**

Наша установка для исследования колебаний воды и пузырьков пара, наблюдаемых в пульсирующей тепловой трубке состоит из следующих частей:

1. Ёмкость с водой: кювета, в неё погружается открытый конец трубки.
2. Пробирка: длинная стеклянная трубка, закрытая с одного конца, заполнена водой. Диаметры трубок: 0,85 см – 1,5 см, длина: 10-50 см.
3. Нагревательный элемент: спираль из фехраля (Х23Ю5Т), обмотана вокруг пробирки, с её помощью нагревается короткий участок трубки.
4. Источник тока: выпрямитель, подключён к спирали, с его помощью регулируется подаваемое на спираль напряжение, которое определяет температуру нагрева.
5. Вольтметр, амперметр, термометр: мультиметр, для параметрического исследования.

Весь процесс записывался на скоростную камеру для последующей обработке.

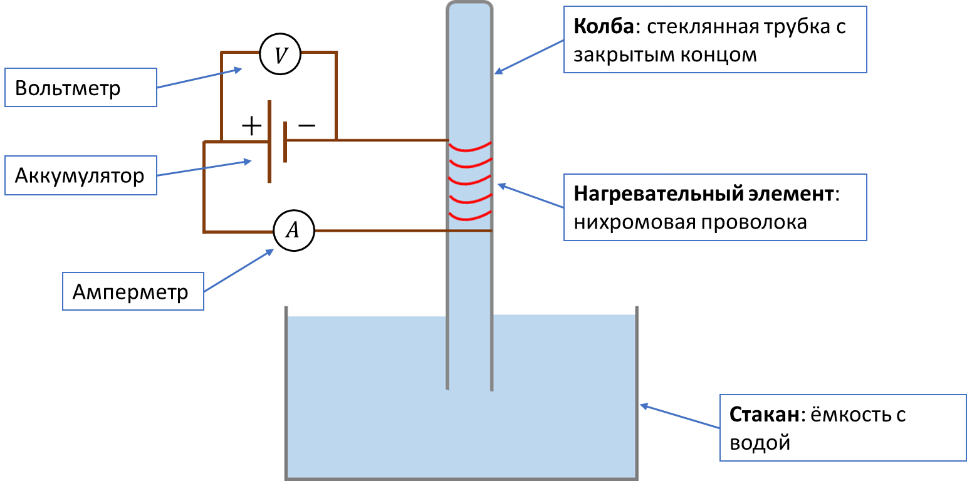
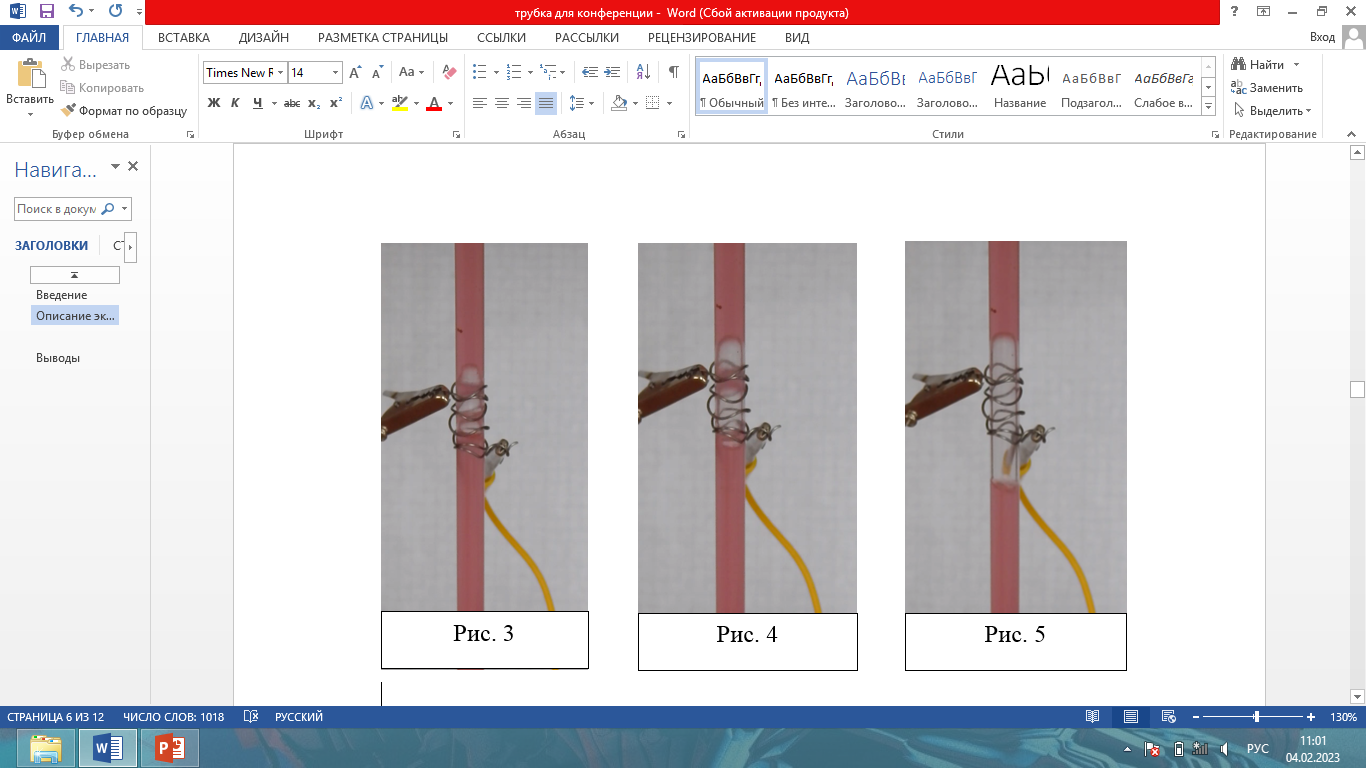
****

Рис. 1

Рис. 2

**Качественное объяснение: почему наблюдаются колебания воды и пузырьков пара?**

В результате нагревания спирали и короткого участка пробирки происходит кипение воды в нагреваемом участке. Образуются пузырьки пара. Поскольку продолжается подвод тепла, образуется один большой пузырь за счёт слияния множества пузырьков в один большой и увеличение пузыря в размерах в результате испарения воды в пузырь. Когда пузырь достигает достаточно больших размеров под действием выталкивающей силы он начинает всплывать. Действие сил гидростатического давления воды над пузырём и сил вязкого трения «тормозит» движение пузыря. В течение всего движения происходит увеличение размера пузыря. Таким образом, пузырь быстро растёт вниз, выталкивая воду и медленно всплывает. Расширяясь вниз, пузырь соприкасается с относительно холодными слоями, происходит конденсация пара в пузырьке, он схлопывается и исчезает. Высвобождается энергия, наблюдается кавитация и пульсация системы, из-за выталкивания воды при росте пузыря. Система возвращается в первоначальное положение и готова к следующему колебанию. Наблюдение явления: образование маленьких пузырьков (рис 3), слияние пузырьков в один и образование одного пузыря (рис.4), движение и расширение одного большого пузыря (рис.5)

**Факторы, влияющие на наблюдаемость явления**

1. Наличие центров парообразования в жидкости. Для начала кипения в жидкости должны иметь центры парообразования:

* Растворенный в жидкости газ и воздух: (образуется при переливании жидкости) для дистиллированной воды будет наблюдаться не так явно
* Адсорбированный на стенках сосуда газ
* Примеси во всём объёме жидкости

2. Расстояние нагревателя до запаянного конца и толщина нагреваемого слоя: чем ближе спираль к запаянному концу, тем большую массу воды будет «толкать» пузырёк и тем амплитуда колебаний будет меньше и явление может не наблюдаться (рис.6)

3. Температура проволоки: При увеличении подаваемого на проволоку напряжения, происходит увеличение температуры самой проволоки и тепловой мощности, передаваемой системе вода-пробирка-пузырёк.

Наблюдается увеличении амплитуды колебаний и уменьшение периода колебаний.

4. Движение потоков: при расширении пузыря вода выходит из пробирки, при схлопывании пузыря на его место заходит холодная вода, вода заходит в пробирку.

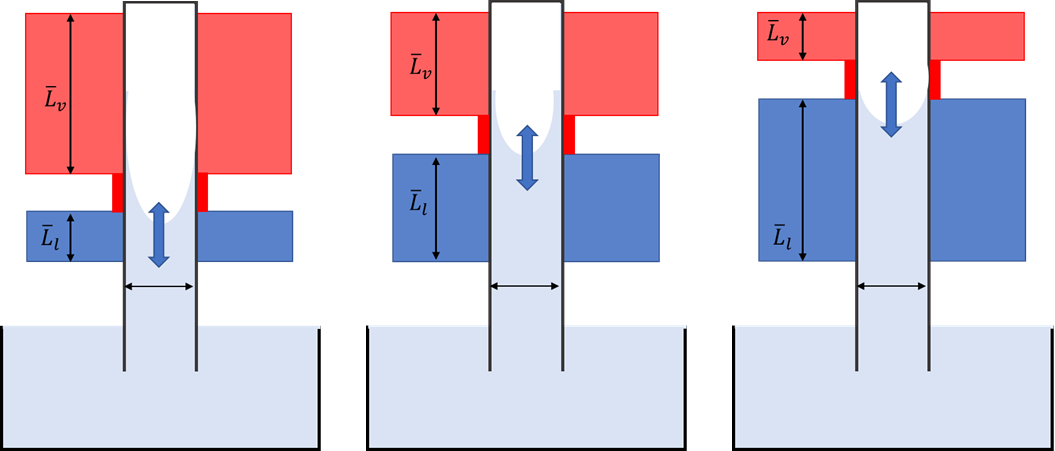
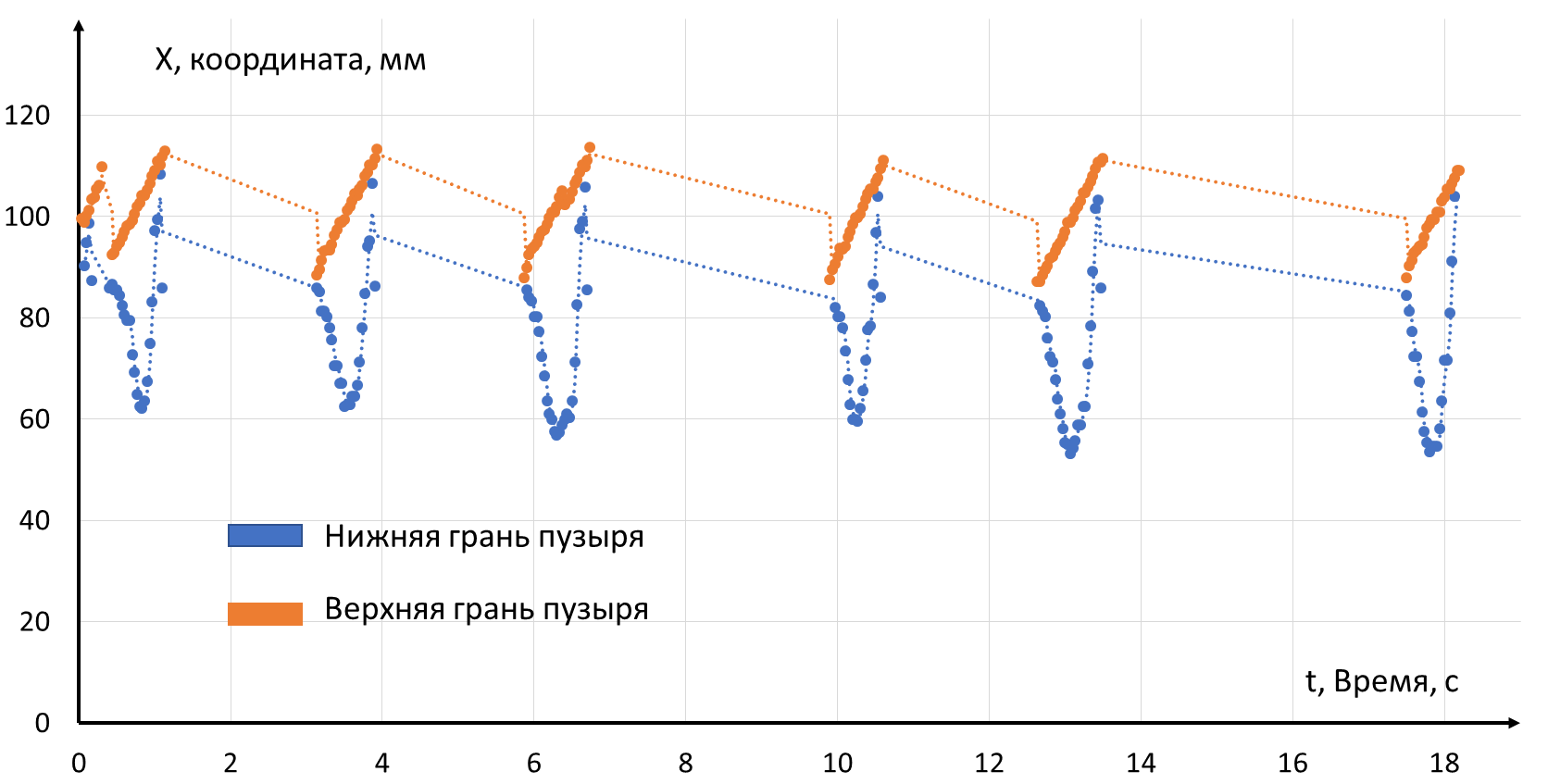
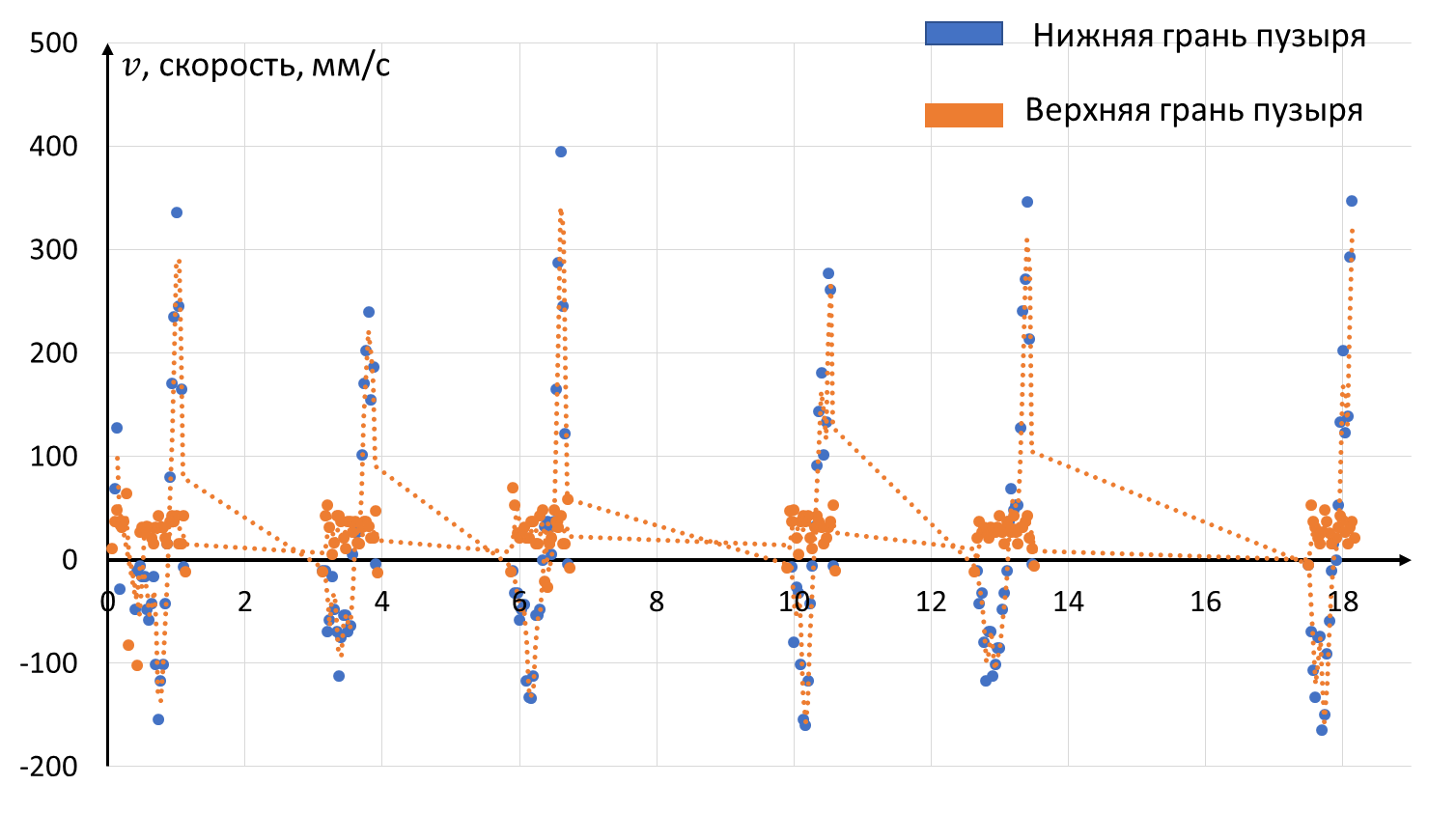


Рис. 6

**Наблюдение явления и анализ движения пузыря в PASCO CAPSTONE**

На основе анализа данных видео можно сделать вывод о том, что на движение пузырьков пара – колебания, которые в пределах нескольких образованных пузырьков (3-4) можно считать постоянной, однако в дальнейшем период уменьшается, поскольку вода сверху пробирки нагревается, изменяется температура воды сверху пузыря, за счёт конвекционных потоков и высвобождения энергии при схлопывании пузыря.



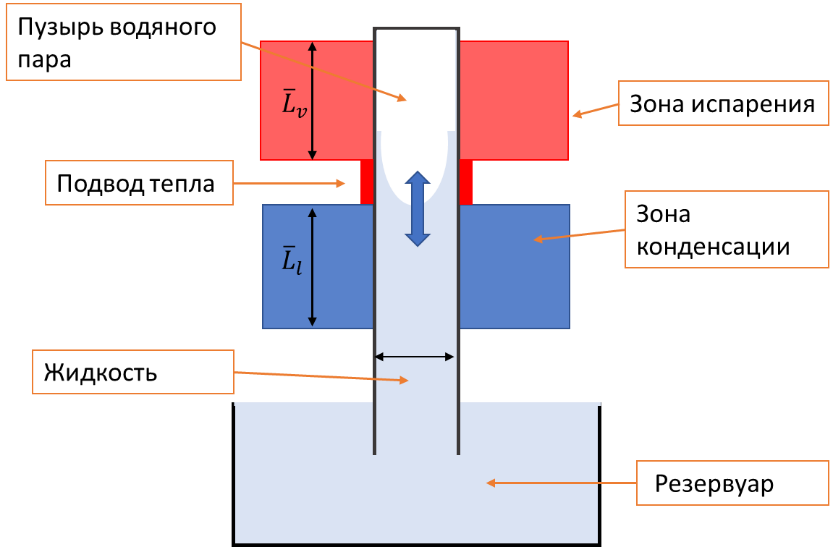
**Математическая модель**

Условно математическую модель можно разделить на 2 блока, относительно принципиальных различий наблюдаемого явления. Первая **математическая модель для некапиллярных трубок**:

На основе изученных нами статей, можно записать уравнение динамики для столбика жидкости:

На него действуют сила тяжести, поверхностного натяжения, вязкого трения и сила давления со стороны пузырька пара.

Откуда можно найти результирующую силу, с которой вода выталкивается из трубки:

На основе материалов данной статьи можно получить формулу для частоты собственных колебаний столба жидкости:

-плотность жидкости,

-индекс адиабаты

-ускорение свободного падения,

-средняя длина столба жидкости, м

-средняя длина столба водяного пара, м

-давление в резервуаре-атмосферное, Па

Вторая **математическая модель для капиллярных трубок:**

Запишем уравнение динамики для пузырька пара, пузырь с некоторым ускорением движется вверх, на него действует сила давления пара внутри пузырька, сила давления Лапласа (давление под искривлённой поверхностью), сила внешнего давления (атмосферного и гидростатического) и сила вязкого трения при движении пузырька:

Поскольку водяной пар не является идеальным газом, записать уравнение Менделеева-Клапейрона было бы не корректно. Воспользуемся уравнением Ван-дер-Ваальса для реального газа:

Можем рассчитать объём пара, который складывается из начального объема воздуха, растворённого в воде и выпаренного объёма воды. Подставив данное уравнение в динамическое уравнение можем получить уравнение для массы пара:

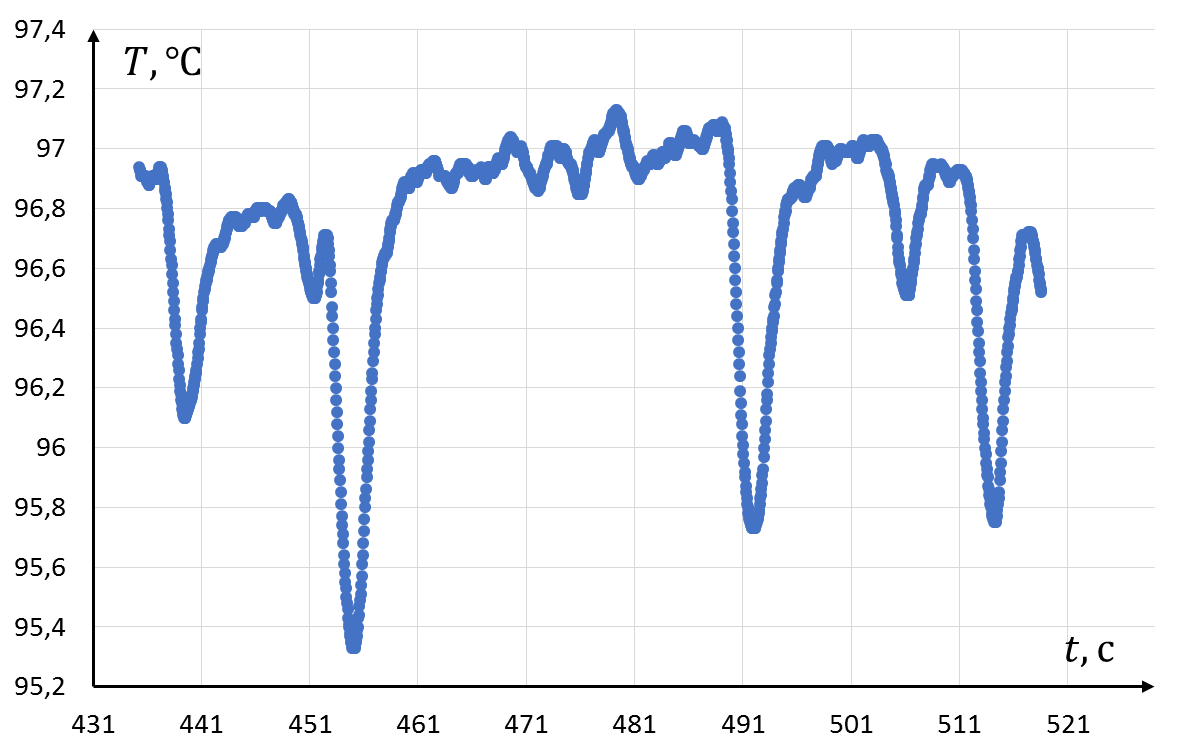
Уравнение теплового баланса воды и пара: нагревание воды и пара, испарение воды и конденсация пара, теплопередача вода- пар, работа пара при расширении, тепловые потери.

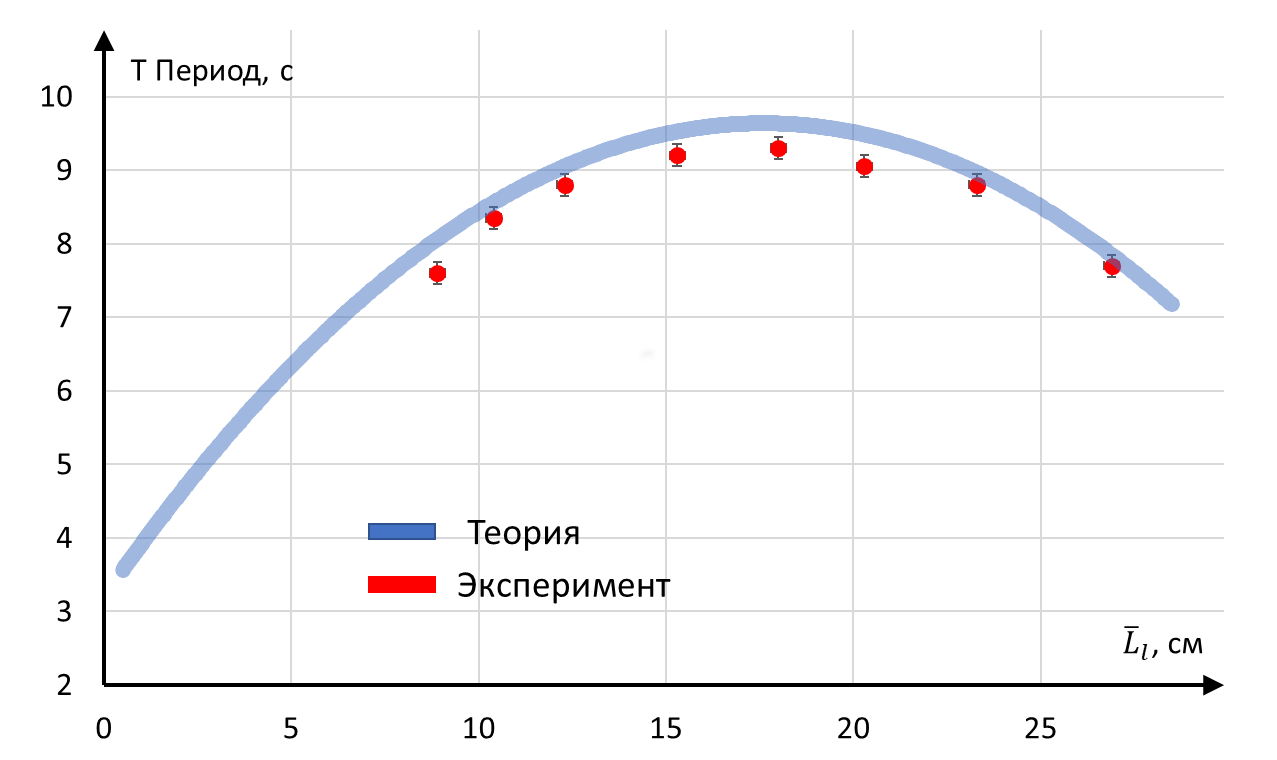
- для пара

– для воды

**Проверка экспериментальных зависимостей**

1. Карта температуры: зависимость температуры пара в пузыре от времени

****

2. Зависимость периода колебаний пузырька пара от расстояния от запаянного конца до нагревательного элемента

3. Оценка результирующей силы, с которой вода «выталкивается» из трубки

–выталкивающая сила

– давление пара в пузырьке

– Теоретический расчёт

- Практический расчёт на основе вытесненной воды

- давление пара в пузырьке, Па

- результирующее давление на открытый конец трубки, Па

– диаметр трубки, м

- температура пара в пузырьке, К

- масса пара в пузырьке, кг

- среднее значение длины пузырька, м

**Выводы**

Качественное объяснение: кипение воды в области нагревания, движение пузырька, его схлопывание.

Построена математическую модель определяющая частоту колебания пузырька воздуха на основе дифференциального решения динамического уравнения. Установлено, что частота колебаний зависит от:

* Параметров жидкости: вид жидкости, наличие примесей, плотность, вязкость, температура
* Длины трубки и соотношения длин трубы ниже и выше точек нагревания
* Количества теплоты, поступающей к системе и отводящейся от неё

Исследованы зависимости температуры нагревания проволоки от времени и устоявшейся температуры спирали от силы тока, протекающего через неё.

В дальнейшем планируется продолжить параметрическое исследование задачи, а также рассмотреть другие моды колебаний и нелинейные случае задачи.

**Литература**

1. S. Khandekar, P. Charoensawan, M. Groll, P. Terdtoon, Closed loop pulsating heat pipes part b: visualization and semi-empirical modeling, Appl. Therm. Eng. 23 (2003) 2021–2033, http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00168-6.
2. S. Rittidech, P. Terdtoon, M. Murakami, P. Kamonpet, W. Jompakdee, Correlation to predict heat transfer characteristics of a closed-end oscillating heat pipe at normal operating condition, Appl. Therm. Eng. 23 (2003) 497–510, http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00215-6.
3. T. Katpradit, T. Wongratanaphisan, P. Terdtoon, P. Kamonpet, A. Polchai, A. Akbarzadeh, Correlation to predict heat transfer characteristics of a closed end oscillating heat pipe at critical state, Appl. Therm. Eng. 25 (2005) 2138–2151, http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.01.009.