

3. Ученые нашли способ повысить эффективность солнечных батарей из перовскита [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka/66219/> – Дата доступа: 05.05.2025.

4. Новейшие технологии солнечных элементов и модулей/ Каргиев В.М. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/modern-solar-cells.htm> – Дата доступа: 05.05.2024.

5. Создание наноструктурированной поверхности кремния методом селективного химического травления/ А.Б. Сагындыков [и др.]// Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 11, С.1673–1676. https://www.researchgate.net/profile/Kh-Abdullin/publication/320519580_Sozdanie_nanostrukturirovannoj_poverhnosti_kremnia_metodom_selektivnogo_himiceskogo_travlenia/links/5aa6a2bdaca27291845fe60d/Sozdanie-nanostrukturirovannoj-poverhnosti-kremnia-metodom-selektivnogo-himiceskogo-travlenia.pdf .

УДК 53.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В НЕПРОЗРАЧНОЙ ТРУБЕ БЕЗ МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ ВНУТРЬ НЕЁ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ

Булахов Ф. К.

Научный руководитель – Блинкова Н. Г., к.ф.-м.н., доцент

В данной работе предлагается метод регистрации и определения направления течения жидкости в непрозрачной трубе без механического проникновения внутрь неё. Данная тема актуальна в сфере жилищно-коммунальных услуг, промышленности и гидроэнергетики в связи с повсеместной цифровизацией производств. Цель работы – проверка эффективности метода в лабораторных условиях, нахождение оптимальных параметров компонентов для достижения максимальной эффективности метода.

Принцип работы теплового метода.

Рассмотрим трубку, заполненную водой, находящейся в состоянии покоя (рис. 1). Нагреем (или охладим) небольшой участок трубки и установим датчики температуры на границах прогретого (охлаждённого) участка, при этом создадим условия равенства температур датчиков. Если вода начнёт течь по трубе в направлении датчика В, то этот датчик под действием температуры воды будет подвергаться нагреву (охлаждению), а датчик А –

наоборот, охлаждаться (нагреваться) за счёт прибывающих порций воды из трубы. Таким образом возникнет разность температур датчиков. Зафиксировав перепад температуры и идентифицировав среагировавший датчик, можно однозначно установить факт течения и его направление.

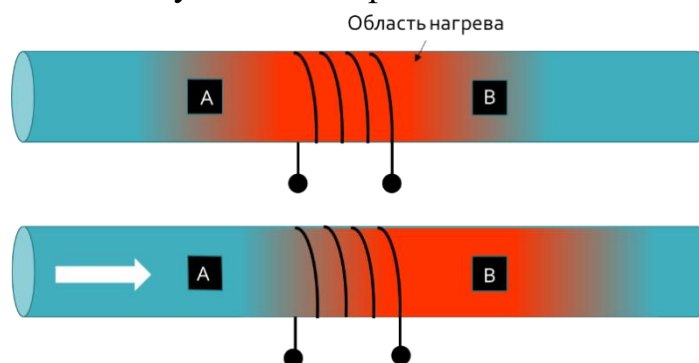


Рис.1. Принцип действия теплового метода.

Термисторы сопротивления.

В качестве датчиков будут использоваться термисторы сопротивления с крутизной характеристики $B = 4000 \text{ К}$. Исходя из графика зависимости (рис. 2), увеличение температуры таких резисторов на 1°C приводит к уменьшению сопротивления на 5%.

Мост Уитстона.

Для определения изменения разности температур термисторов мной была использована электрическая схема, носящая название «Мост Уитстона» (рис. 3). Схема была предложена в 1833 г. Самюэлем Хантером Кристи, усовершенствована в 1843 г. Чарльзом Уитстоном, после чего и получила своё название. Она представляет собой ромб из четырёх резисторов сопротивления. В одну диагональ включен источник тока, в другую – чувствительный прибор, измеряющий напряжение или ток. Если напряжение между крайними узлами внутренней диагонали равно нулю, то мост считается сбалансированным. Условие балансировки моста выражается как равенство отношений сопротивлений: $R_1/R_2 = R_3/R_4$. Для балансировки моста в системе присутствует переменное сопротивление R_2 , изменяя которое можно добиться нулевого

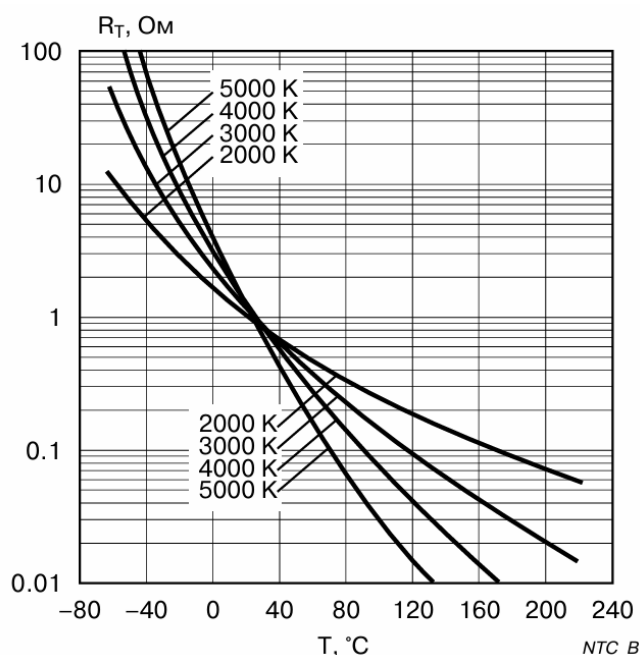


Рис. 2. Типовая зависимость сопротивления термистора от его температуры при различных значениях параметра B .

тока (напряжения) через измерительный прибор. В практической схеме термисторы А и В будут выполнять функцию резисторов 3 и 4. Они должны быть включены таким образом, чтобы уменьшение сопротивления одного и увеличение сопротивления другого приводили к максимальной разбалансировке моста. Существует также модификация моста Уитстона, в которой пара сопротивлений 1-2 выполнена в виде реостата с тремя клеммами.

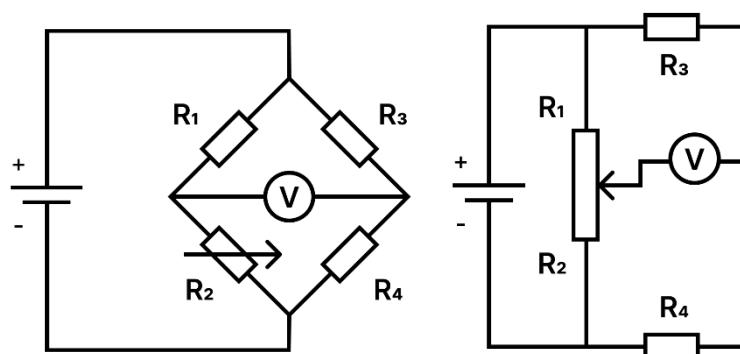


Рис.3 а, б. Мост Уитстона.

а (слева) – классическая вариация, б (справа) – с использованием реостата

Практическое применение моста Уитстона в заданных условиях.

Течение в трубке можно зафиксировать, если показания мультиметра в схеме начнут по модулю расти. Направление течения определяется по знаку показаний милливольтметра: в собранной установке (рис. 4, 5)

отрицательные значения свидетельствуют о течении от термистора А к термистору В. При течении в обратном направлении знак поменяется на противоположный. Измерения немного осложняет дрейф нуля моста Уитстона. Он возникает из-за конвекционных потоков и неоднородности температуры в лаборатории и характеризуется некоторой шириной $\Delta U_{\text{моста}}$. Чтобы корректно зафиксировать факт течения, необходимо убедиться, что разбалансировка моста, вызванная изменением температуры термисторов, больше обычного дрейфа моста.

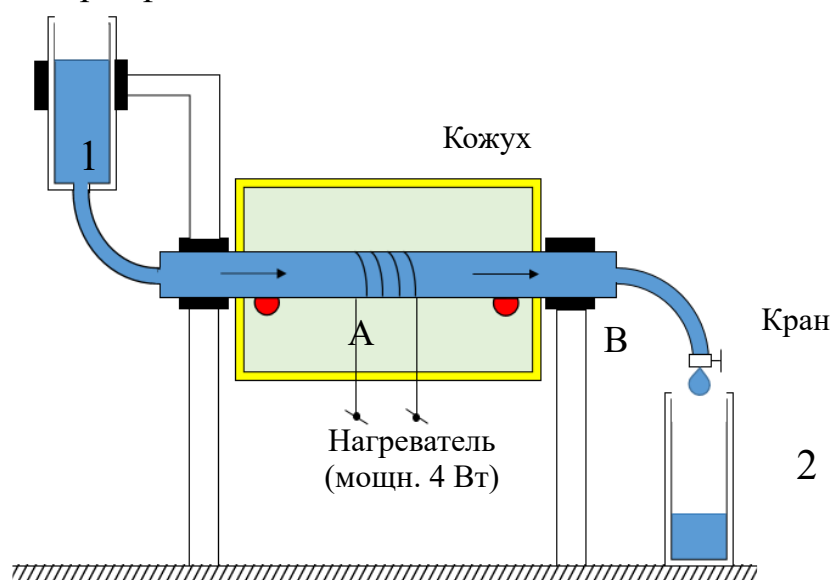


Рис. 4. Схема экспериментальной установки.
(1 и 2 – мерные цилиндры, А и В – термисторы)

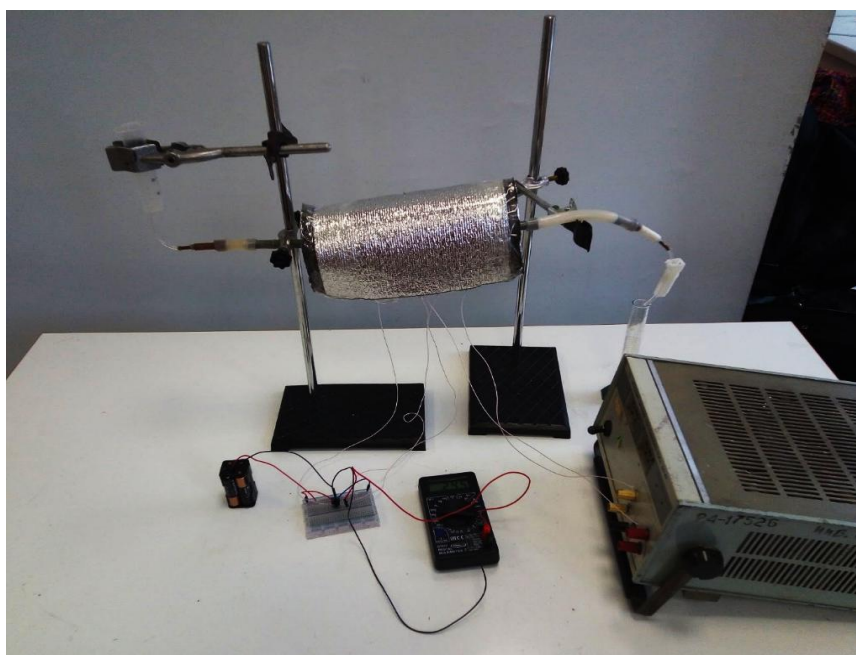


Рис.5. Экспериментальная установка.

Для проведения экспериментов было использовано следующее оборудование: источник питания постоянного тока Б5-47, мультиметр DT-832, термисторы сопротивления Siemens, трубка (нержавеющая сталь, стекло, пластмасса), мерные цилиндры лабораторные, кран от капельницы медицинский, кожух из пористого материала, секундомер, весы электронные лабораторные. Кожух уменьшает коридор дрейфа моста, ограничивая зону с датчиками от конвекционных потоков.

Методология проведения экспериментов:

1. При выключенном нагревателе регулируется и измеряется расход воды через трубку, затем конец трубки пережимается зажимом.

2. При нулевом расходе воды включается нагреватель и после выхода температур резисторов на постоянные значения (контроль по показаниям милливольтметра, включённого в диагональ моста) проводится балансировка путём изменения сопротивлений R1 и R2.

3. Зажим снимается и через трубку начинает протекать вода с известным расходом. При этом возникает разбаланс моста, который сравнивается с полученной ранее шириной дрейфа моста. Затем расход воды принудительно останавливается и наблюдается возвращение значений в коридор дрейфа. Если разбаланс, вызванный током воды оказывается больше ширины дрейфа моста, то наличие течения считается установленным. Данный разбаланс моста фиксируется и выносится на график зависимости.

Получение значений расхода воды G осуществляется по следующей формуле:

$$G = \frac{Nm_0\rho_v}{\tau_N} \quad (1)$$

где количество капель N примем равным 20, τ_N – время, за которое вытек объём жидкости, равный N каплям (измерения проводятся секундомером), m_0 – масса одной капли (измерения параметра Nm_0 проводятся при помощи электронных лабораторных весов), ρ_v – плотность воды (н.у.). Регулируемая скорость образования капель при помощи используемого крана – 1 капля за период времени от 1 до 400 с.

Анализ результатов.

Полученные значения отражены на графиках зависимости изменения разбаланса моста от расхода воды на рисунках 6. (1 – с использованием кожуха, 2 – без использования кожуха). Как видно, уменьшение расхода приводит к уменьшению и разбаланса моста. Также невооружённым взглядом заметно, что график «с кожухом» не такой прерывистый и резкий, как график «без кожуха». Наконец, при расходе 0.09 мл/мин, разбаланс моста практически сравнялся с шириной коридора дрейфа. Эту величину расхода и будем считать самым медленным потоком, который мы можем определить.

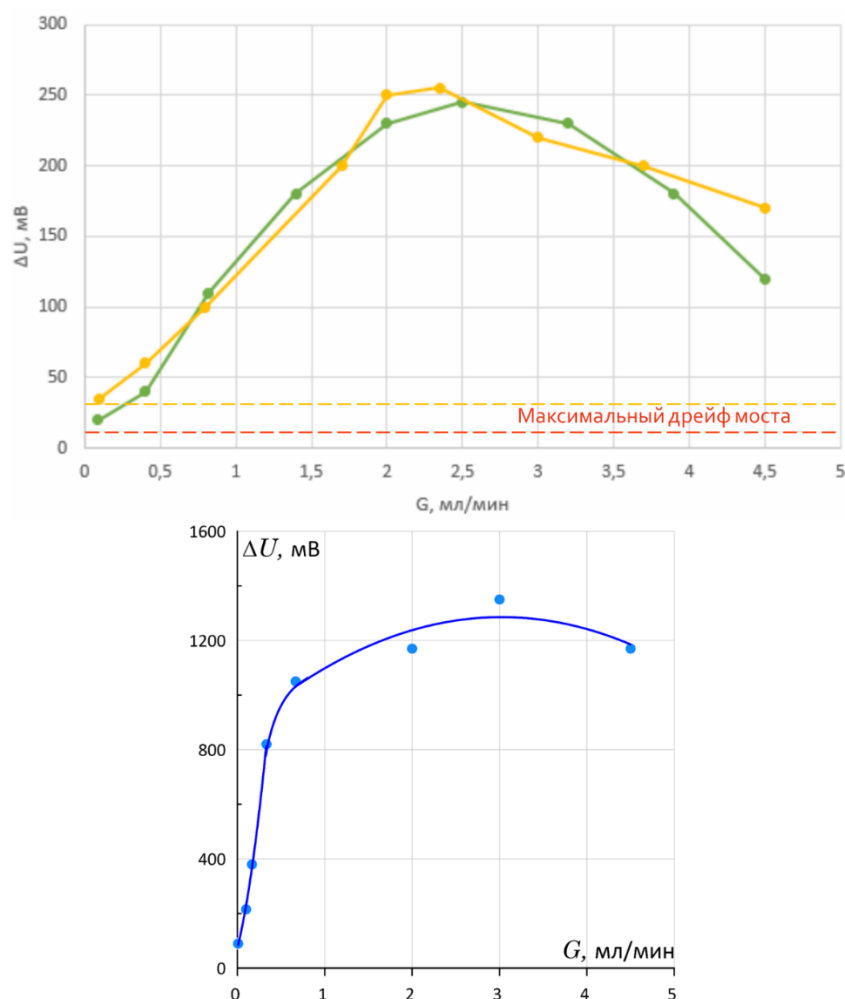


Рис.6.

Помимо расхода был также проварьирован параметр материала трубки. Зависимости 1, 2 получены при помощи трубки из нержавеющей стали. Зависимости, полученной с использованием стеклянной трубки и кожуха присвоен номер 3. В ходе этого эксперимента был достигнут минимальный регистрируемый расход – 0,0083 мл/мин, что соответствует скорости образования капель в размере 1 капли за 6 мин и 40 с. Эксперимент с пластмассовой трубкой не дал результатов в связи с плавлением материала.

Заключение.

Для определения направления течения использовался тепловой метод, в котором нагреватель располагается на стенке трубы на равном расстоянии от датчиков, а изменение температуры фиксируется термисторами, находящимися на стенках трубы по обе стороны от нагревателя и на равном расстоянии от него. Разность температур определялась с помощью электрической схемы «мост Уитстона» с включёнными в плечи моста термисторами. С помощью стальной трубки с внешним диаметром 10 мм и толщиной стенок 1,2 мм зафиксирован минимальный расход 0,09 мл/мин. С

помощью стеклянной трубки с внешним диаметром 7 мм и толщиной стенок 1 мм зафиксирован минимальный расход 0,0083 мл/мин. Исходя из проведённых экспериментов можно сделать вывод, что эффективность метода достаточно высока.

Сформулируем физические факторы, влияющие на чувствительность метода:

- С увеличением диаметра трубки (при сохранении расхода жидкости) чувствительность метода падает, так как жидкость течёт более медленно, значит и тепловая метка тоже переносится медленнее.
- С увеличением теплопроводности материала трубки происходит более быстрый прогрев самой трубки, которая повышает температуру термисторов. В этом случае нагрев объясняется не переносом тепла движущейся жидкости, а прогревом трубки, т.е. чувствительность метода падает
- Плотность и теплоёмкость жидкости. Увеличение этих параметров повышает количество теплоты, необходимой на нагрев жидкости и, следовательно, увеличивает время, необходимое для прогрева жидкости.
- Увеличение толщины стенок трубки также увеличивает время прогрева прибора.
- Расстояние между термисторами должно выбираться таким образом, чтобы они находились на границе прогретой области и на одинаковом расстоянии друг от друга.
- При увеличении мощности нагревателя сокращается время прогрева системы, но также необходимо увеличивать расстояние между термисторами.

Также сформулируем характеристики «идеальной» установки: наличие качественной теплоизоляции, минимальная теплопроводность материала стенок и их толщина, минимальный диаметр трубки, умеренная мощность нагревателя (нельзя допустить плавления или иного вида деформации материала трубки), сохранение постоянного давления жидкости в трубке.

Литература

1. Библиотека электронных компонентов. Выпуск 5: Термисторы фирмы SIEMENS & MATSUSHITA — М.: ДОДЭКА, 1999, 48 с. ISBN-5-87835-042-4
2. Электротехнический справочник. В 3-х томах / Герасимов В. Г. и др. — 6-е издание. — М.: Энергия, 1980. — Т. 1. — 520 с.