

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ЭКСТРИМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ВЕЩЕСТВА

Бакалаврская работа

# «Применение метода двойной модуляции для определения термодинамических производных диэлектрических жидкостей»

Научный руководитель  
кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник  
А.В. Соболева

Выполнил студент  
404 группы  
Гавриленко Олег Владиславович

Москва 2020

# Постановка задачи

- Основной целью данной работы являлась разработка методики измерения коэффициента теплового расширения непроводящих жидкостей. Разрабатываемая методика нацелена на дальнейшее усовершенствование метода измерения к.т.р., в основе которого лежит применение двойной модуляции с использованием вспомогательного образца из проводящего материала. Проводилась подготовка установки для проведения температурных исследований к.т.р. дистиллированной воды при температурах близких к температуре замерзания.

# Метод двойной модуляции для измерения к.т.р. непроводящих жидкостей

- В исследуемой жидкости возбуждаются температурные колебания посредством воздействия на нее периодически изменяющимся давлением.
- В вспомогательном образце(графитовом стержне) температурные колебания возбуждаются посредством пропускания через него электрического тока.

# Метод двойной модуляции для измерения к.т.р. непроводящих жидкостей

Температурный отклик в графитовом стержне:

$$\Delta T_2 = \frac{W_{\sim}}{C_{p_2} \rho_2 V_2 \omega}$$

Температурный отклик в жидкости:

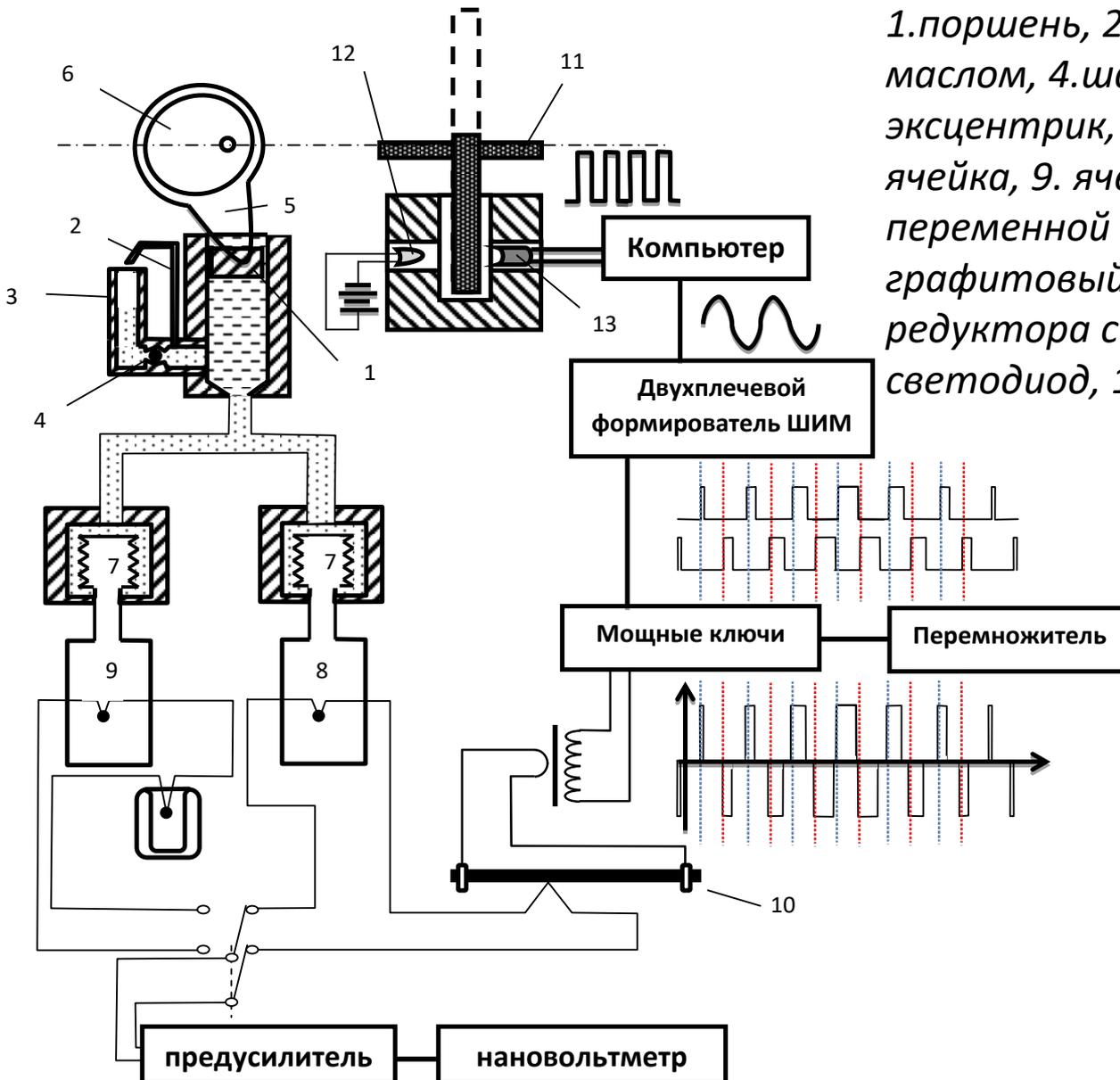
$$\Delta T_1 = \frac{T_1 \alpha_{p_1} P_{\sim}}{C_{p_1} \rho_1}$$

При равенстве температурных откликов к.т.р. будет равен:

$$\alpha_p = \frac{W_{\sim} C_{p_1} \rho_1}{T C_{p_2} \rho_2 V_2 \omega P_{\sim}}$$

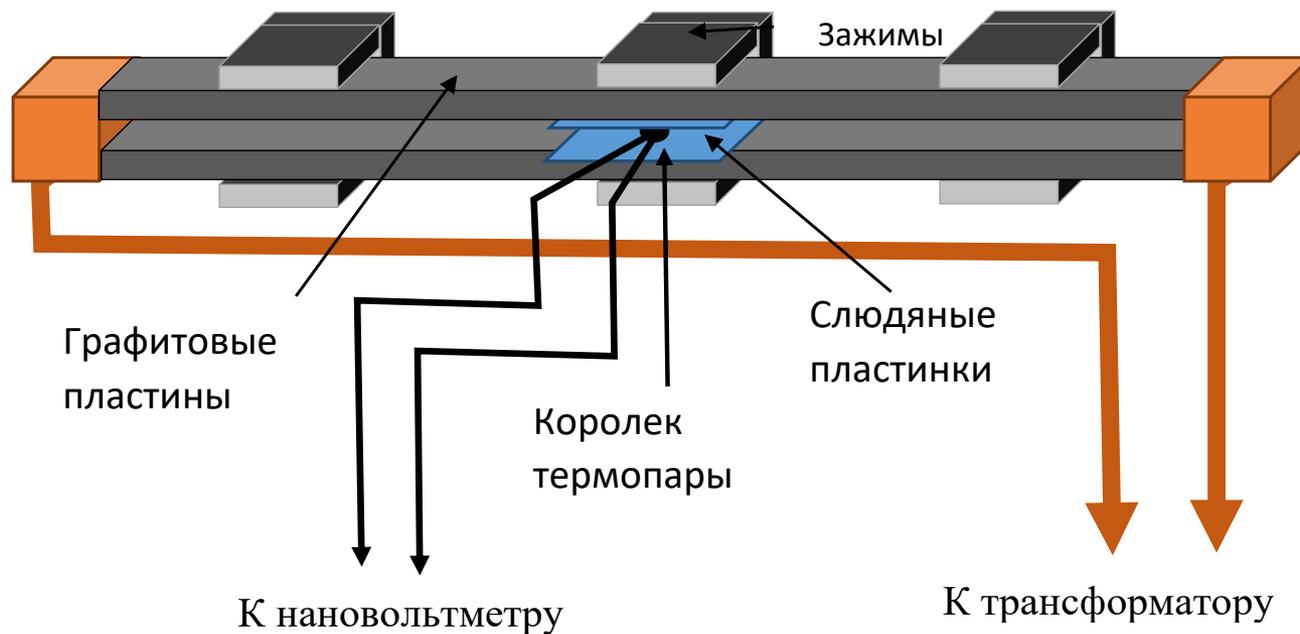
$T$  - температура жидкости,  $C_{p_1}$  и  $\rho_1$  - теплоемкость и плотность воды,  $C_{p_2}$  и  $\rho_2$  - теплоемкость и плотность графитового стержня,  $V_2$  - объем стержня,  $\omega$  - частота колебаний мощности,  $W_{\sim}$  и  $P_{\sim}$  амплитуды колебаний мощности электрического тока и давления соответственно.

# Установка для измерения к.т.р. жидкостей компенсационным методом

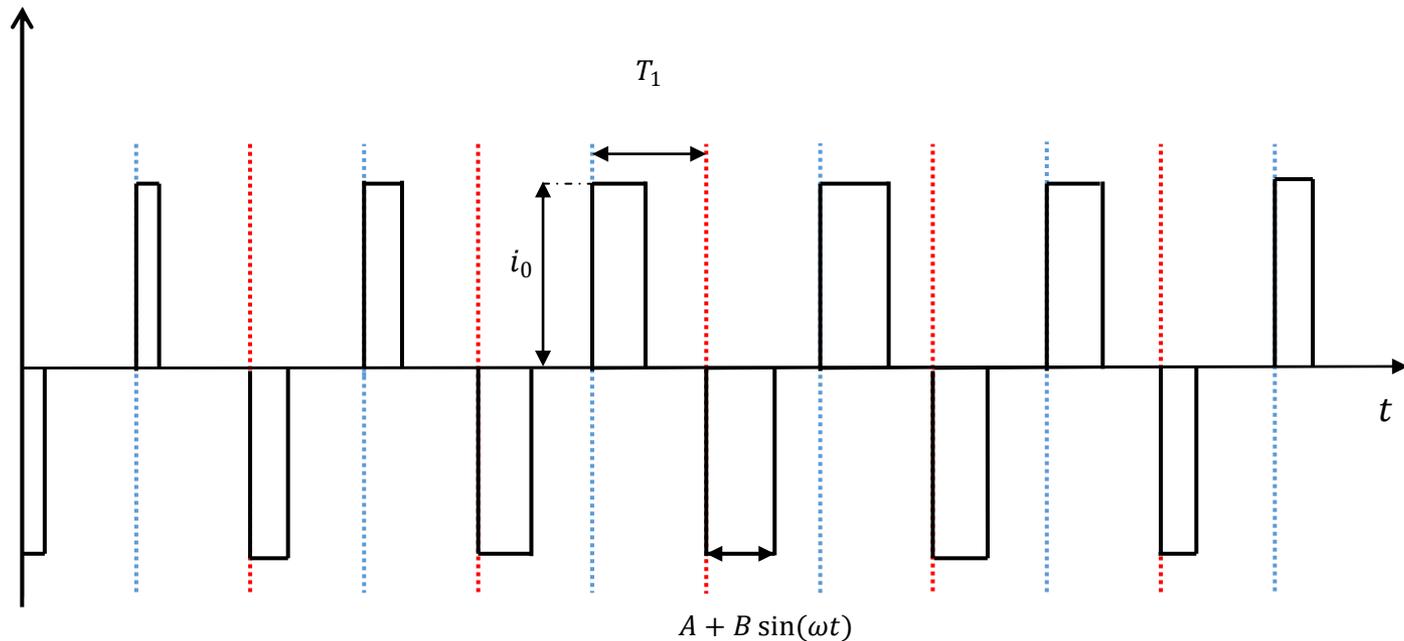


1. поршень, 2. капилляр, 3. резервуар с маслом, 4. шариковый клапан, 5, 6. эксцентрик, 7. сильфон, 8. измерительная ячейка, 9. ячейка для регистрации переменной составляющей давления, 10. графитовый стержень, 11. вал редуктора с пластиковым диском, 12. светодиод, 13. фотодиод

# Вспомогательный образец



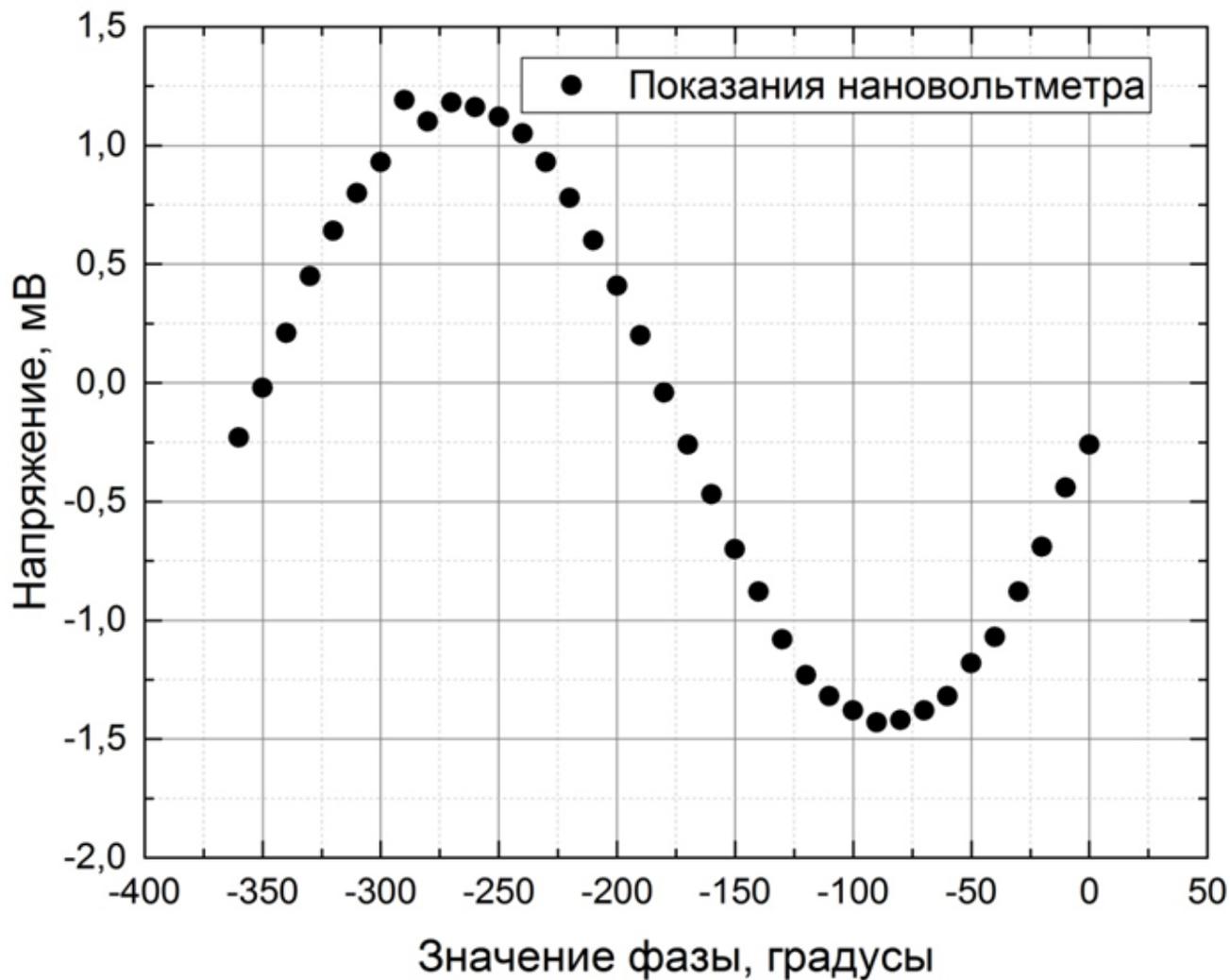
# Модуляция сигнала электрического тока



Колебания мощности при двухплечевой широтно-импульсной модуляции :

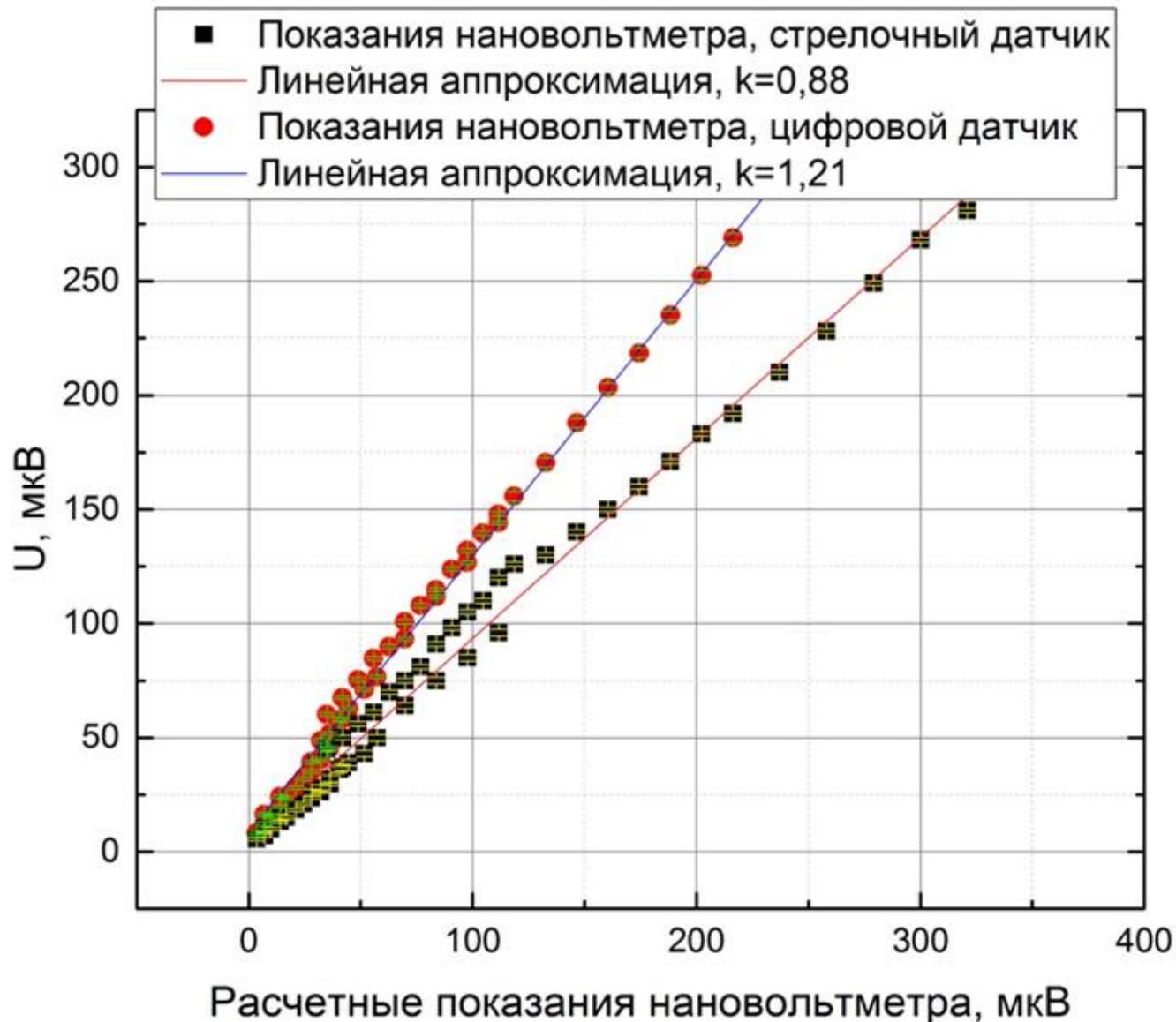
$$W_{\sim} \propto i_0^2 \frac{\Delta\tau}{T_1} \sin(\omega t)$$

# Проверка работы системы модуляции мощности

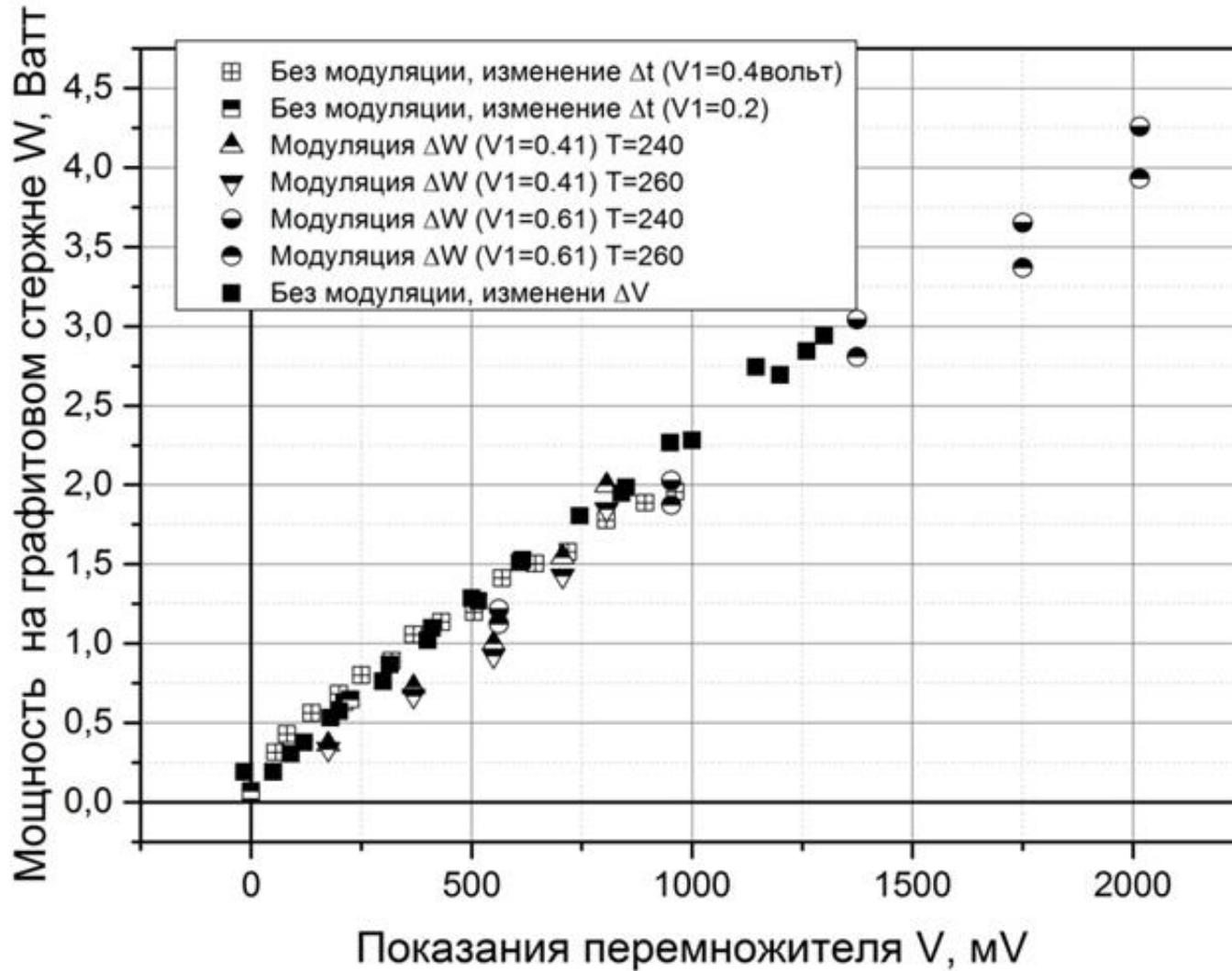


Гармоника	A, мВ
1	1,31
2	0,008
3	0,009
4	0,002
5	0,007
6	0,003

# Зависимость показаний нановольтметра от расчётных значений



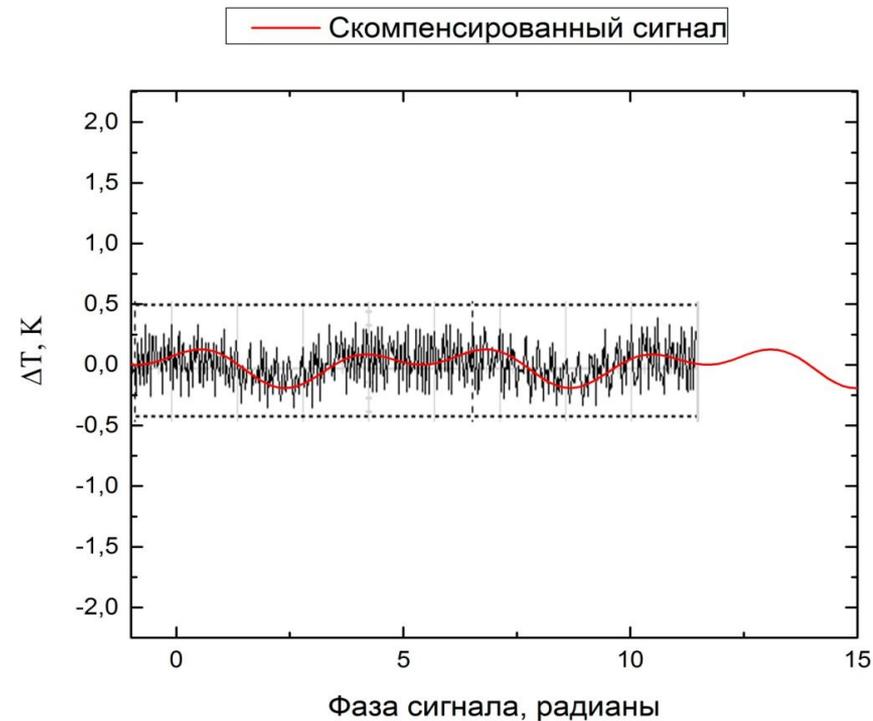
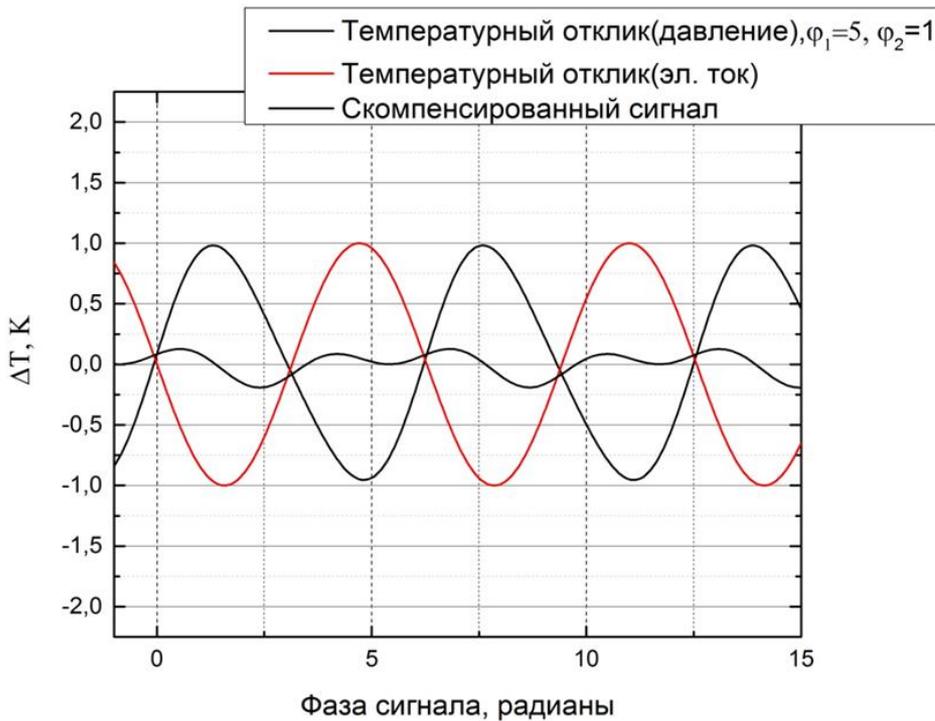
# Калибровка мощности



# Анализ получаемого температурного отклика в условиях неидеальной компенсации

Отклик от давления:  $\Delta T_1 = 0,95 \sin(x + \varphi_1) + 0,095 \sin(2x + \varphi_2)$

Отклик от мощности:  $\Delta T_2 = \sin(x + \pi)$ .



# Выводы

1. В результате проведенной работы была подготовлена установка для измерения коэффициента теплового расширения диэлектрических жидкостей. Были проведены тестовые измерения. Анализ полученных данных показал, что выходной сигнал мощности соответствует синусу с высокой степенью точности, из чего можно сделать вывод о корректной работе системы модуляции мощности.
2. Выполнены калибровочные измерения, необходимые для проведения эксперимента. Полученные калибровки линейны и демонстрируют удовлетворительное согласие. Сделан вывод о возможности увеличения точности измерений, путём внедрения системы оцифровки и программного комплекса LabVIEW.
3. Проведен анализ температурного отклика в случае неидеальной компенсации, что даст возможность вносить соответствующие поправки в получаемые экспериментальные данные.