

Кафедра Механика и процессы управления
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

Разработка и исследование термомеханического диода

Выполнил студент гр. 43602/3
Научный руководитель

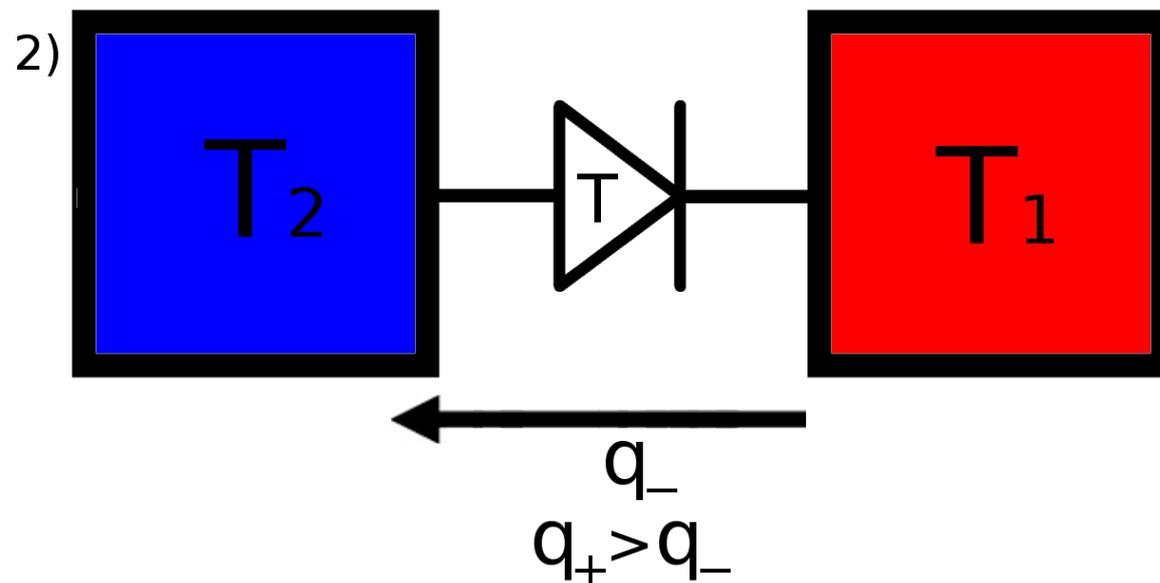
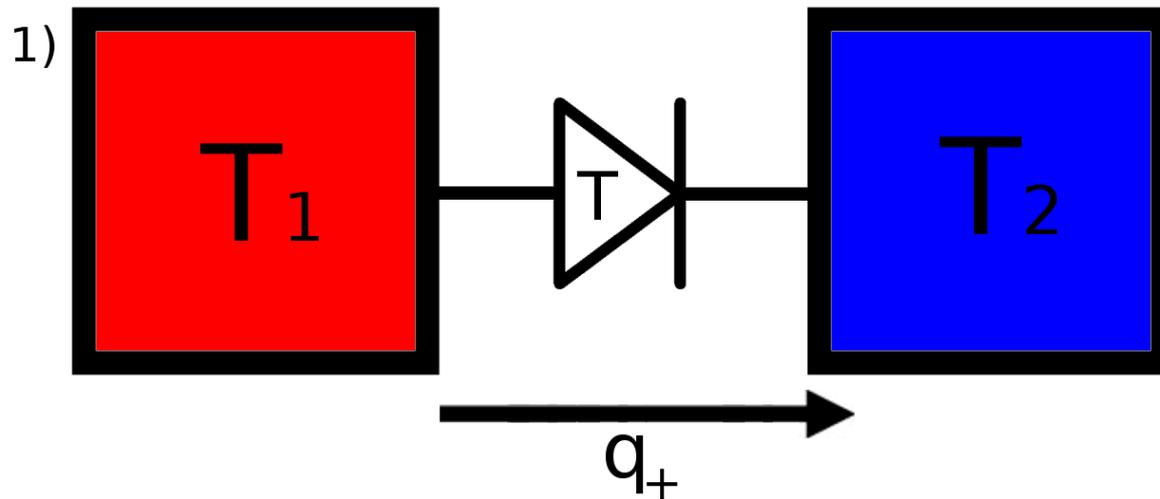
Минкин А.Д.
Суханов А.А.

Санкт-Петербург
2017

Содержание работы

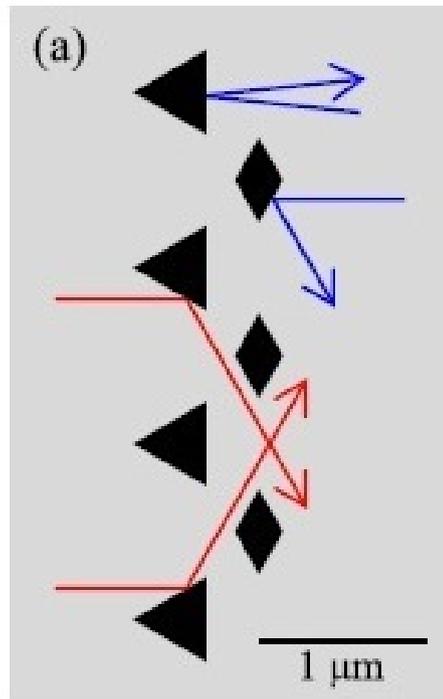
1. Описание исследуемых теплотехнических систем
2. Анализ деформаций в механических элементах термодиода после потери устойчивости
3. Численное решение задачи о деформациях
4. Проведение натурального эксперимента
5. Анализ теплопередачи в исследуемых системах
6. Чувствительность свойств рассматриваемых тепловых систем к вариации параметров

Принцип работы теплового диода. Коэффициент тепловой ректификации

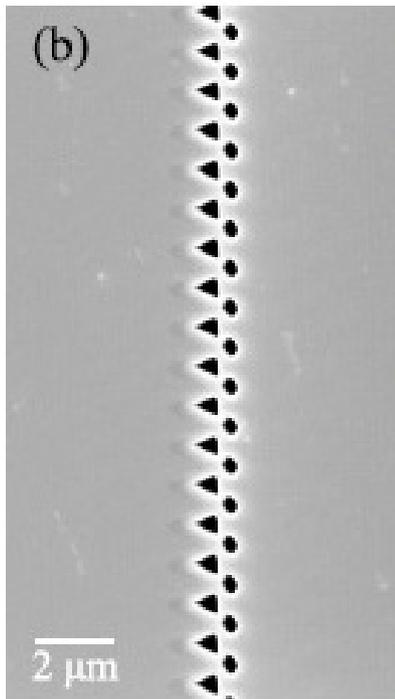


$k = \frac{q_+}{q_-}$; q_+ – Плотность теплового потока в прямом направлении
 q_- – Плотность теплового потока в обратном направлении

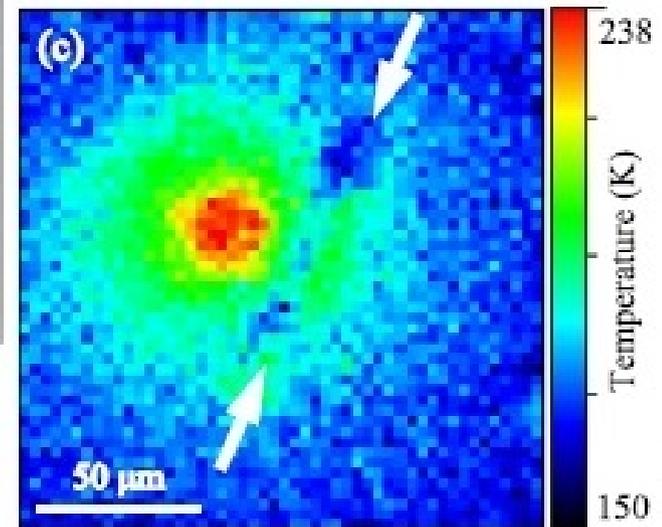
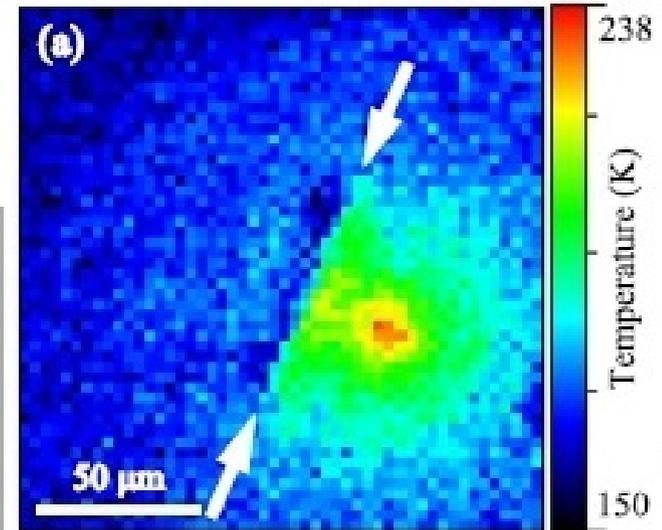
Модель фононного теплового диода



Модель
структуры



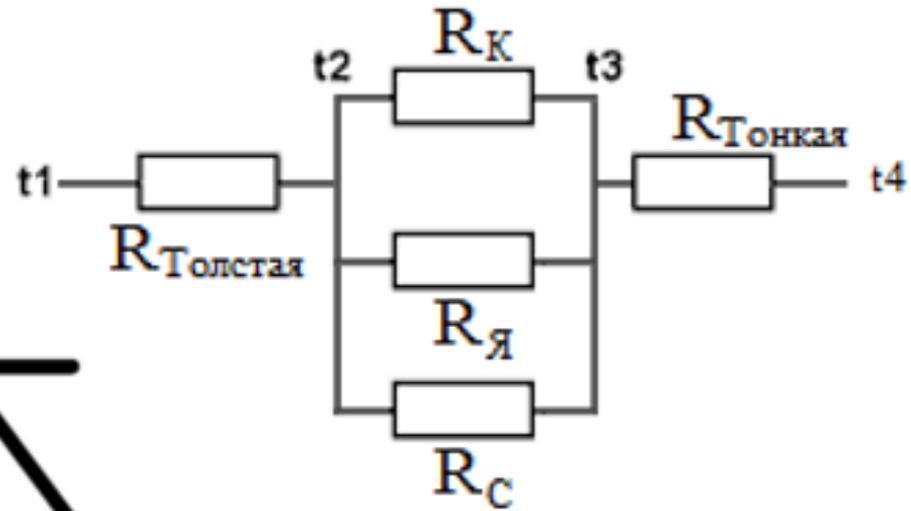
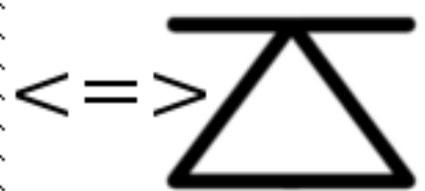
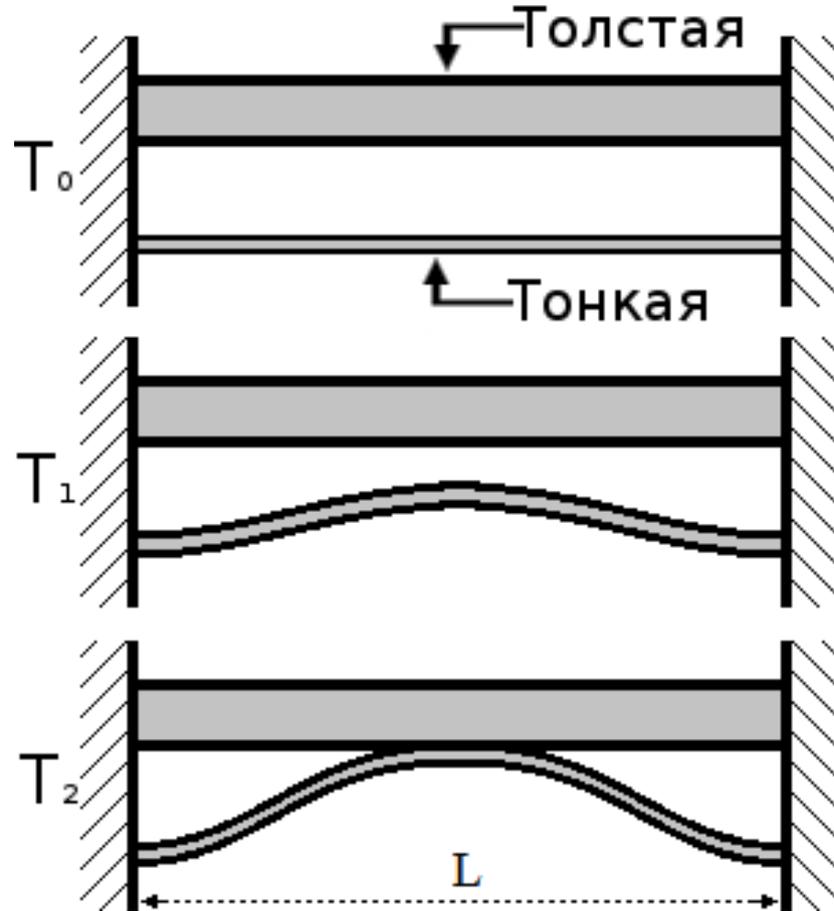
Снимок
структуры



Первая исследуемая модель

Механическая модель диода

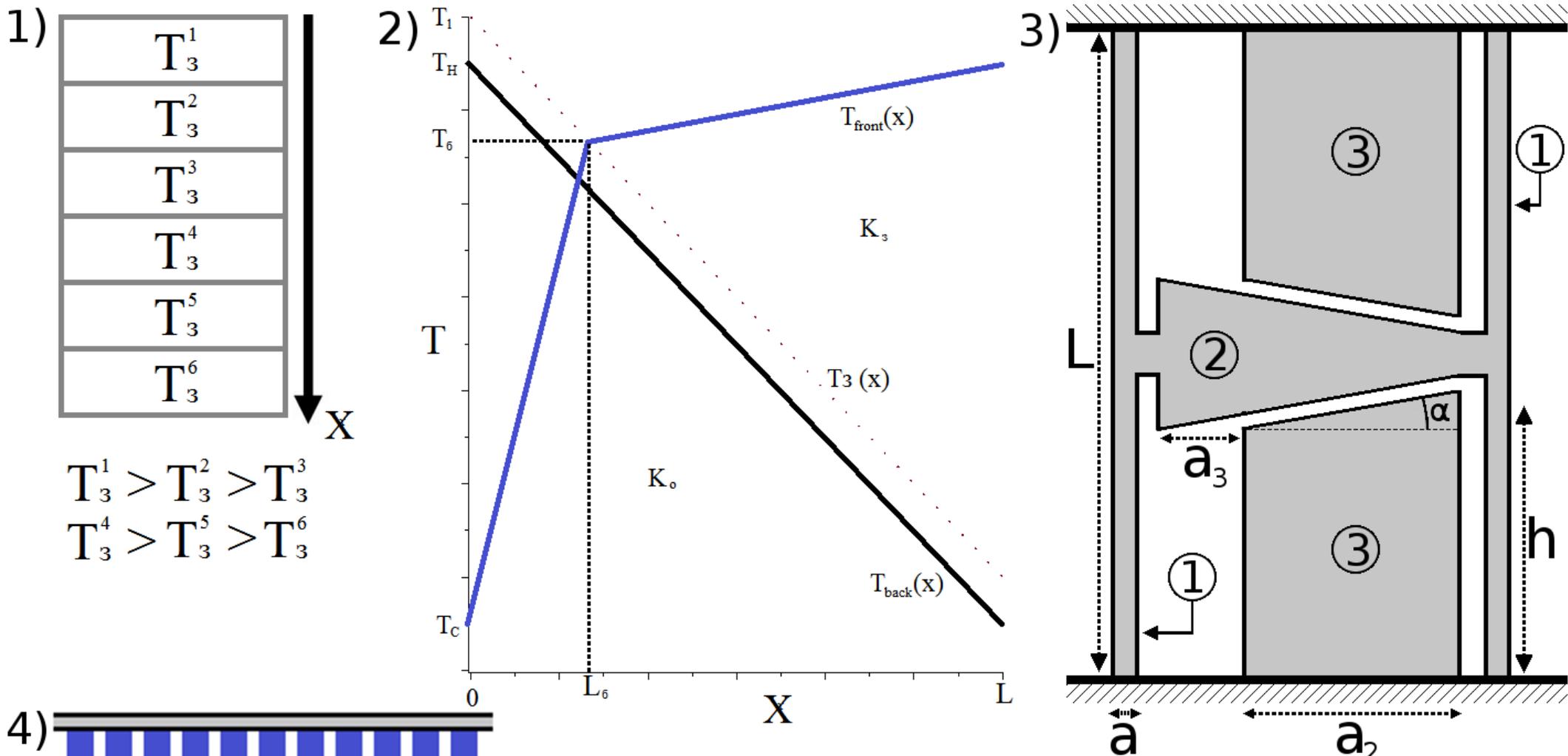
Тепловая модель диода



$$q_+ = \frac{T_1 - T_2}{R_{Тол}} = \left(\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_{Я}} + \frac{1}{R_C} \right) (T_2 - T_3) = \frac{T_3 - T_4}{R_{Тон}}$$

$$q_- = \frac{T_1 - T_2}{R_{Тол}} = \left(\frac{1}{R_{Я}} + \frac{1}{R_C} \right) (T_2 - T_3) = \frac{T_3 - T_4}{R_{Тон}}$$

Вторая исследуемая модель

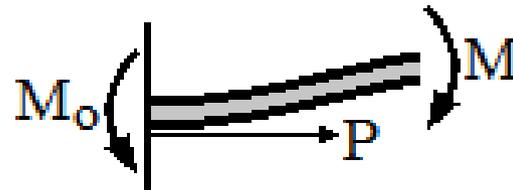
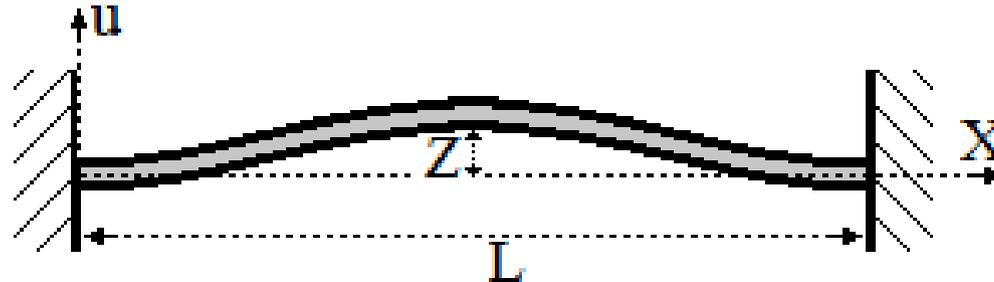


Из уравнения теплопроводности Фурье:

$$q_+ = \frac{K_0(T_6 - T_c)}{L_6} = \frac{K_3(T_H - T_6)}{L - L_6}; q_- = \frac{K_0(T_H - T_c)}{L}$$

$$\gamma = \frac{K_3}{K_0}; k = \frac{2T_1'(\gamma - 1)}{(\gamma(T_1' - 1) - 1 - T_1') + \sqrt{(\gamma(1 - T_1') + 1 + T_1')^2 + 4T_1'(\gamma - 1)}} - 1.$$

Деформация тонкой пластины диода при тепловом нагружении

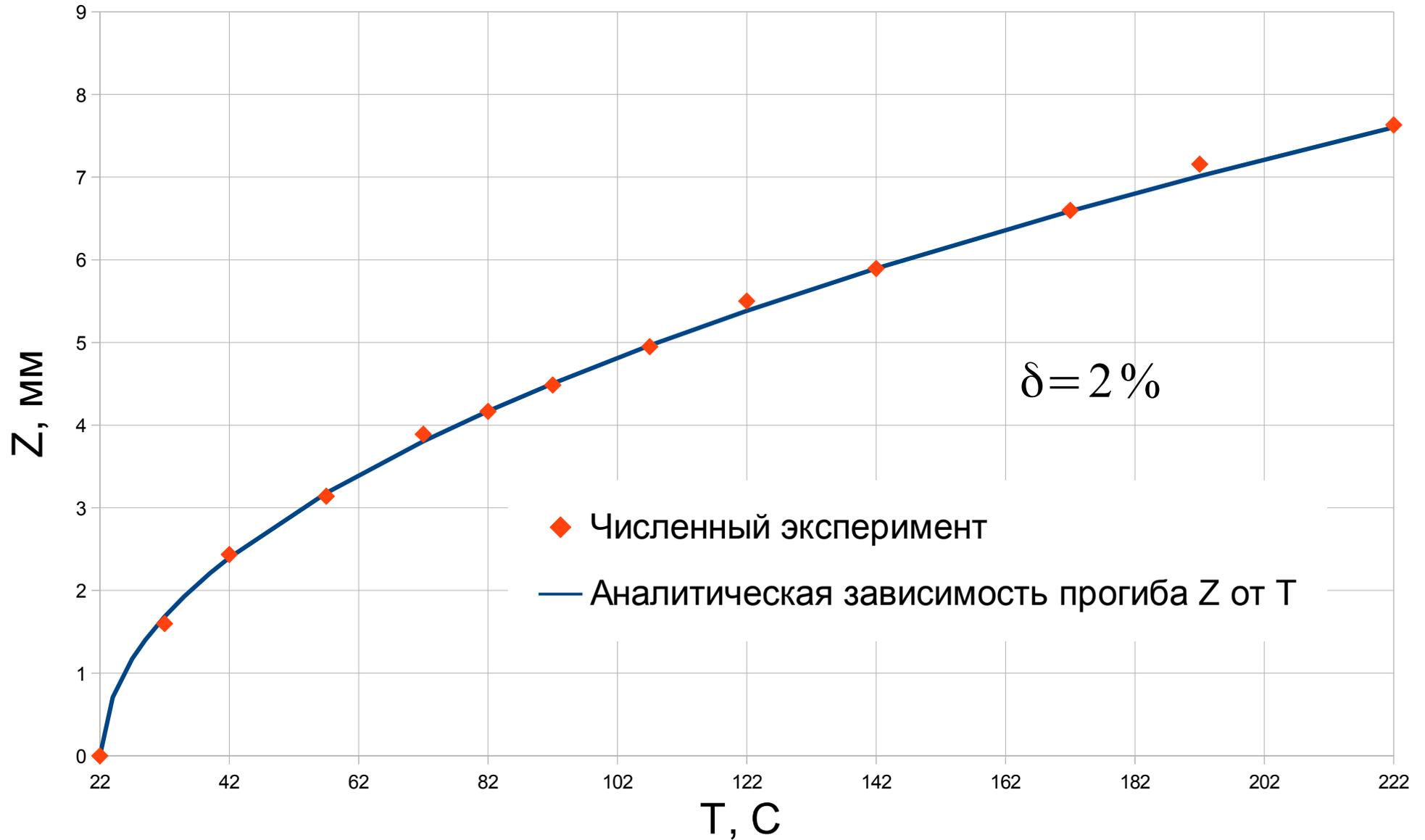


$$EI \frac{\frac{d^2 u}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{du}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} = M(x); M(x) = -M_0 - P u(x); \begin{matrix} u|_{x=0} = 0 & u|_{x=L} = 0 \\ \frac{du}{dx}|_{x=0} = 0 & \frac{du}{dx}|_{x=L} = 0 \end{matrix},$$

$$\sqrt{\frac{P}{EI}} L_2 = \int_0^{2\pi} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - \left(\frac{Z_T \pi \sqrt{k_1}}{2L}\right)^2 \sin^2(\beta)}} = 4K \left(\frac{Z_T \pi \sqrt{k_1}}{2L} \right)$$

$$K \left(\frac{Z_T \pi \sqrt{k_1}}{2L} \right) = \frac{\sqrt{k_1} \pi (\alpha T - \alpha T_0 + 1)}{2}$$

Зависимость деформации пластины от температуры



Распределение деформаций в пластине в численном эксперименте

C: Static Structural

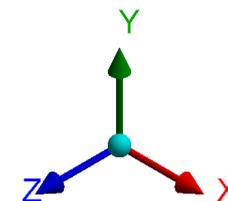
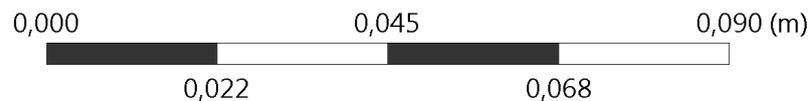
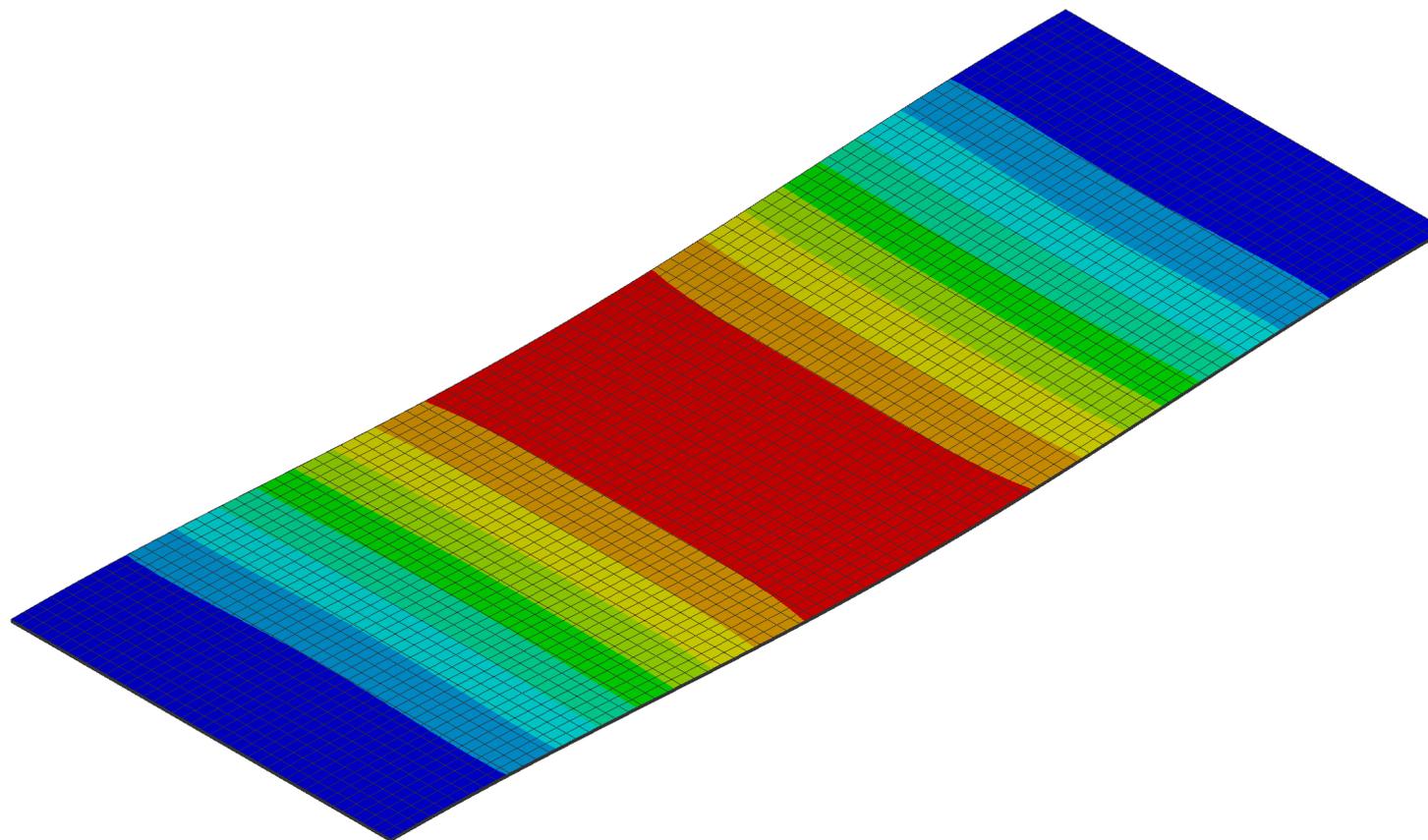
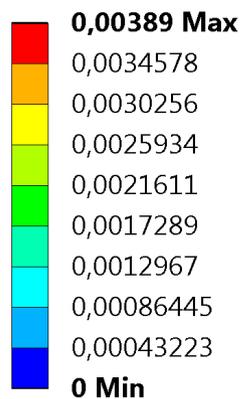
Total Deformation

Type: Total Deformation

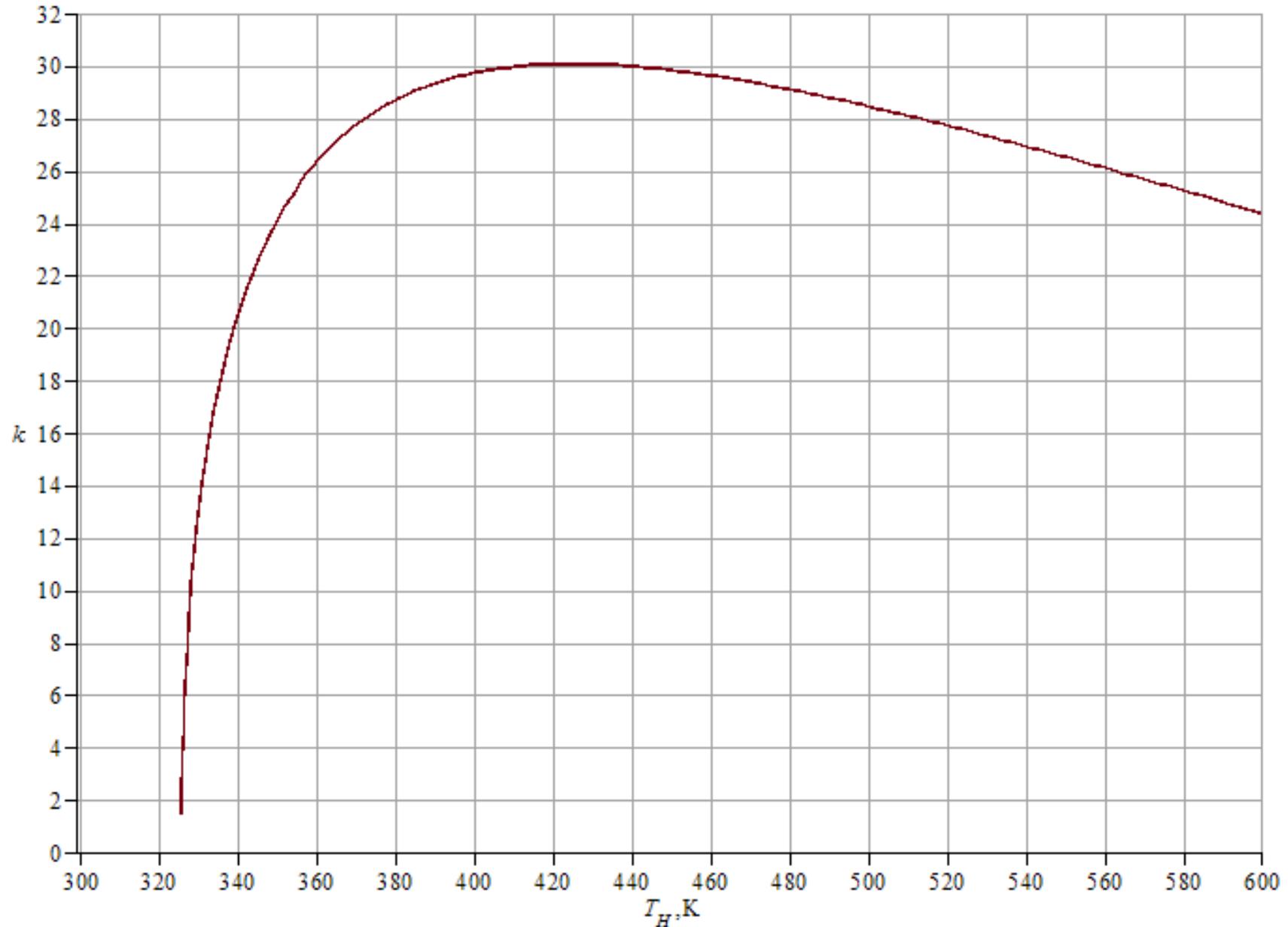
Unit: m

Time: 31

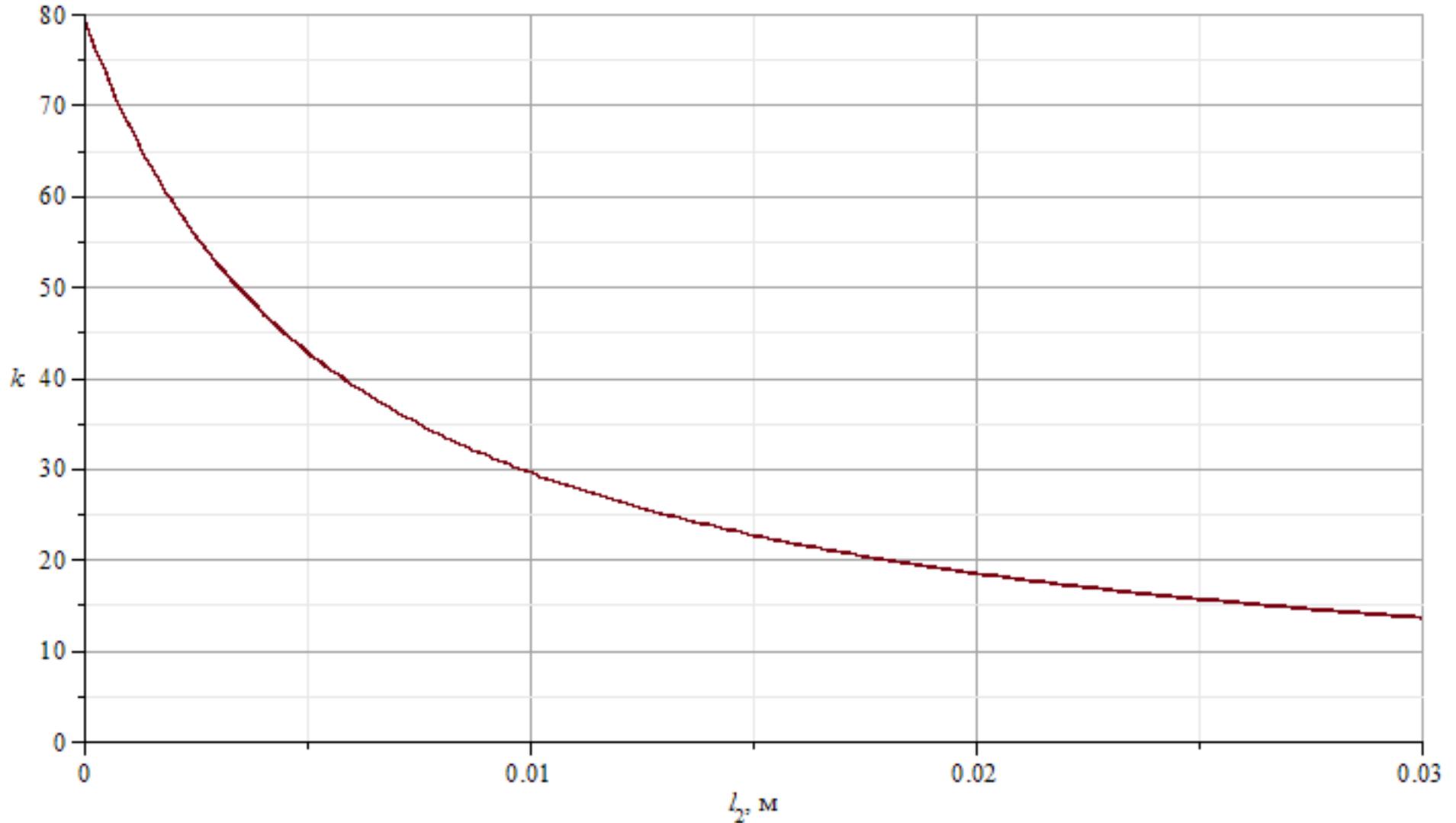
04.06.2017 17:23



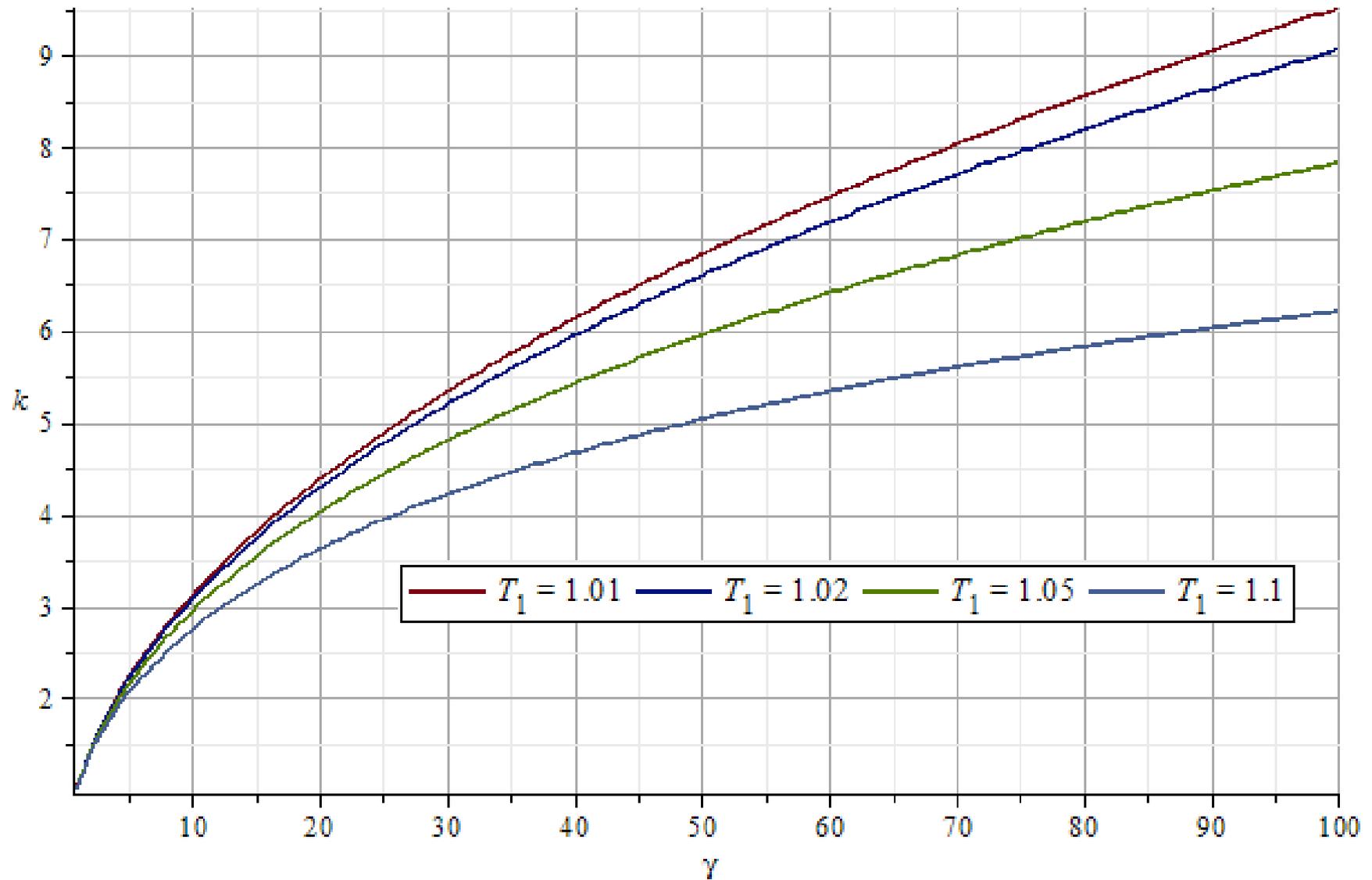
Зависимость коэффициента ректификации k от температуры нагрузки T_1



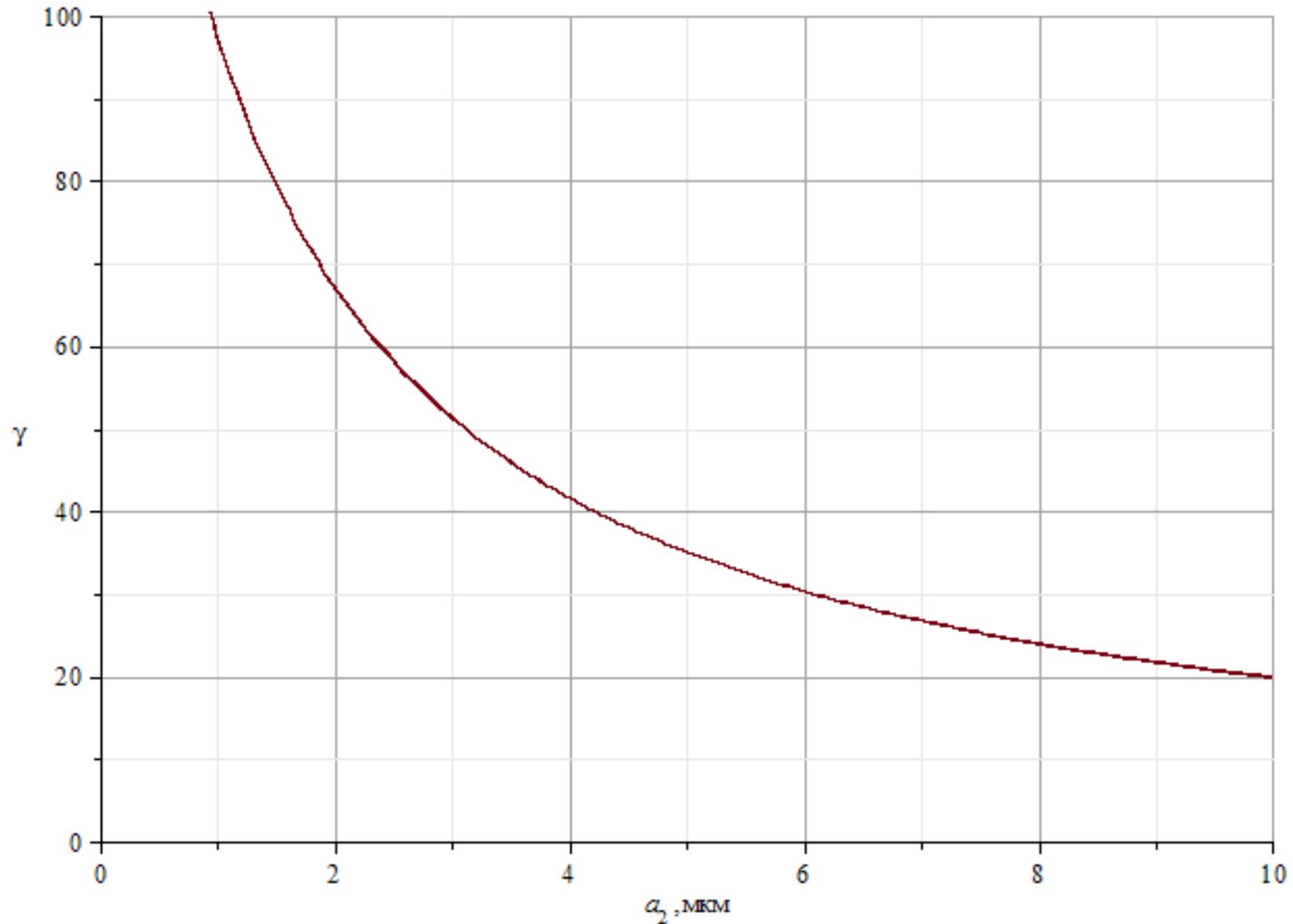
Зависимость коэффициента ректификации k от эффективной ширины зоны, проводящей тепло в обход ячейки



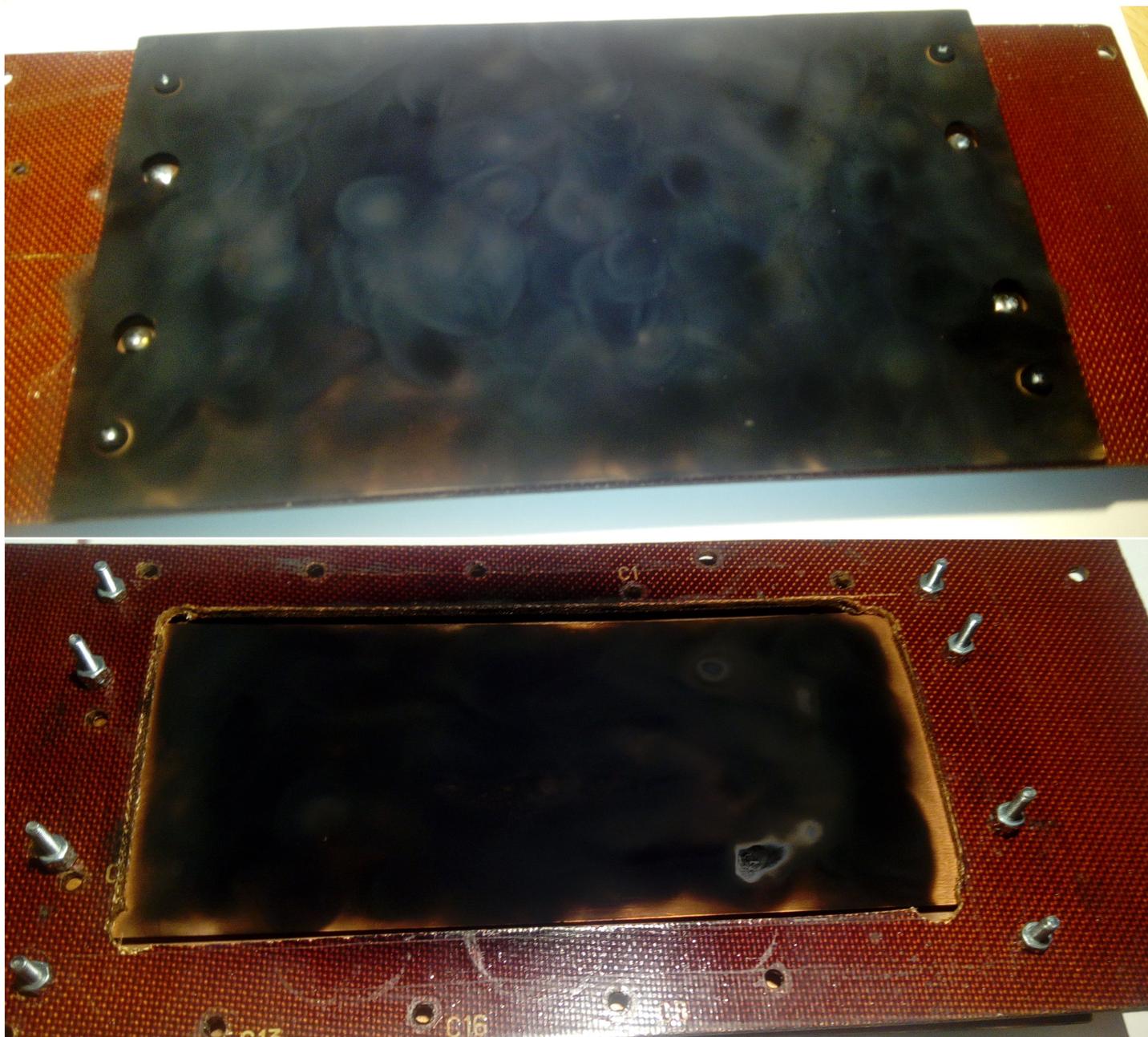
Зависимость коэффициента ректификации k от параметра γ



Зависимость параметра γ от толщины деформируемых пластин



Экспериментальная установка



Заключение

В ходе данной работы были разработаны две схемы термомеханических диодов, обладающие свойствами тепловой ректификации, и получены следующие результаты:

1. Доказано существование эффекта тепловой ректификации в рассмотренных схемах.
2. Найдено аналитическое выражение деформаций механических элементов термомеханических диодов в виде балки Эйлера после потери устойчивости для случая двухстороннего закрепления, являющееся основой последующего теплового расчета.
3. Найдены аналитические соотношения для теплопередачи в ячейках термомеханических диодов при наличии и отсутствии воздуха внутри ячейки.
4. На базе проведенных исследований получены выражения для коэффициентов ректификации обеих схем термомеханических диодов, являющиеся основной целью работы.
5. Для верификации выполненной аналитической части работы проведено численное моделирование поведения ячейки теплового диода, которое подтвердило корректность полученных соотношений.
6. Проведен натурный эксперимент, качественно подтвердивший полученные результаты и продемонстрировавший наличие предсказанных дополнительных артефактов в поведении ячеек термомеханических диодов.

Полученные результаты исследования являются инновационными и перспективными в различных технических приложениях, таких как, например, теплонакопительные системы на Земле и в космосе.

Спасибо за внимание!