

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Физико-механический институт

Высшая школа теоретической механики и математической физики

Математическое моделирование электромагнитного подвеса в нефтегазовой отрасли

Выполнил:

студент гр. 5040103/20401, А. И. Иманов

Научный руководитель:

доцент ВШТМиМФ, к.т.н., И. С. Каешков



Санкт-Петербург
2024

- **Актуальность:** внедрение электромагнитного подвеса в магистральный насос позволиткратно увеличить срок его службы, снизить потери энергии на трение, снизить затраты на обслуживание и увеличить объёмы перекачивания жидкости за счёт экономии энергии.
- **Цель:** модернизировать подшипниковые узлы агрегата путём замены подшипников качения на электромагнитные подшипники.

Пассивные магнитные подшипники

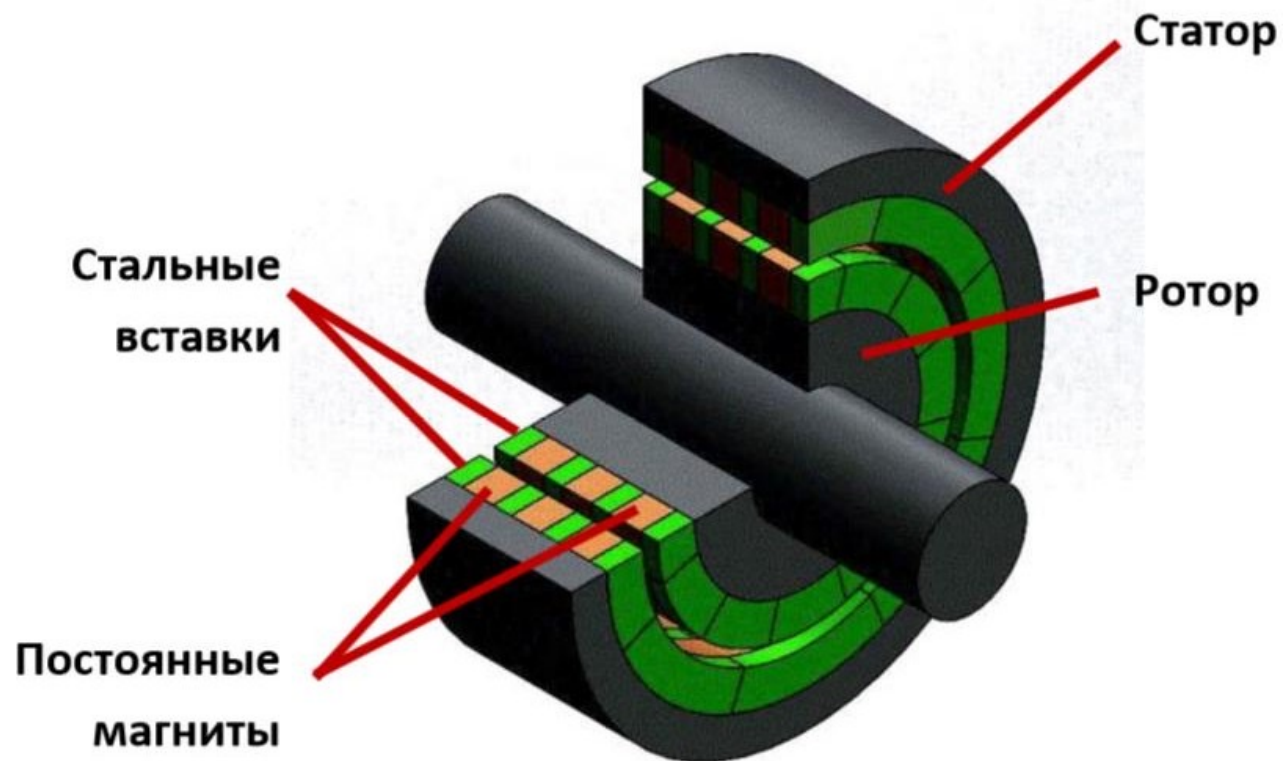


Рисунок 1 – Пассивный магнитный подшипник

Активный магнитный подшипник (АМП)

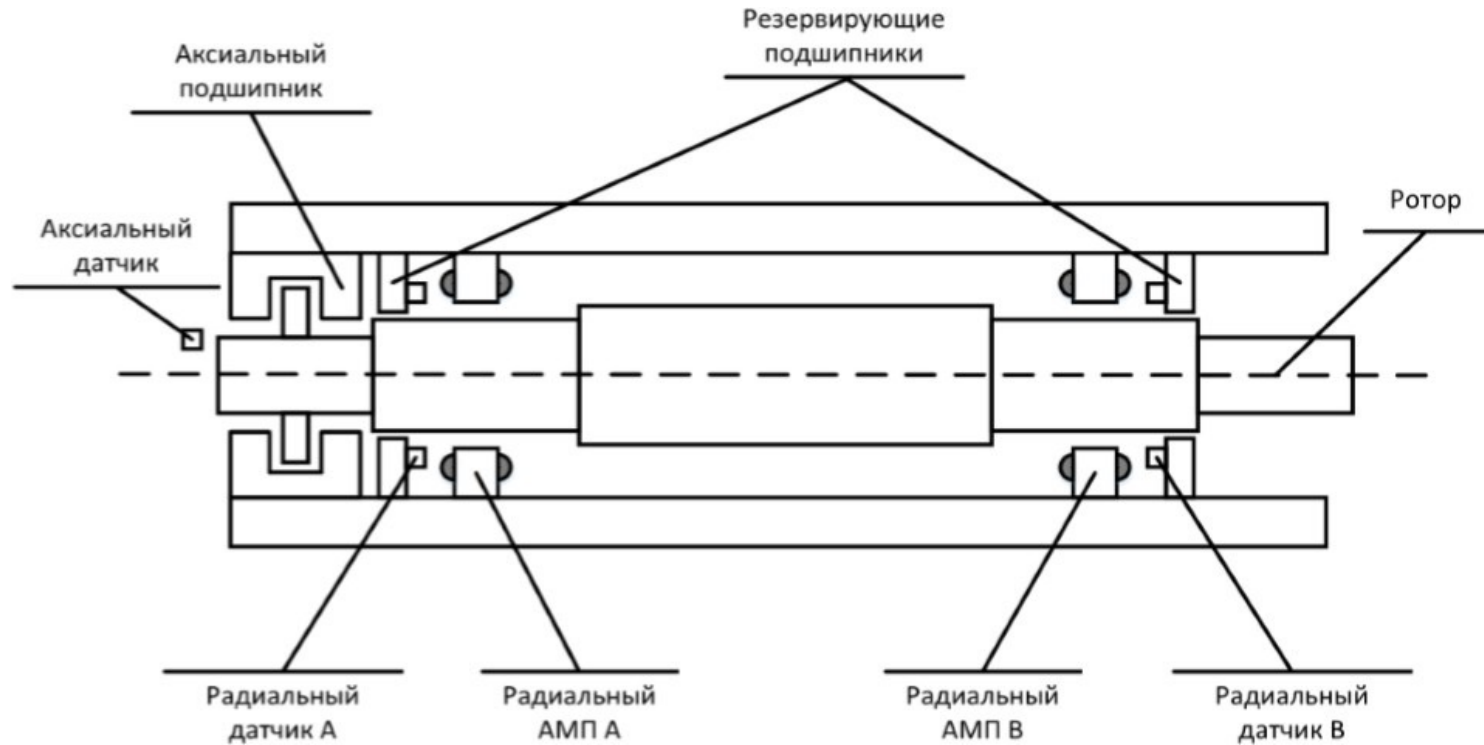


Рисунок 2 – АМП система с 5 степенями свобод

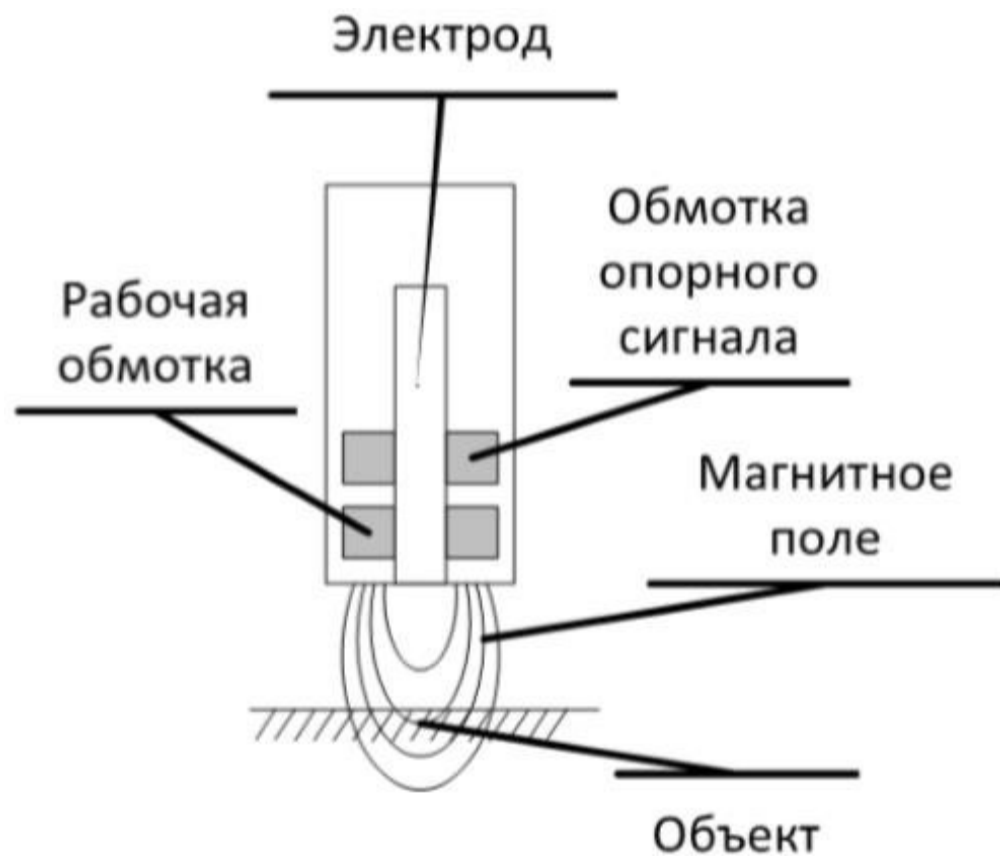


Рисунок 3 – Индуктивный датчик

Математическое исследование

Основные уравнения, описывающие систему:

Сила магнитного притяжения F_m и гравитационная сила F_g связаны следующим образом:

$$F_m = -F_g = -(m \cdot g_a) = m \cdot g, \quad (1)$$

где m — масса объекта, g — ускорение свободного падения. Радиальная сила F_x , действующая на систему, может быть выражена через:

$$F_x = m a = m \ddot{x} = K_i i_c + K_x x, \quad (2)$$

где K_i — коэффициент привода, K_x — жесткость положения объекта, i_c — опорный ток управления, x — радиальное смещение.

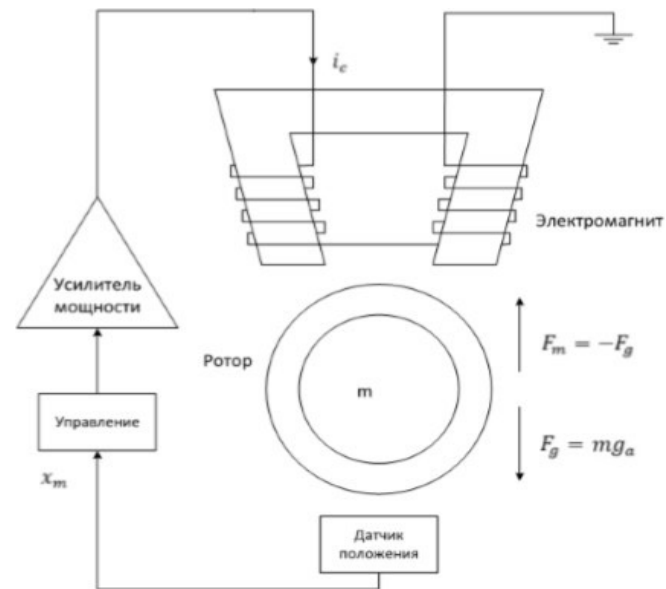


Рисунок 4 – Система магнитной левитации

Структурная схема

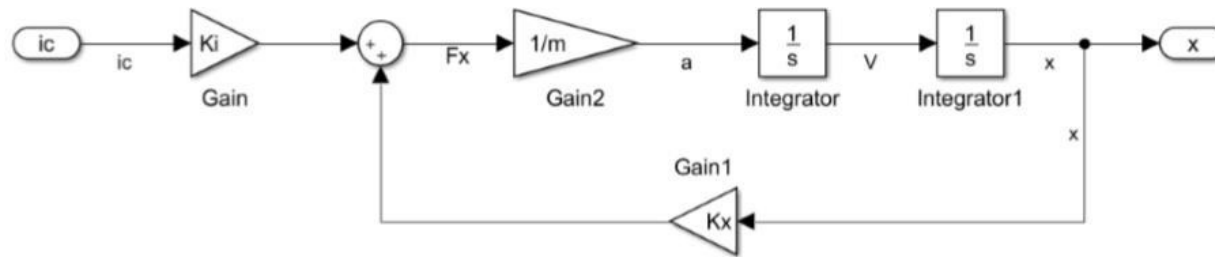


Рисунок 5 – Структурная схема магнитной левитации

$$G(s) = \frac{K_i}{ms^2 - K_x}, \quad (3)$$

$$f = \frac{\mu_0 N^2 i^2 S_{air} \cos x}{4l_{air}^2}. \quad (4)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, N — количество витков катушки, S_{air} — площадь поперечного сечения магнитопровода, i — ток в катушке, l_{air} — длина воздушного зазора, x — радиальное смещение.

Имитационная модель

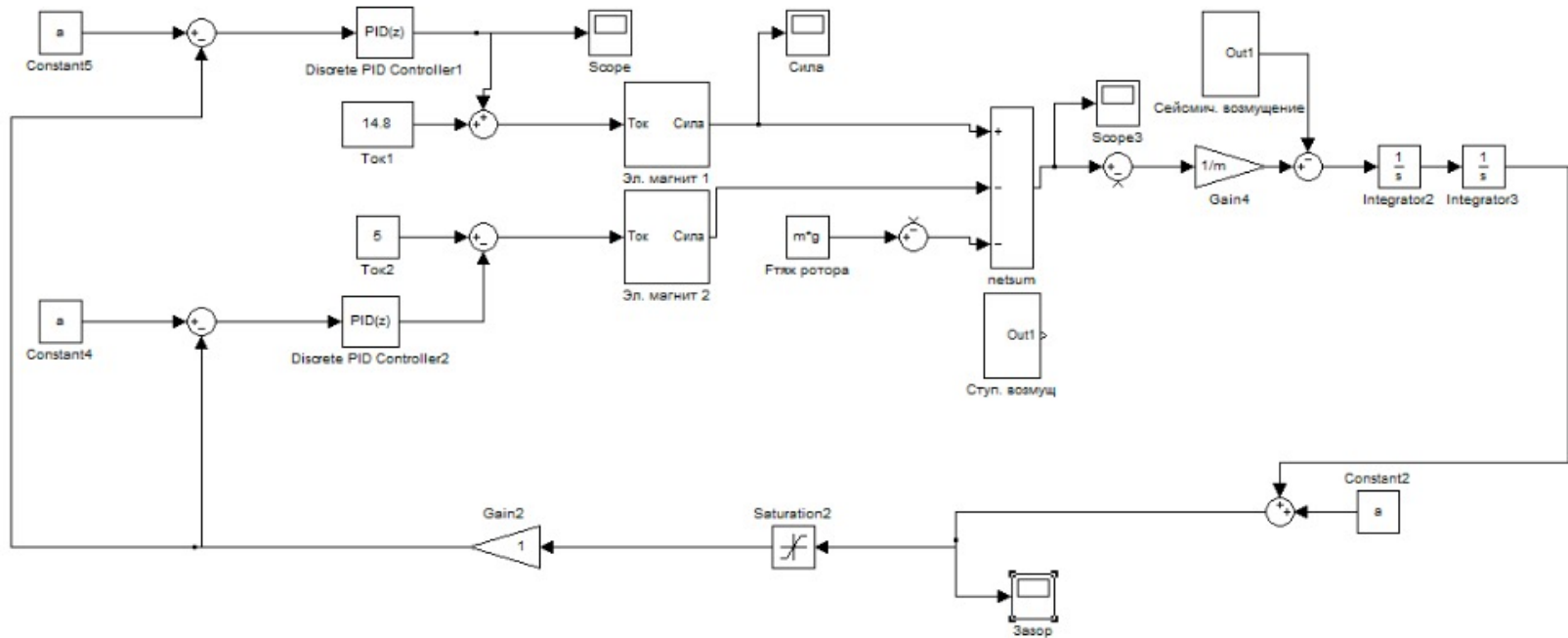


Рисунок 6 – Имитационная модель электромагнитного подвеса

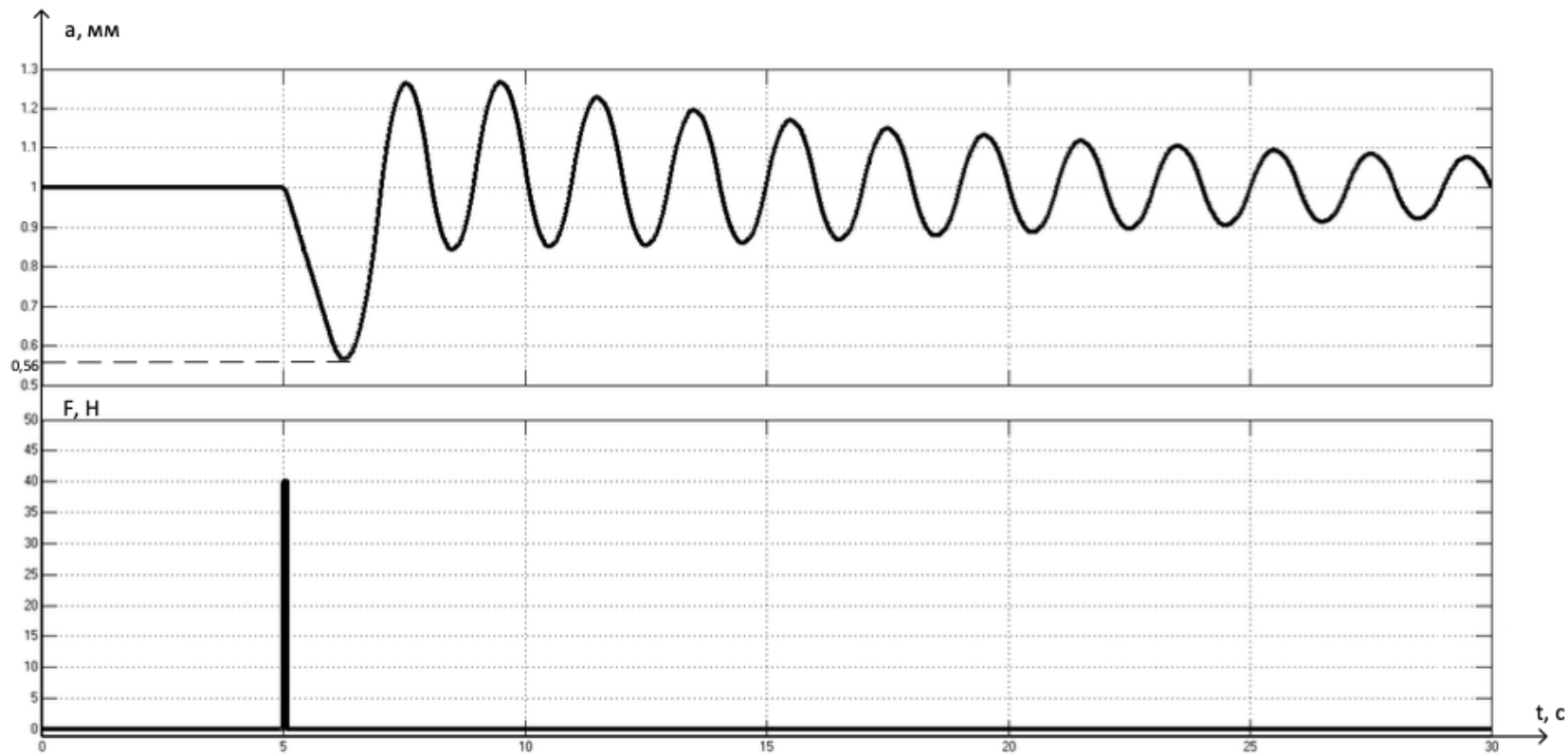


Рисунок 7 – График возмущающего сигнала

Результаты моделирования

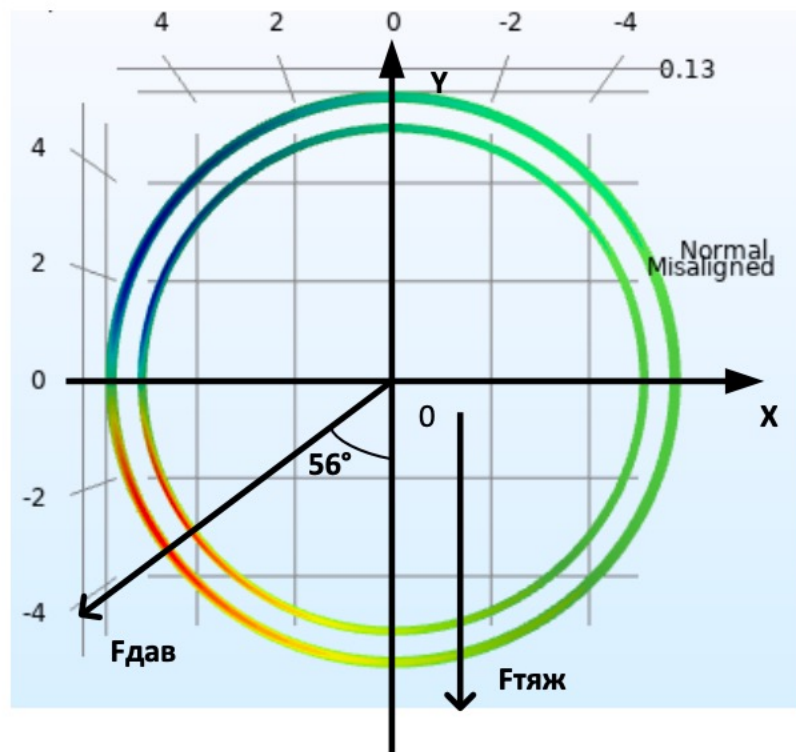


Рисунок 8 – График направления сил давления на опору

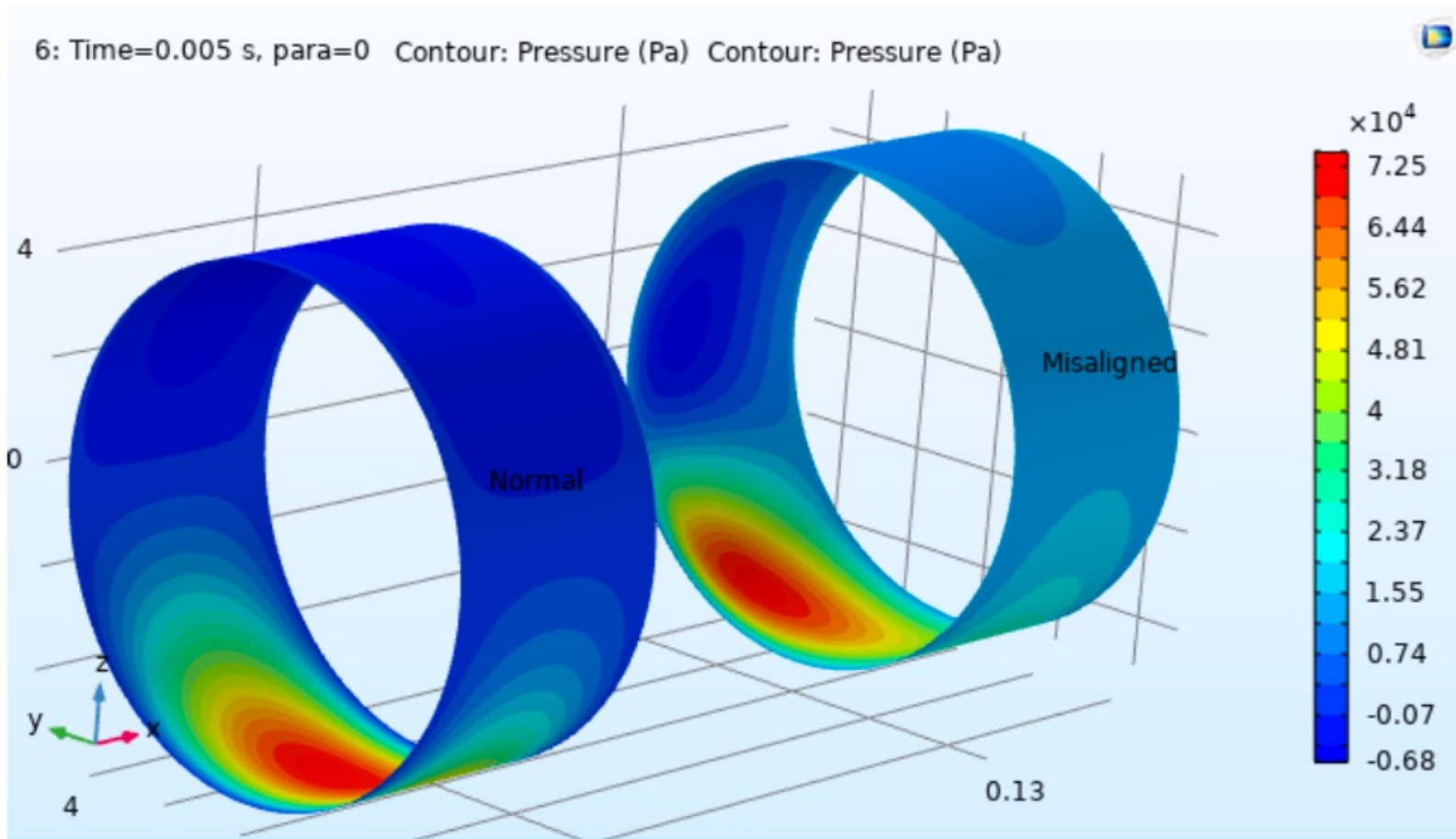


Рисунок 9 – Картина распределения давления вала на опоры

Заключение

Модернизация опорных узлов центробежного насоса и внедрение активных магнитных подшипников значительно повысили эффективность и надежность насосного оборудования. Разработанные математические модели и имитационные исследования в MATLAB Simulink подтвердили стабильность системы при сейсмических возмущениях. Расчеты параметров электромагнита для ротора показали возможность длительной работы без перегрева. Эти результаты открывают путь для дальнейших разработок в области магистральных насосов.