

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ  
ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ**

---

АЛЕКСЕЕНКО ЕГОР АНДРЕЕВИЧ, КУРТА ИВАН ВАЛЕНТИНОВИЧ ДОЦЕНТ ВШТМ И  
МФ, ФИЗМЕХ, К.Т.Н.

28.06.2023

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

# Введение

---

В виду истощения запасов нефти малой и средней вязкости, возникает проблема привлечения углеводородов иного типа в цепочки энергетического комплекса.

Работа с высоковязкими нефтями сопровождается множеством трудностей как при извлечении из пласта, так и при транспортировке.

Сложившиеся вызовы побуждают отрасль искать новые технологии работы с высоковязкими нефтями.



# Сравнение существующих методов

---

## ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Представлены в основном нагревом посредством пара или горячей жидкости.

В основе нагрева лежит явление конвекции, теплопроводности.

Нагрев происходит по поверхности контакта с веществом.

## МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Представлено нагревом за счёт электромагнитного поля.

В основе нагрева лежит выделение тепла за счёт диэлектрических потерь материала.

Нагрев происходит в объеме.

# Цели исследования

---

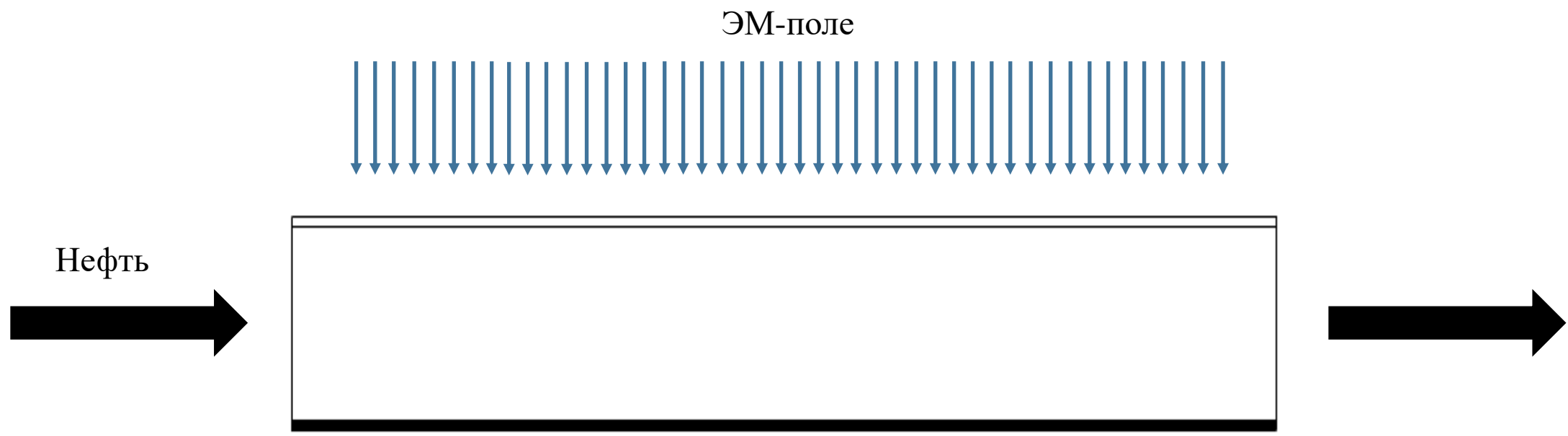
Определить, при воздействии СВЧ-излучения:

1. Поля температур
2. Поля скоростей
3. Поля вязкости

На основе полученных результатов провести анализ течения.

# Базовые положения исследования

---



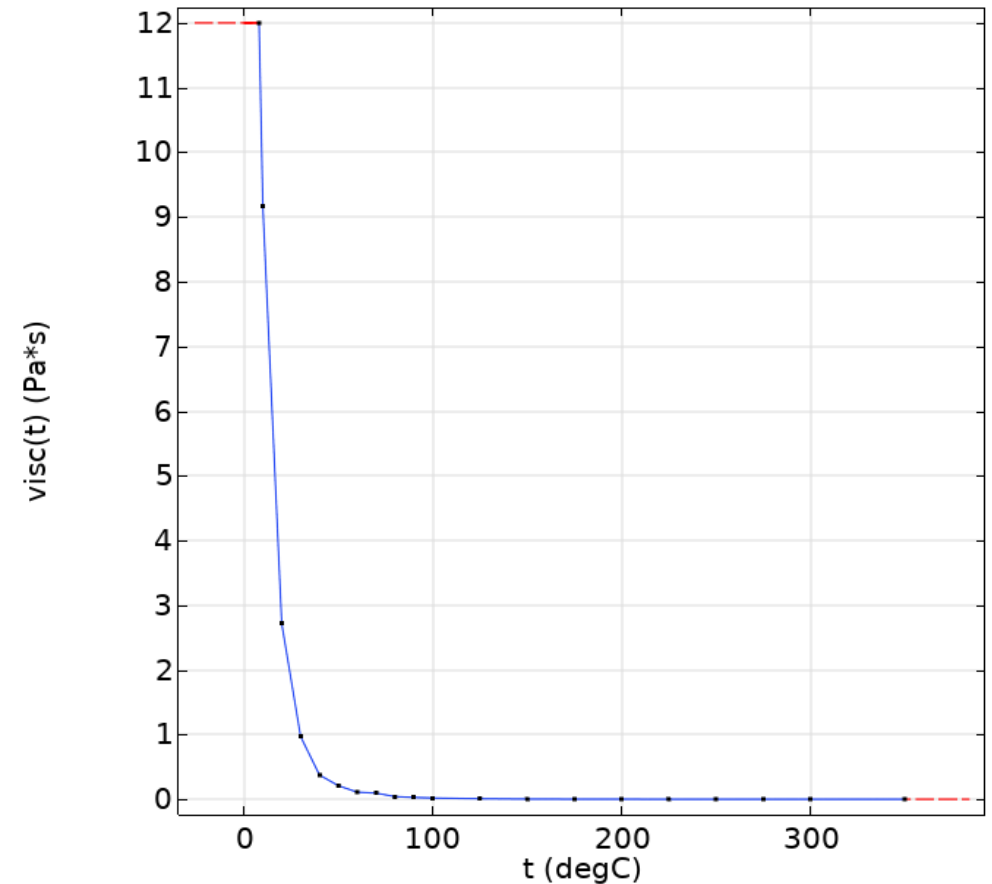
# Базовые положения исследования

Параметры нефти:

Плотность	933.2 КГ/м3
Теплоемкость	2090 Дж/(кг·К)
Теплопроводность	0.2 Вт/(м·К)
Относительная диэлектрическая проницаемость	2.1
Относительная магнитная проницаемость	2

Параметры излучателя:

Мощность	5 кВт
Частота	2450 МГц



# Метод исследования

---

В этой задаче рассматриваются три физических явления:

1. Электромагнитное излучение
2. Теплоперенос
3. Ламинарное течение

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu} \nabla \times \underline{E} \right) - \frac{\omega^2}{c} (\epsilon' - i\epsilon'') \underline{E} = 0 \quad (1)$$

$$Q = 2\pi\epsilon_0\epsilon'' f |\underline{E}|^2 \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \underline{v} \nabla T = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T + \frac{Q}{\rho C_p} \quad (3)$$

$$\rho * \frac{\partial \underline{v}}{\partial t} = -\nabla P + \mu \nabla^2 \underline{v} \quad (4)$$

$$\nabla * \underline{v} = 0 \quad (5)$$

# Алгоритм расчёта

---

Задаются граничные и начальные условия



Решаются уравнения Максвелла



Объемные мощности



Решаются уравнения Навье-Стокса и  
теплопереноса

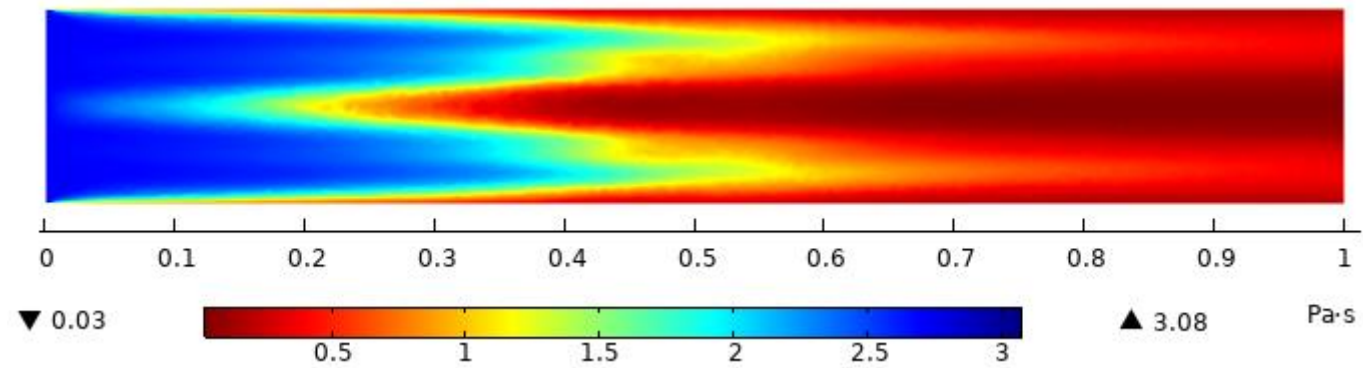
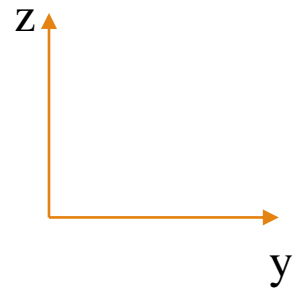


Поля температур, скоростей, вязкости...

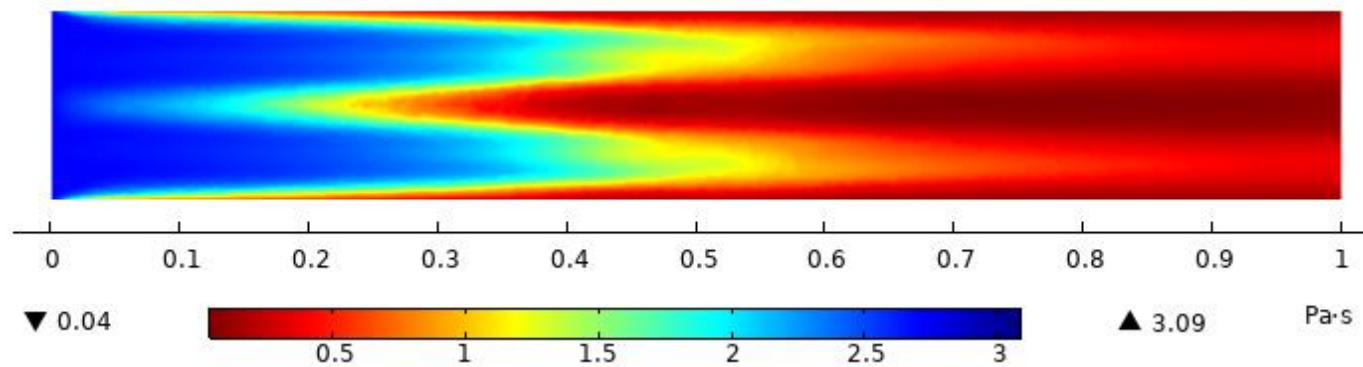


# Результаты

## Динамическая вязкость



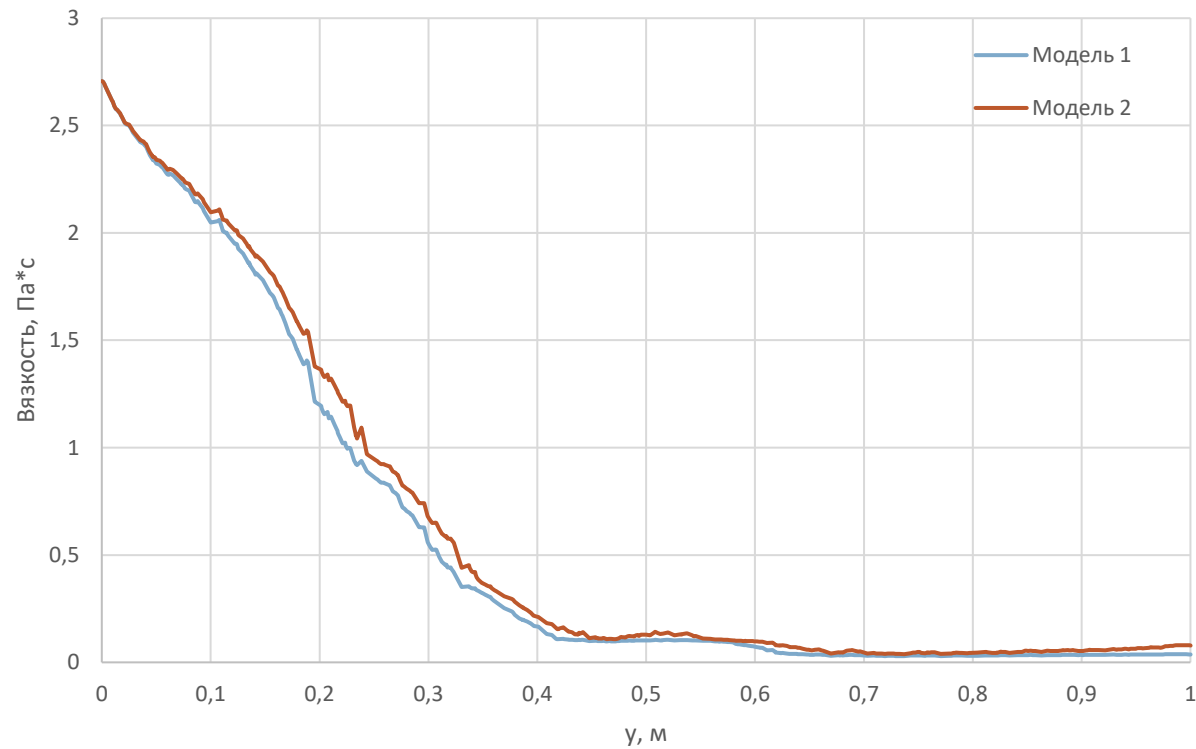
Модель 1



Модель 2

# Результаты

Распределение вязкости вдоль оси трубы

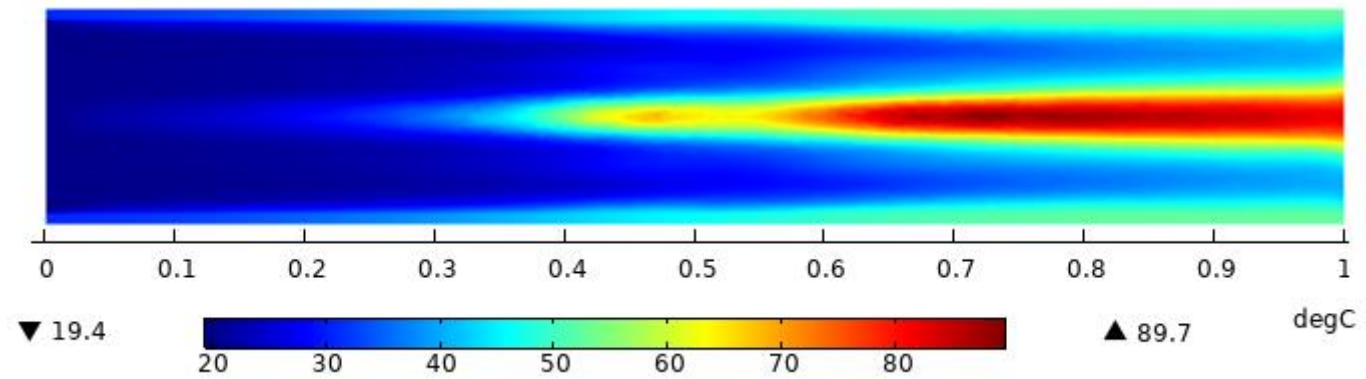
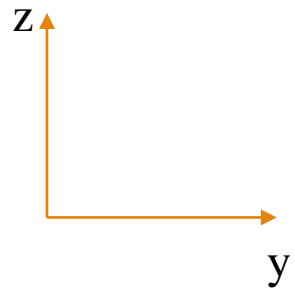


Максимальные и минимальные значения вязкости в объеме трубы

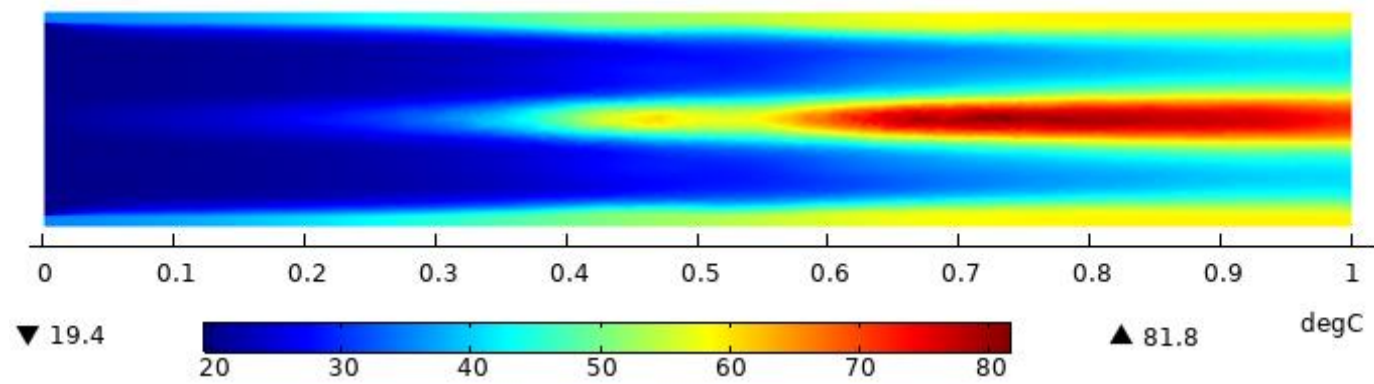
	Вязкость, Па*с	
	Минимум	Максимум
Модель 1	0,03	3,08
Модель 2	0,04	3,09

# Результаты

Температура в продольном сечении (yz)



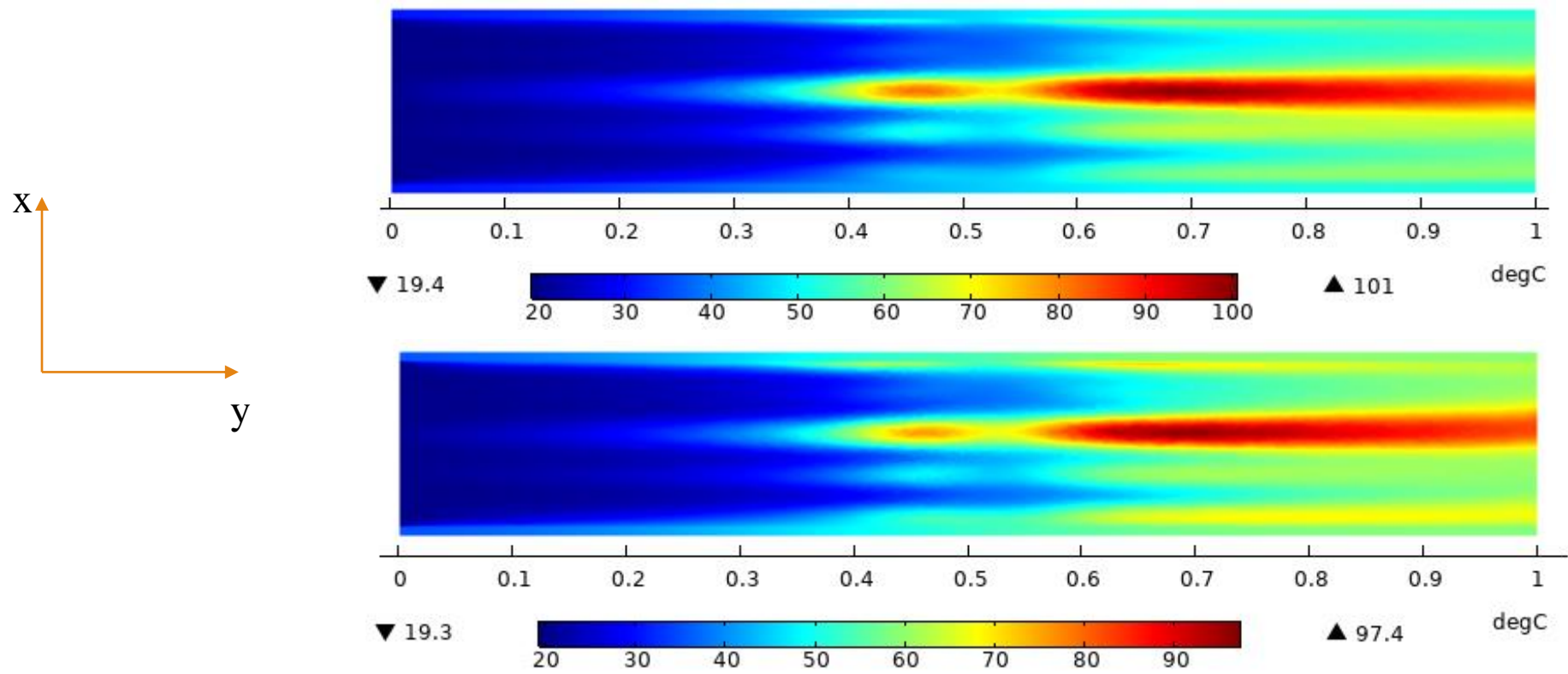
Модель 1



Модель 2

# Результаты

Температура в продольном сечении (ух)



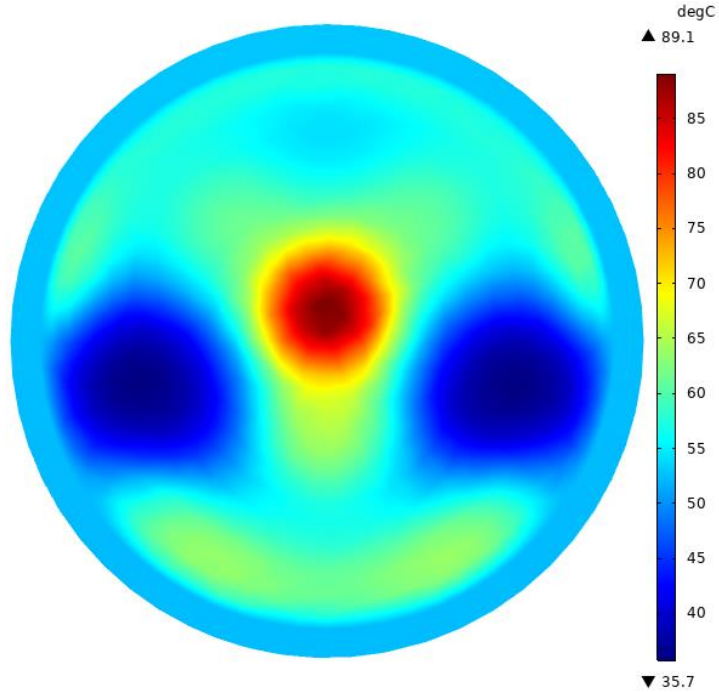
Модель 1

Модель 2

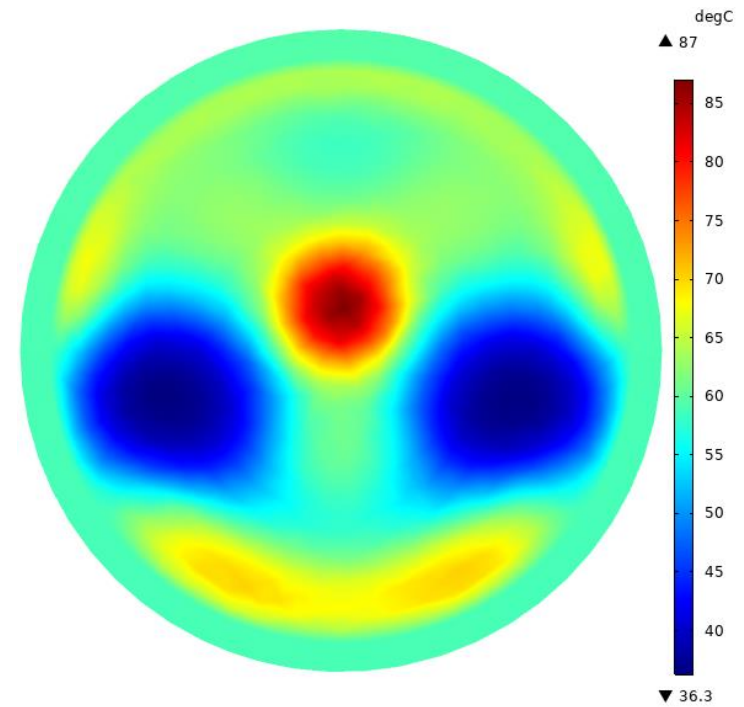
# Результаты

Поля температур в поперечном сечении, при  $y = 0.9\text{м}$

Модель 1

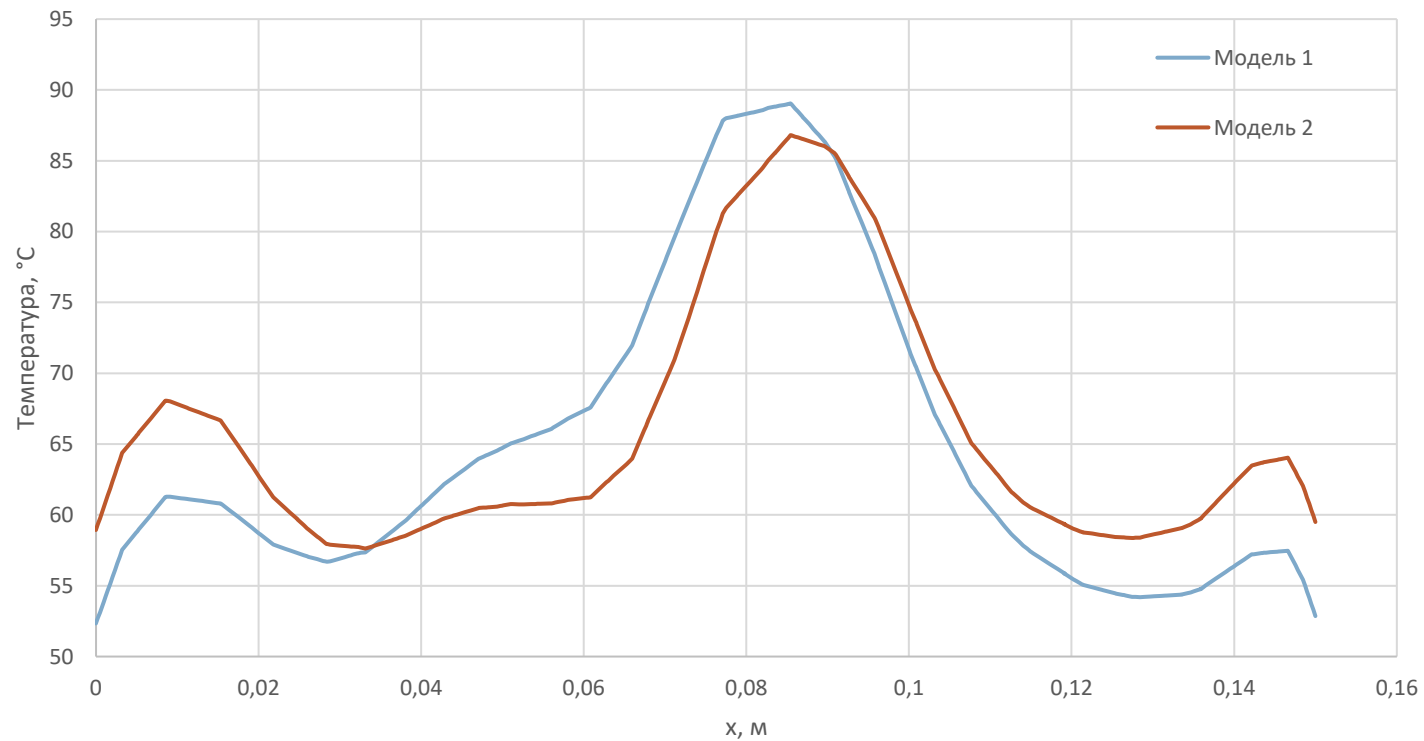


Модель 2



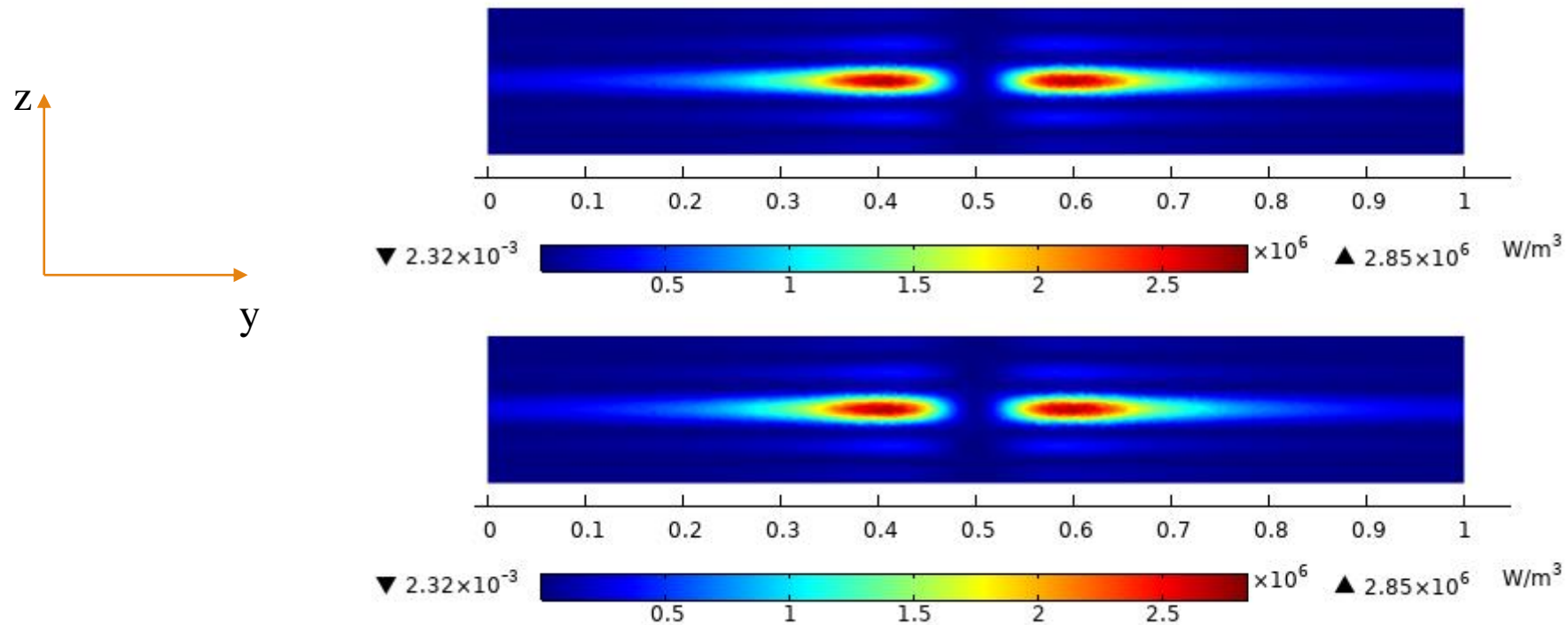
# Результаты

Температура в поперечном сечении вдоль оси x при  $y = 0.5\text{м}$



# Результаты

Тепловые потери поля в продольном сечении

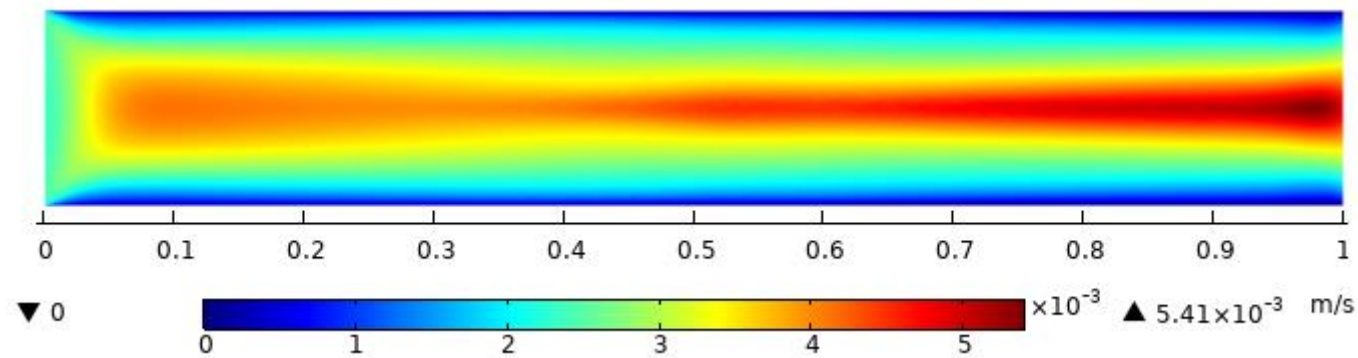
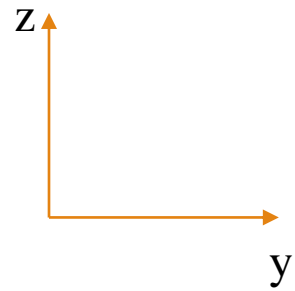


Модель 1

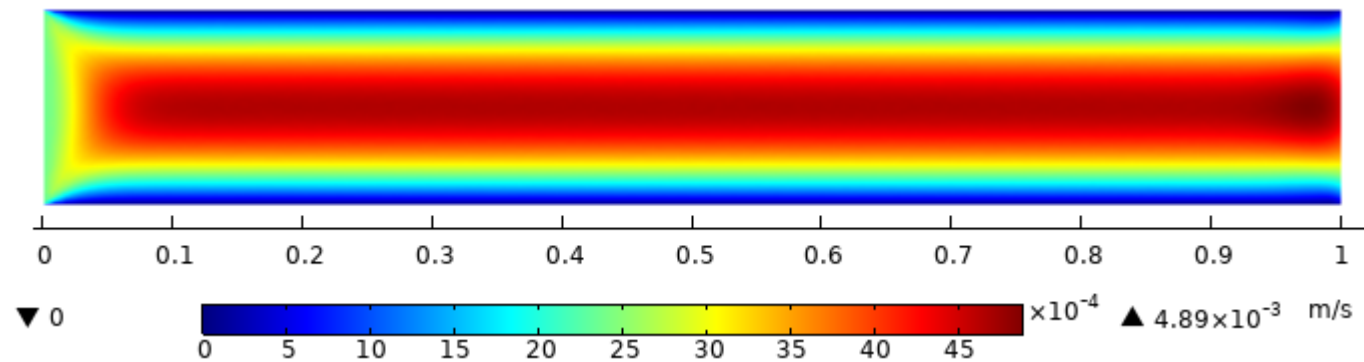
Модель 2

# Результаты

Поля скорости



Модель 1



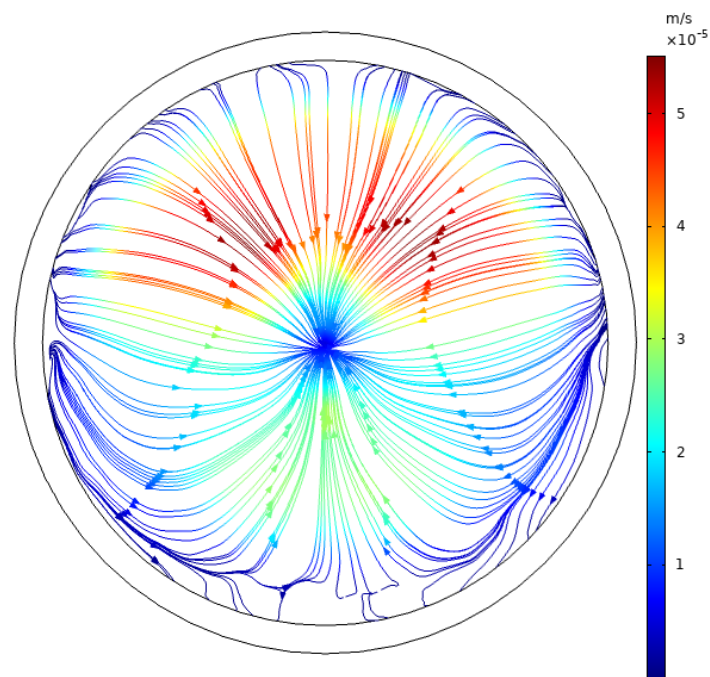
Модель 2



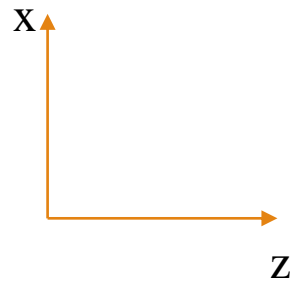
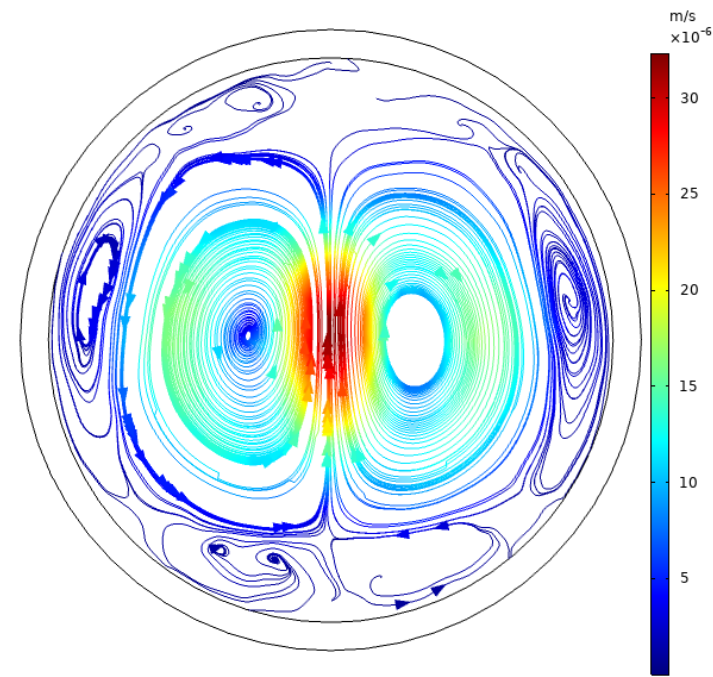
# Результаты

Линии тока в поперечных сечениях,  $y = 0.5$  м

Модель 1



Модель 2

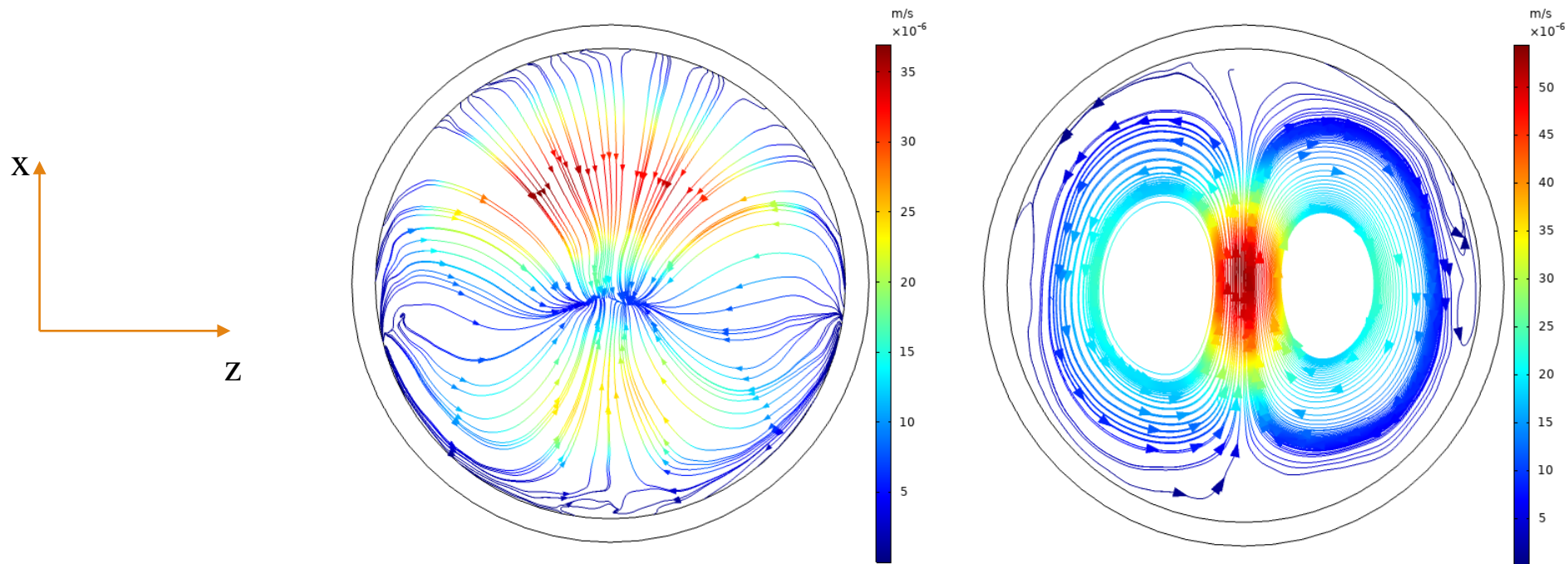


# Результаты

Линии тока в поперечных сечениях,  $y = 0.75$  м

Модель 1

Модель 2

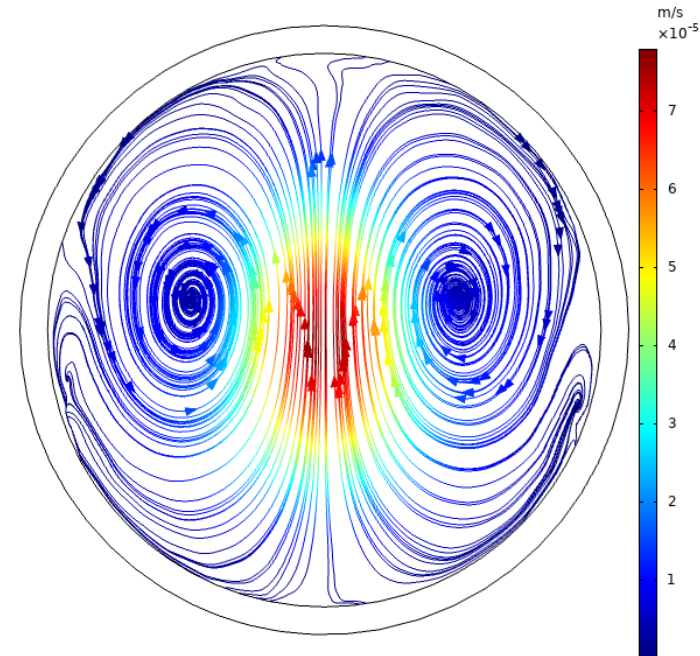
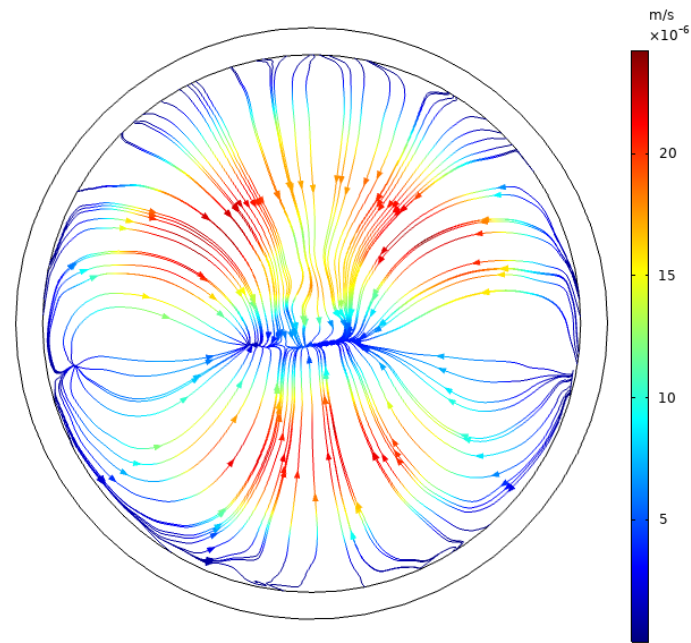
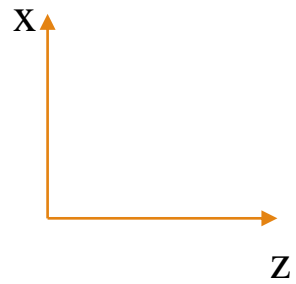


# Результаты

Линии тока в поперечных сечениях,  $y = 0.9$  м

Модель 1

Модель 2



# Выводы

---

- Поля вязкости в обеих постановках практически не отличаются, как по характеру распределения, так и по диапазону принимаемых значений. Наибольшие значения температуры достигаются внутри объема трубы.
- В результате нагрева вязкость нефти по ходу течения канала падает.
- СВЧ – воздействие влияет не только на температуру внутри трубы, но и на вид течения, что отчетливо видно, при рассмотрении линий тока и профилей скорости в сечениях.
- При учёте гравитационного воздействия в течении возникает конвекция из-за чего характер распределения значений температуры внутри объема изменяется.

Спасибо за  
внимание

---