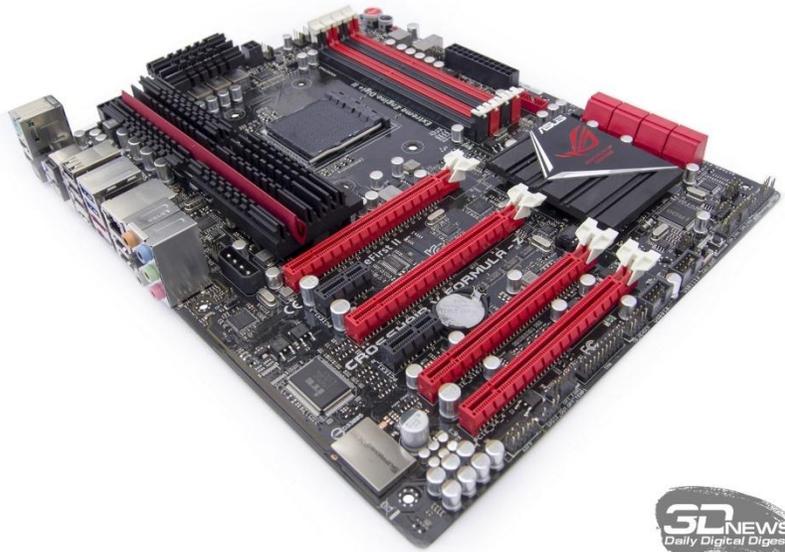
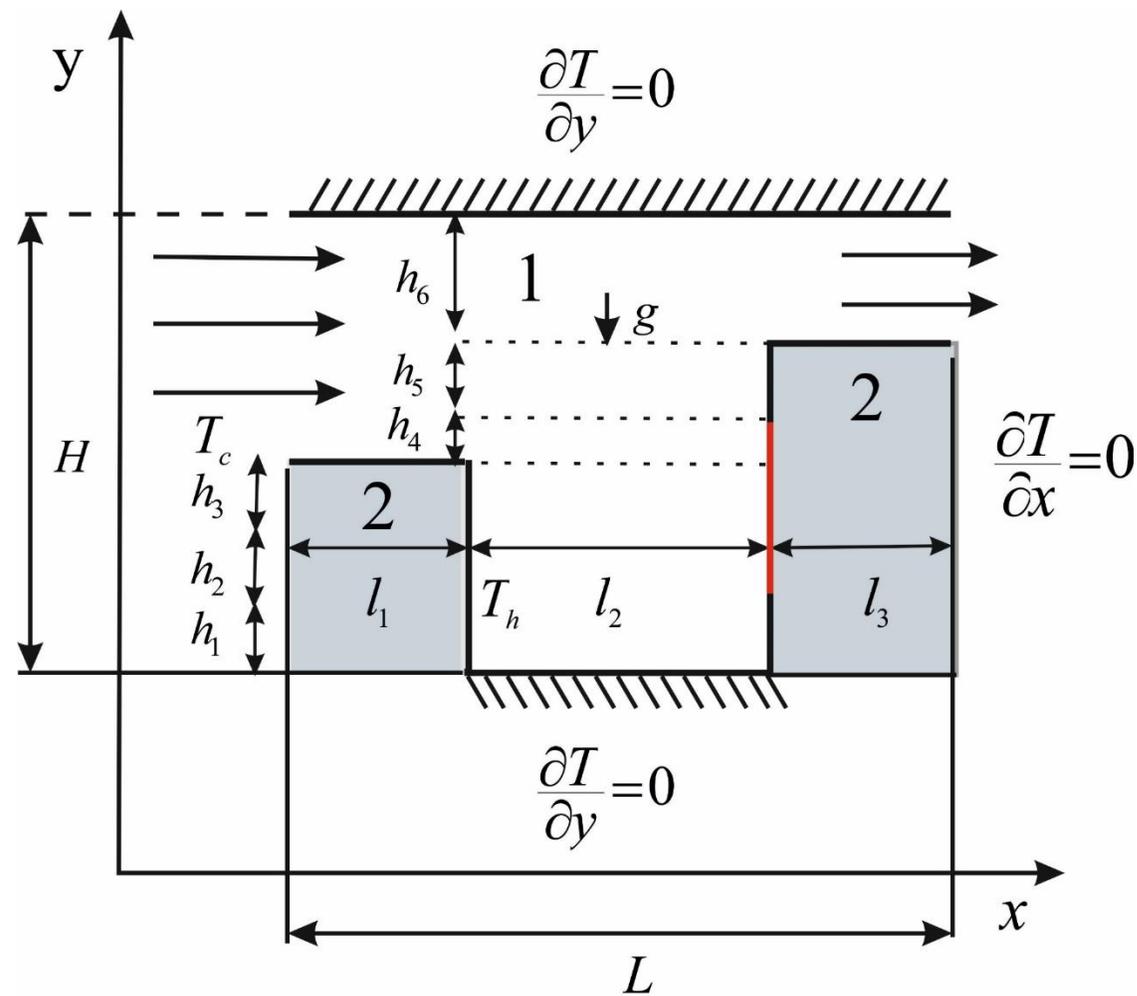
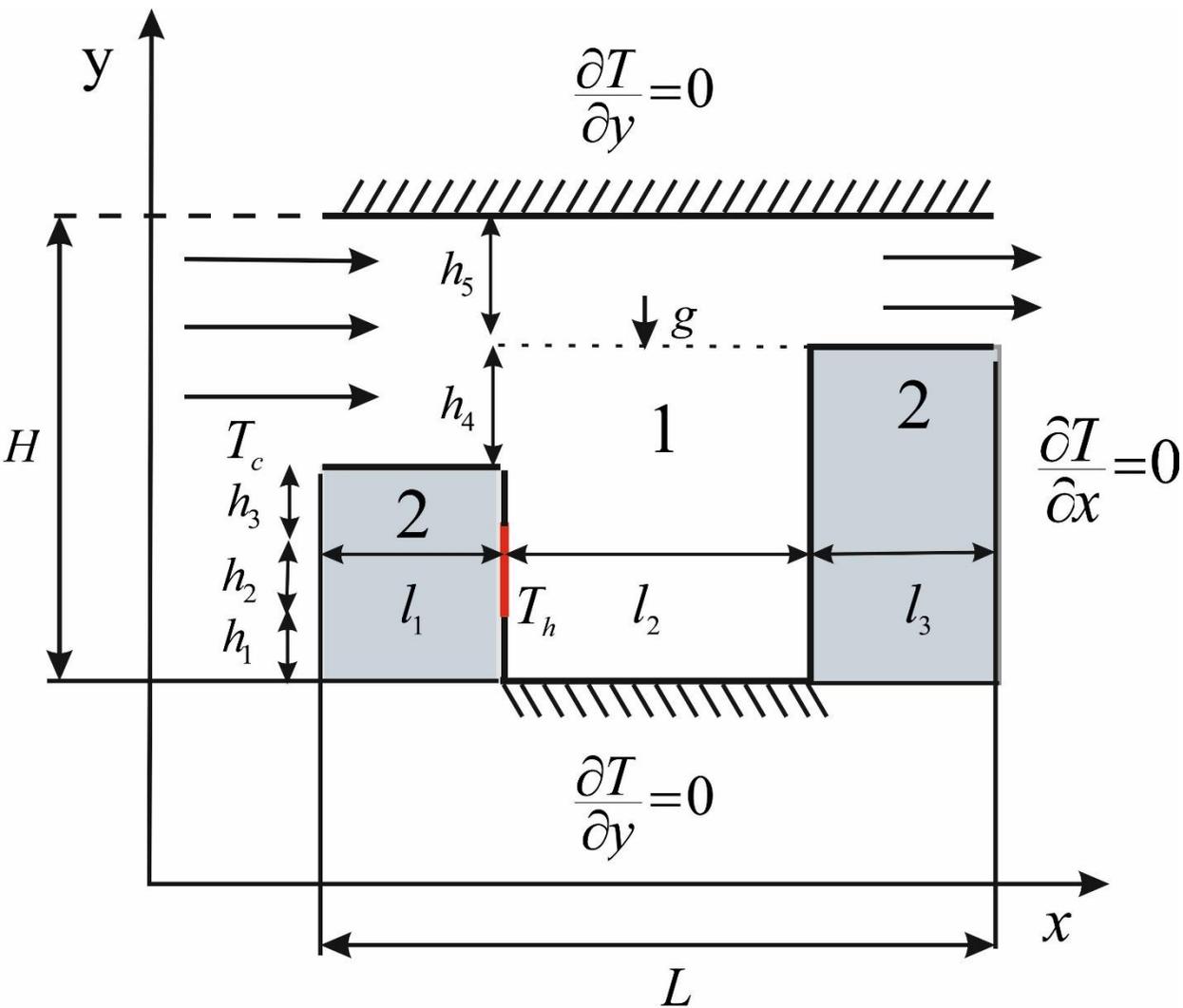


**Влияние положения источника  
энергии на режимы сопряженной  
смешанной конвекции в  
полуоткрытой полости**

Докладчик Носонов И  
И



# Постановка задачи.



# Математическая модель

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \cdot \left( \frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \text{Ri} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial X}$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \cdot \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{a_{1,2}}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \cdot \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right)$$

$$X = 0, \quad \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L} \leq Y \leq 1, \quad \Psi = Y - \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L}, \quad \Omega = 0, \quad \Theta = 0;$$

$$X = \frac{l_1}{L}, \quad 0 \leq Y \leq \frac{h_1}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \lambda_{1,2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X};$$

$$X = \frac{l_1}{L}, \quad \frac{h_1}{L} \leq Y \leq \frac{h_1 + h_2}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \Theta = 1;$$

$$X = \frac{l_1}{L}, \quad \frac{h_1 + h_2}{L} \leq Y \leq \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \lambda_{1,2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X};$$

$$X = \frac{l_1 + l_2}{L}, \quad 0 \leq Y \leq \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \lambda_{1,2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X};$$

$$X = 1, \quad \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{L} \leq Y \leq 1, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial X} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0;$$

$$Y = 0, \quad \frac{l_1}{L} \leq X \leq \frac{l_1 + l_2}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0;$$

$$Y = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L}, \quad 0 \leq X \leq \frac{l_1}{L}, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0;$$

$$Y = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{L}, \quad \frac{l_1 + l_2}{L} \leq X \leq 1, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0;$$

$$Y = 1, \quad 0 \leq X \leq 1, \quad \Psi = 1 - \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L}, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0.$$

Уравнения решались конечно разностным методом на равномерной сетке с использованием неявной двухслойной схемы. Для аппроксимации конвективных слагаемых применялась схема второго порядка точности, для диффузионных слагаемых – центральные разности. Уравнения параболического типа решались на основе локально одномерной схемы А.А. Самарского, то есть вводился промежуточный временной слой. Полученные в результате дискретизации дифференциальной задачи разностные уравнения разрешались методом прогонки. Аппроксимация уравнений Пуассона для функции тока проводилась с помощью пятиточечного шаблона “крест”. Полученные разностные уравнения были решены методом последовательной верхней релаксации. Оптимальное значение параметра релаксации подбиралось на основе вычислительных экспериментов.

# Влияние сетки

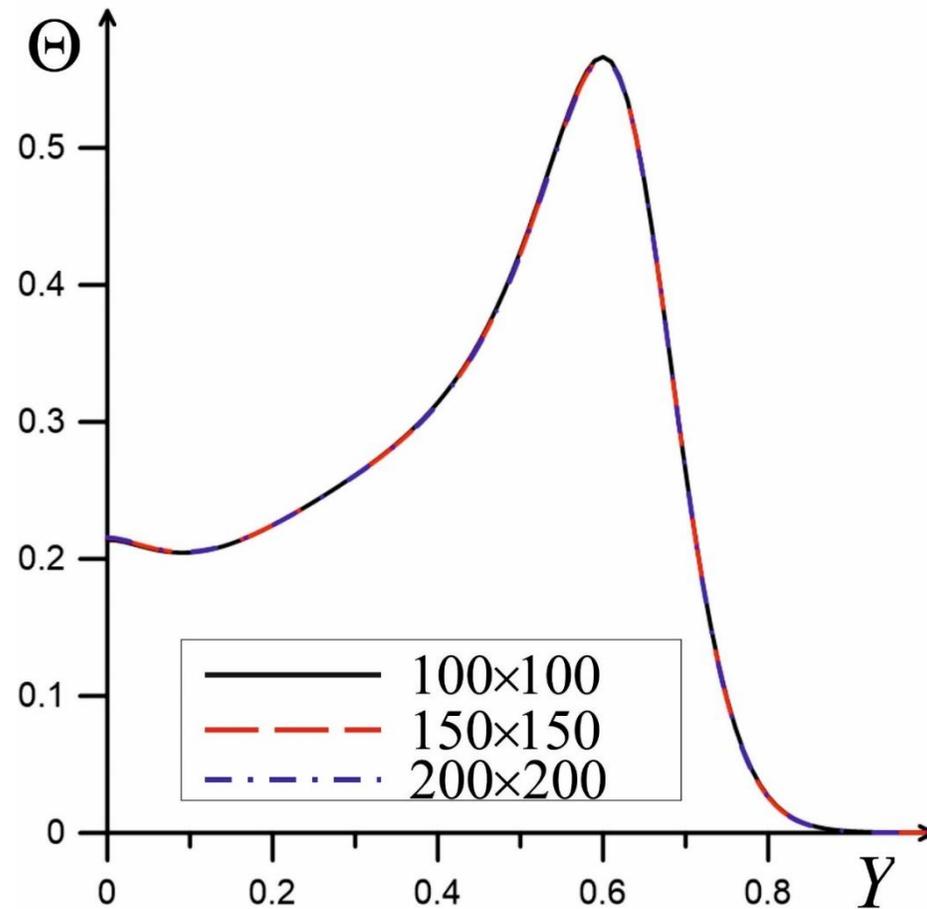


Рисунок 2 – Влияние сеточных параметров на профили температуры в сечении  $X=0.6$ .

*Последующие вычисления проводятся при  $Ri=1.4$ ,  $Re=100$ ,  $Pr=0.7$ ,  $\tau=100$ .*

# Результаты

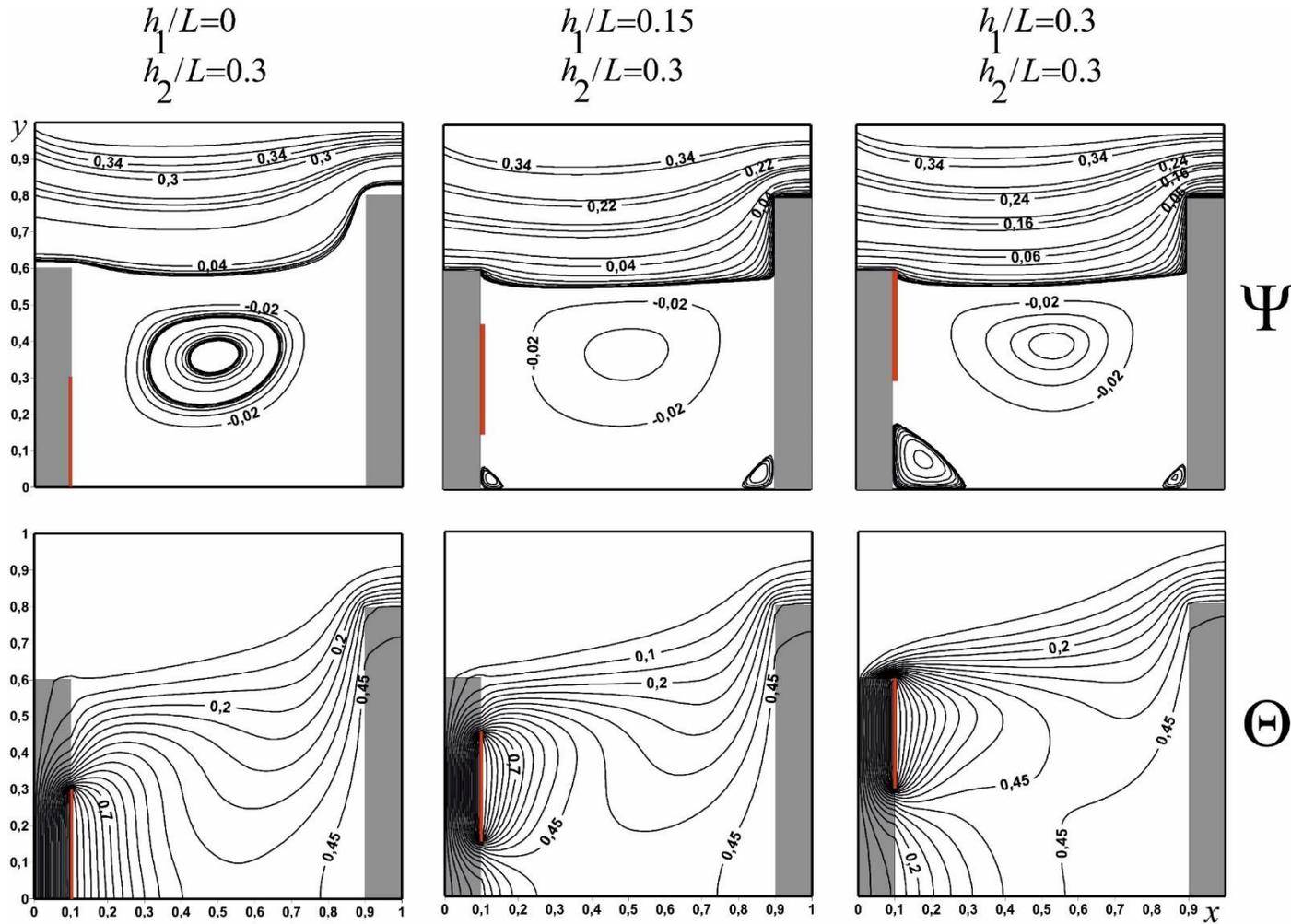


Рисунок 3а – Линии тока  $\Psi$  и изотермы  $\Theta$  при различных положениях источника энергии  $\tau = 100$

$$Nu_{avg} = \frac{L}{h_2} \int_{h_1/L}^{(h_1+h_2)/L} \left( -\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right) dY$$

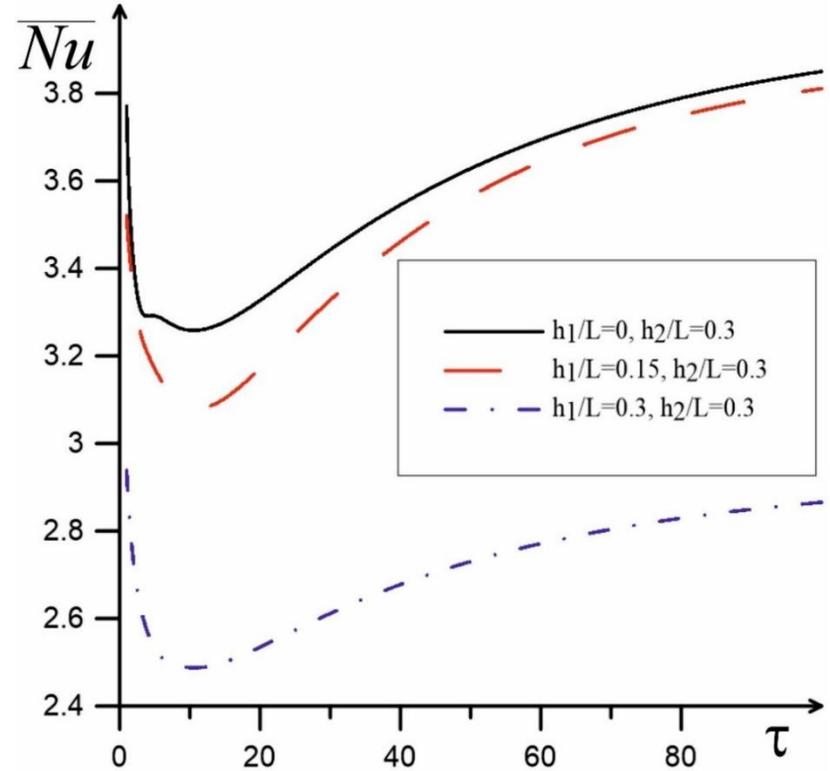


Рисунок 3б – влияние положения источника энергии на среднее число Нуссельта

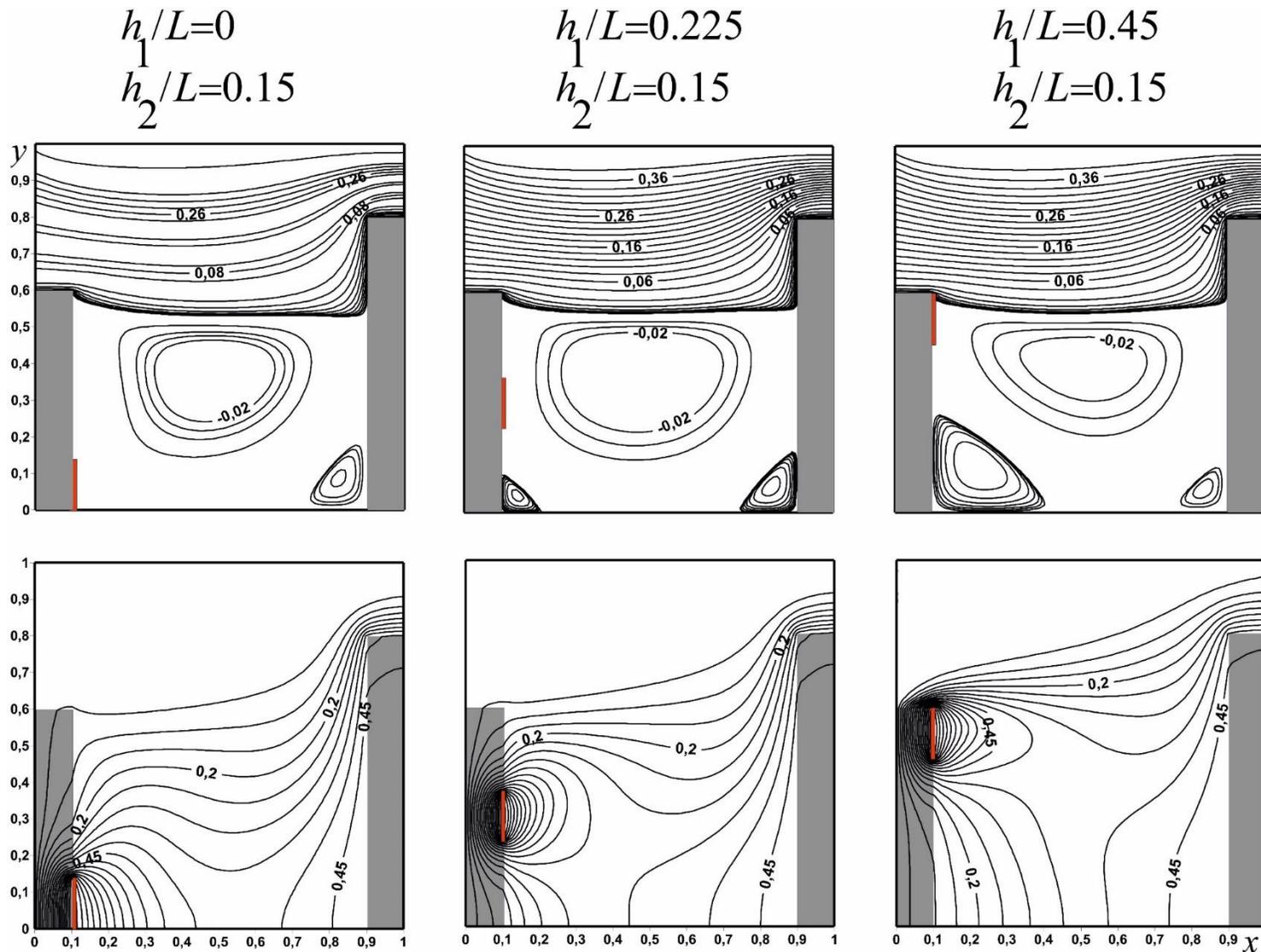


Рисунок 4а – Линии тока  $\Psi$  и изотермы  $\Theta$  при различных положениях источника энергии  $\tau = 100$

$$\text{Nu}_{\text{avg}} = \frac{L}{h_2} \int_{h_1/L}^{(h_1+h_2)/L} \left( -\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right) dY$$

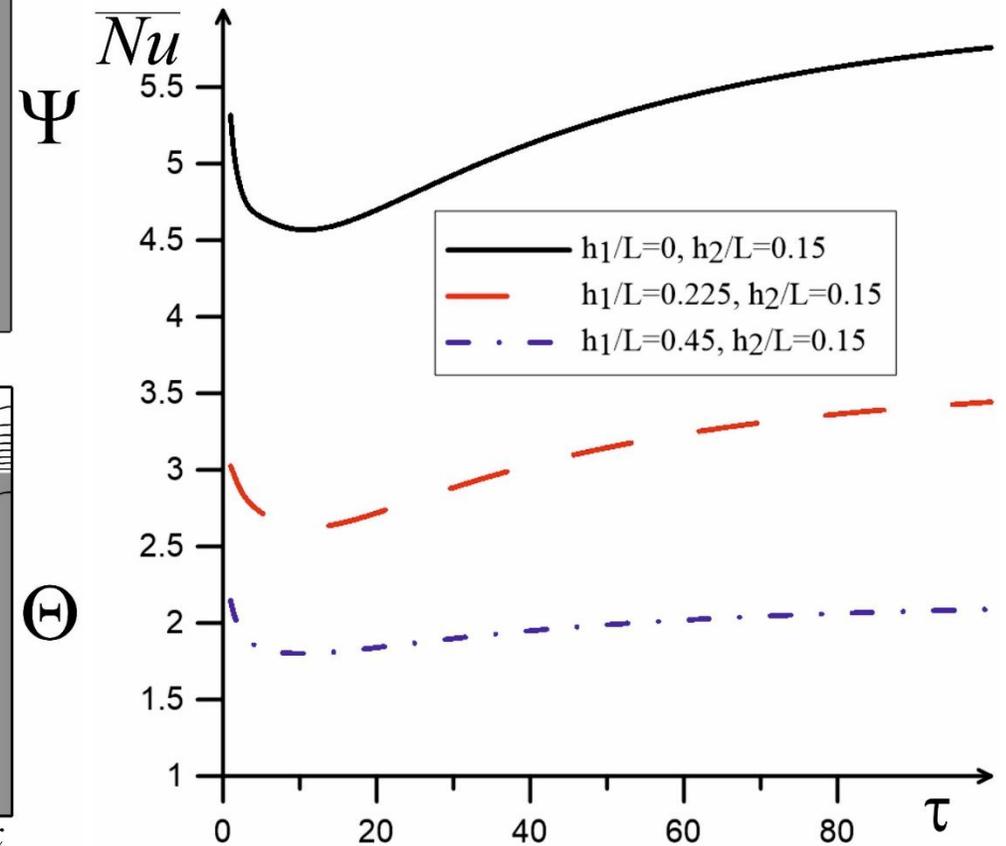


Рисунок 4б – влияние положения источника энергии на среднее число Нуссельта

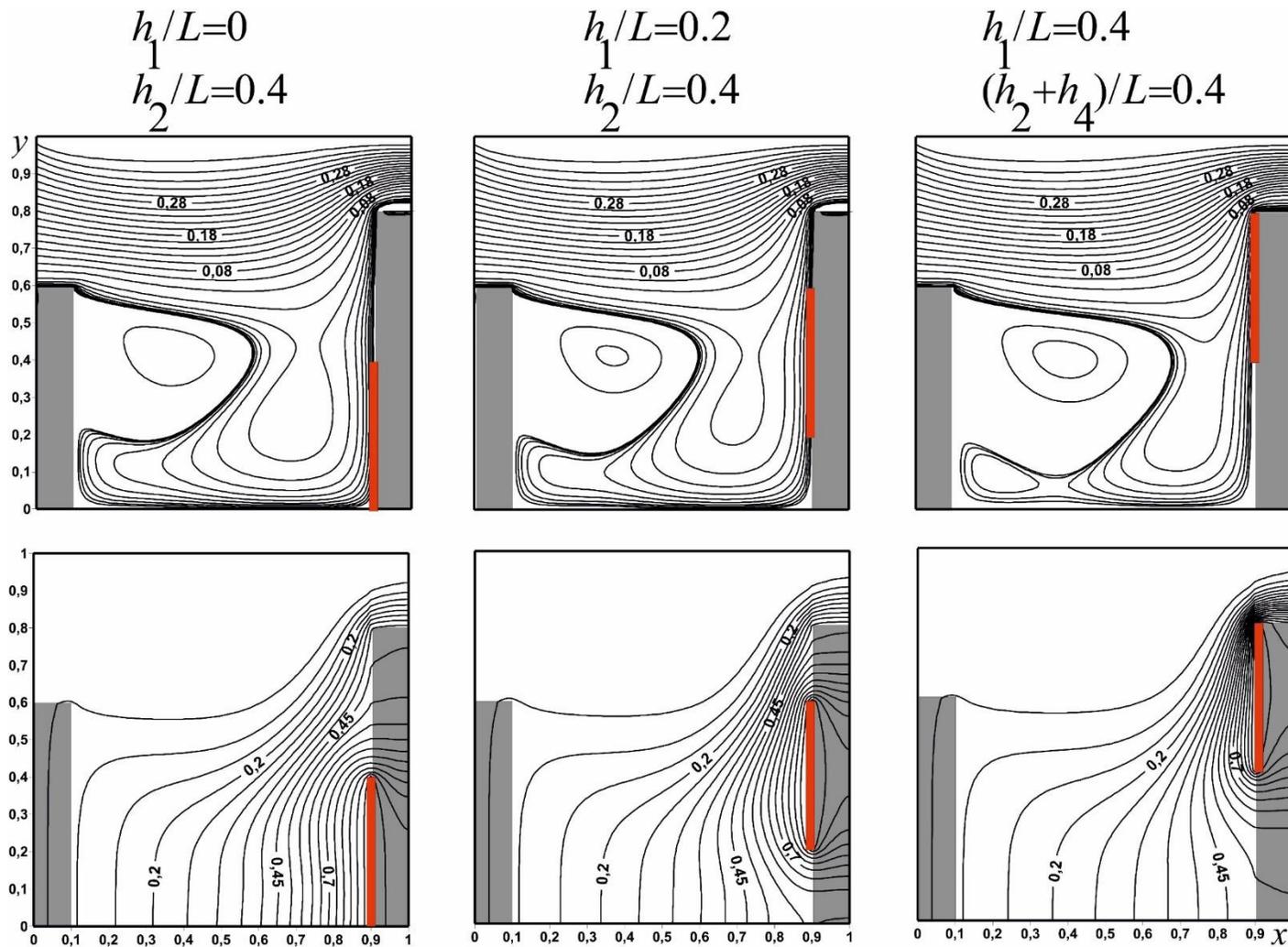


Рисунок 5а – Линии тока  $\Psi$  и изотермы  $\Theta$  при различных положениях источника энергии  $\tau = 100$

$$Nu_{avg} = \frac{L}{h_2} \int_{h_1/L}^{(h_1+h_2)/L} \left( -\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right) dY$$

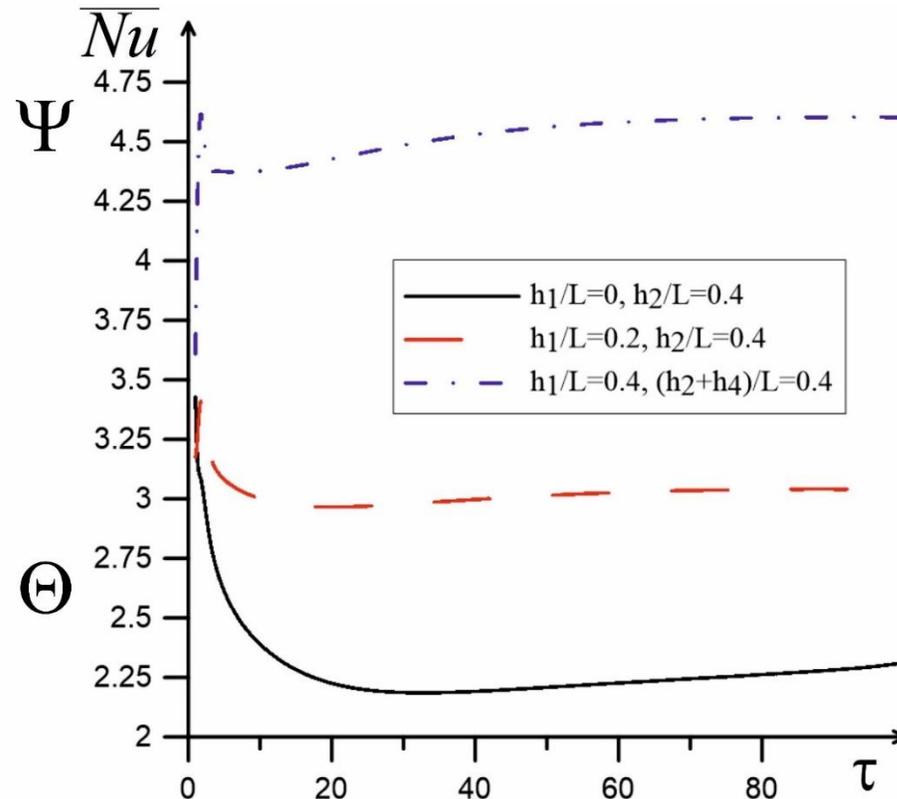
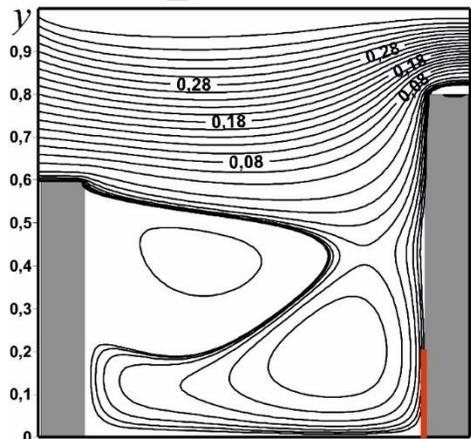


Рисунок 5б – влияние положения источника энергии на среднее число Нуссельта

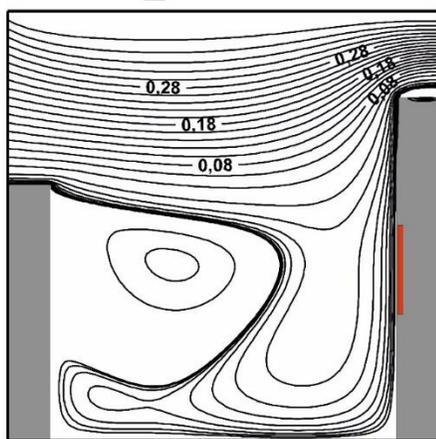
$$h_1/L=0$$

$$h_2/L=0.2$$



$$h_1/L=0.3$$

$$h_2/L=0.2$$



$$h_1/L=0.6$$

$$h_4/L=0.2$$

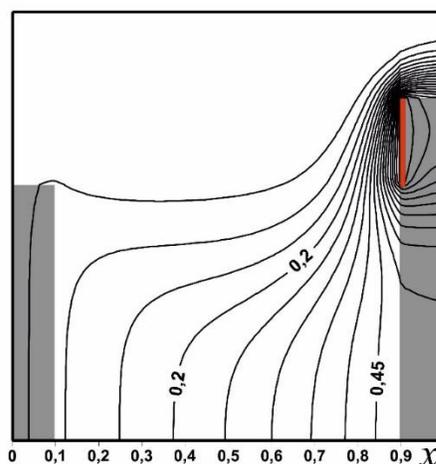
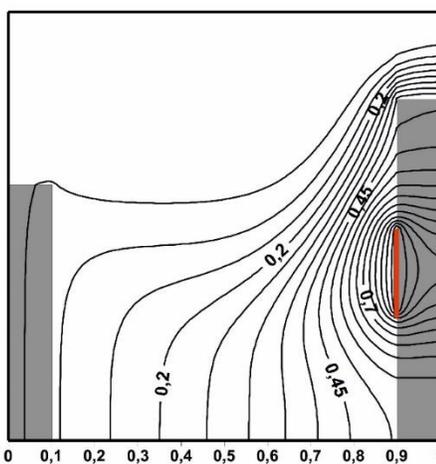
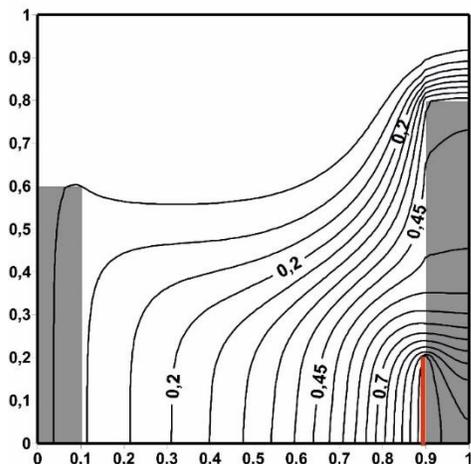
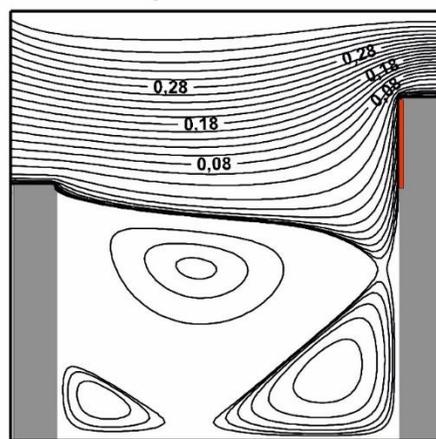


Рисунок 6а – Линии тока  $\Psi$  и изотермы  $\Theta$  при различных положениях источника энергии  $\tau = 100$

$$Nu_{\text{avg}} = \frac{L}{h_2} \int_{h_1/L}^{(h_1+h_2)/L} \left( -\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right) dY$$

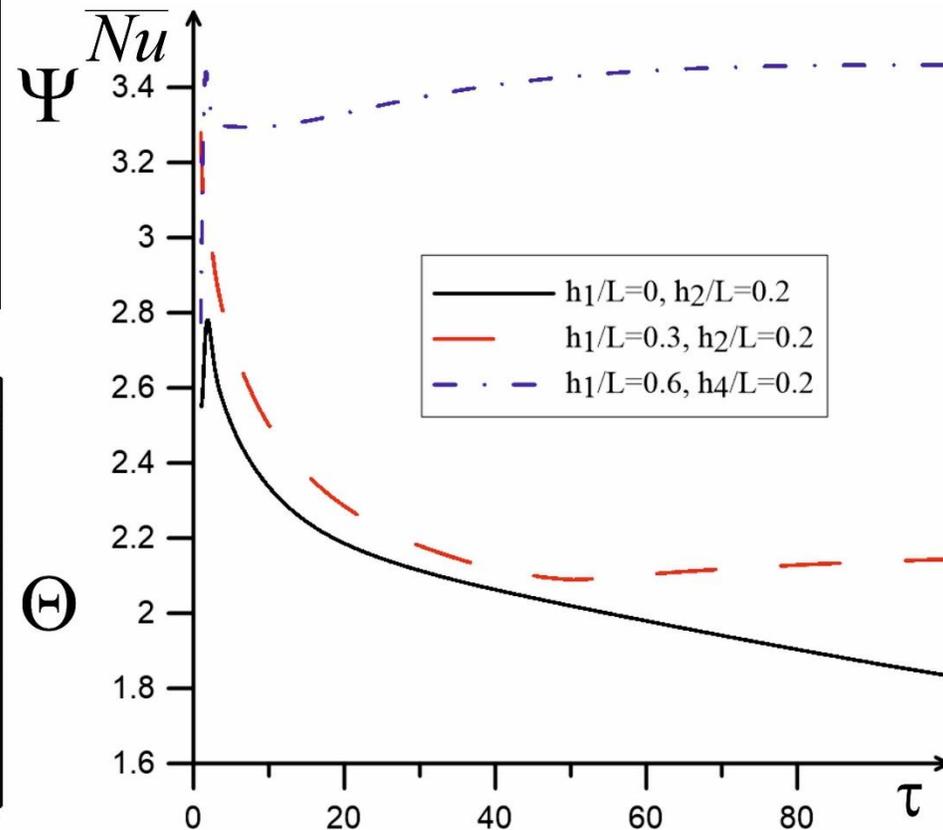


Рисунок 6б – влияние положения источника энергии на среднее число Нуссельта

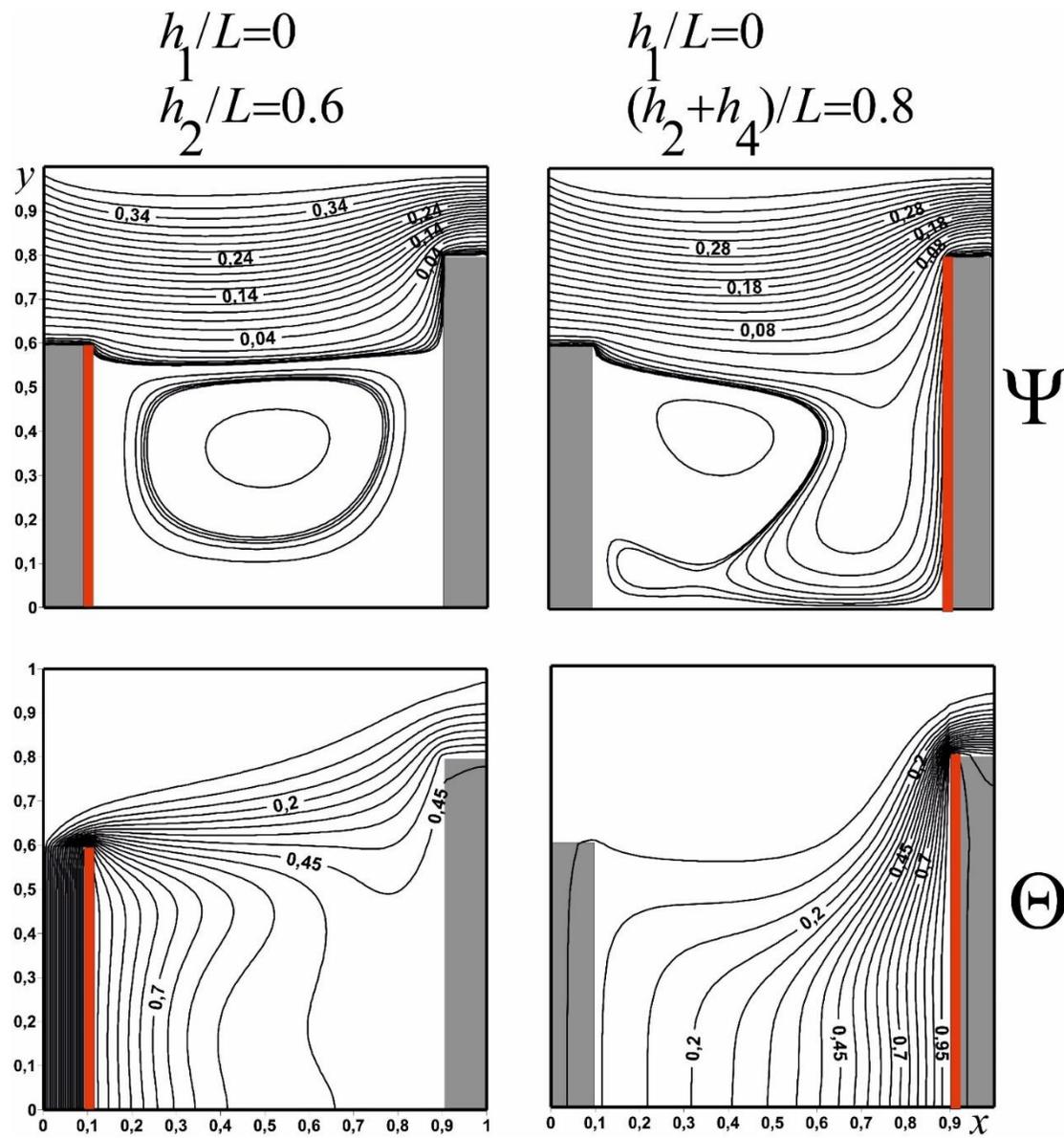


Рисунок 7а – Линии тока  $\Psi$  и изотермы  $\Theta$  при различных положениях источника энергии  $\tau = 100$

$$Nu_{avg} = \frac{L}{h_2} \int_{h_1/L}^{(h_1+h_2)/L} \left( -\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right) dY$$

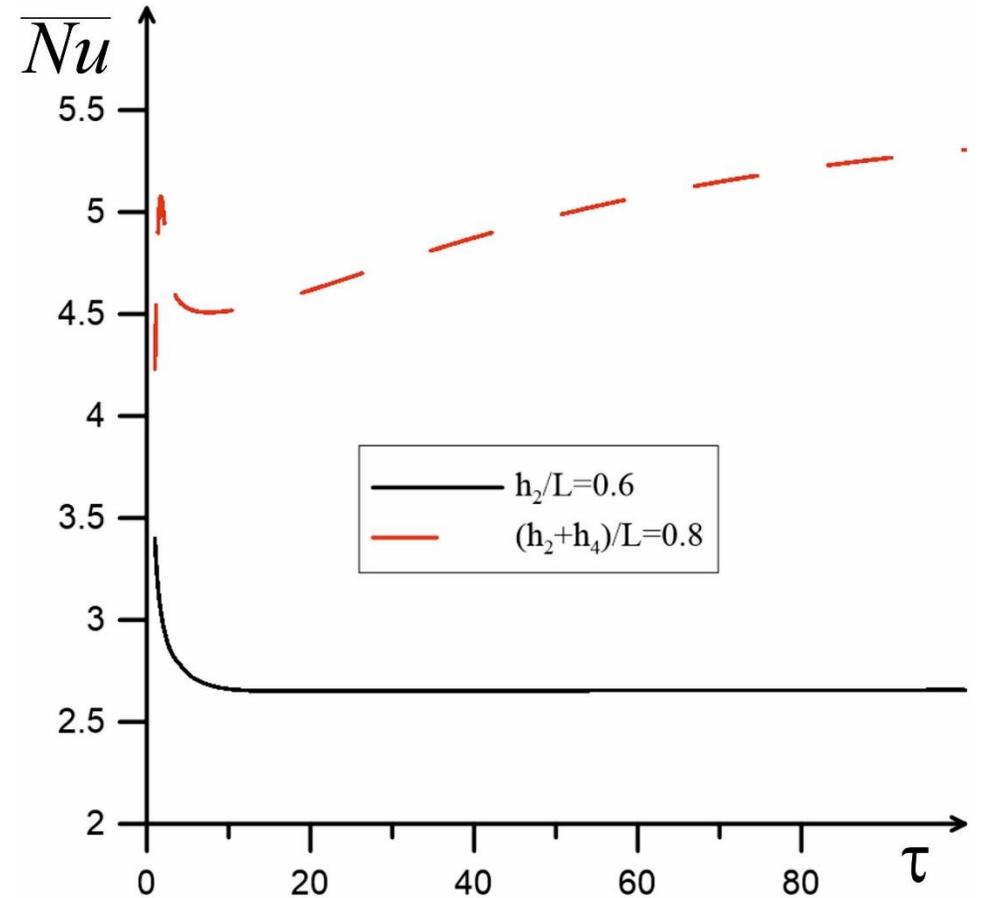


Рисунок 7б – влияние положения источника энергии на среднее число Нуссельта

# Заключение

Проведен анализ нестационарных режимов смешанной конвекции в полости с входным и выходным отверстиями и при наличии локального источника энергии постоянной температуры. Исследования проведены в широком диапазоне изменения определяющих параметров:  $Ri = 1.4$ ;  $Re = 100$ ;  $Pr = 0.7$ ;  $0 \leq \tau \leq 100$ . Получены распределения изолиний функции тока и температуры, а также среднего числа Нуссельта в зависимости от размера изотермического участка  $h/L$  и его расположения на стенках. В результате установлено, что

## 1. Источник энергии расположен на левой стенке.

При изменении положения источника из крайнего нижнего в крайнее верхнее происходит увеличение размера основного вихря и образование дополнительных зон завихренности. Из графиков поля температуры видно, что изменяются зоны охлаждения полости: в первом случае над источником, во втором сверху и под источником, в третьем под источником. Из графика изменения среднего числа Нуссельта в зависимости от времени можно сказать, что чем выше источник к входному отверстию тем ниже среднее число Нуссельта так как это приводит к уменьшению интенсивности теплообмена. При уменьшении источника энергии происходит увеличение размеров вихря и увеличению интенсивности теплообмена, что отражается в росте среднего числа Нуссельта.

## 2. Источник энергии расположен на правой стенке.

Из рисунка 5а видно, что при изменении положения источника энергии снизу в верх происходит увеличение левого вихря. Его увеличение приводит к уменьшению области входящего холодного потока во впадину и увеличению интенсивности теплообмена. Увеличение Нуссельта в верхнем положении источника энергии, так же характеризуется тем что холодный поток течет прямо на изотермическую стенку, что приводит к большему теплосъему энергии. Зоны охлаждения меняются так же как в случае источника с лева. При уменьшении источника энергии значения среднего числа Нуссельта уменьшаются.

На рисунке 7а представлено сравнение двух случаев, когда источник слева и справа. Отличие источника энергии справа от источника энергии слева, в том что основной вихрь смещается к левой стенке. В результате между вихрем и источником образуется зазор, через который во впадину поступает холодный поток прямо на изотермическую стенку. За счет этого увеличивается интенсивность теплообмена как показано на рисунке 7б.