

### 1. Введение

В различных областях техники широко применяются различного рода теплообменники, в которых, в результате интенсификации теплообмена, может быть достигнуто снижение их массогабаритных показателей при заданных значениях теплового потока, гидравлических потерь, расходов и температур теплоносителей; в ряде случаев задачей является снижение температурного уровня поверхности теплообмена при фиксированных режимных и конструктивных характеристиках. Расчётные методы исследования интенсификации теплообмена при турбулентном течении в трубах разработаны ещё недостаточно. Часто они опираются на упрощённые модели сложных физических явлений, при этом допущения приводят к значительной разнице между расчётными и экспериментальными данными. Экспериментальные данные по теплообмену справедливы только для определённого вида течений и типоразмеров турбулизаторов, на которых были проведены опытные исследования. В связи с этим необходима разработка новых, более точных, чем существующие теоретических методов исследования интенсификации теплообмена при турбулентном течении в трубах. В рамках данного исследования под интенсификацией теплообмена понимаются применение искусственных турбулизаторов потока на поверхности, а также шероховатые поверхности [2, 9]. Модель предполагает

двумерную шероховатость. Рассматриваются двумерные поверхности с турбулизаторами, которые применимы и для труб с периодическими диафрагмами.

### 2. Модель интенсификации теплообмена

Теплообмен при течении в каналах теплоносителей с постоянными теплофизическими свойствами в условиях интенсификации теплообмена моделируется четырёхслойной схемой турбулентного потока [1, 4, 5]. Впервые подобная схема расчёта теплообмена была использована в работах [6-8], а затем существенным образом усложнена в работах [1, 4, 5]. Применим данную модель расчёта теплообмена при турбулентном течении в каналах в условиях интенсификации теплообмена без применения дополнительных допущений, сделанных как в работах [7-9], так и в работах [3-5]. Теперь следует перейти к непосредственному рассмотрению каждого из подслоя.

1. Вязкий подслой. Вязкий подслой располагается в следующей окрестности:

$$R \in \left[ 1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}} \sqrt{\frac{32}{\xi}}; 1 \right], \text{ где } R \text{ — безразмерный радиус трубы (отношение расстояния от оси трубы } r \text{ к радиусу трубы } R_0);$$

$\eta_1 = 5$  — постоянная, характеризующая безразмерную толщину вязкого подслоя [1],  $\xi$  — коэффициент сопротивления трению. В области вязкого подслоя принимается, что: