

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ В КАНАЛЕ ТРЕУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

В процессах абсорбции, десорбции и ректификации важным фактором для эффективной массопередачи в массообменных аппаратах с регулярно-структурированной насадкой является равномерное распределение жидкости на поверхности и хорошая смачиваемость. Ранее мы экспериментально исследовали несколько вариантов регулярно-структурированных насадок и определили наиболее эффективную, название которой зигзагообразная [1, 2]. Мы изучили гидродинамику и определили режимы движения фаз. Известно, что жидкость в каналах насадки движется в виде тонких пленок и струек. Так как гидродинамика пленки еще не исследована, мы смоделируем ее в канале зигзагообразной насадки. Для этого будем использовать программный пакет ANSYS FLUENT.

Целью работы является компьютерное моделирование гидродинамики пленки жидкости в канале треугольного сечения, которое позволит определить ее скорость и структуру как на поверхности плоских стенок, так и в углах канала.

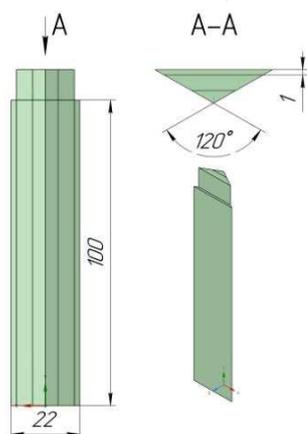


Рисунок 1 – Модель канала треугольного сечения

Нами была подготовлена осесимметричная 3D модель третьей части треугольного канала высотой 100 мм и шириной 22 мм. Входное отверстие для жидкой фазы расположено на верхнем торце по периметру, ширина которого 1 мм.

Модель канала с геометрическими размерами изображена на рисунке 1.

Чтобы задать начальные параметры и начать этап компьютерного моделирования определим число Рейнольдса на входе в канал. Нам известно, что расход жидкости  $Q$ , м<sup>3</sup>/с составляет  $1,38 \cdot 10^{-6}$ ,  $2,77 \cdot 10^{-6}$ ,  $4,16 \cdot 10^{-6}$ . Тогда число Рейнольдса пленки  $Re$  определим по формуле (1):

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\nu}, \quad (1)$$

где  $\Gamma$  – линейная плотность орошения, м<sup>2</sup>/с;  $\nu$  – кинематическая вязкость воды, м<sup>2</sup>/с.

Линейная плотность орошения определяется по формуле (2):

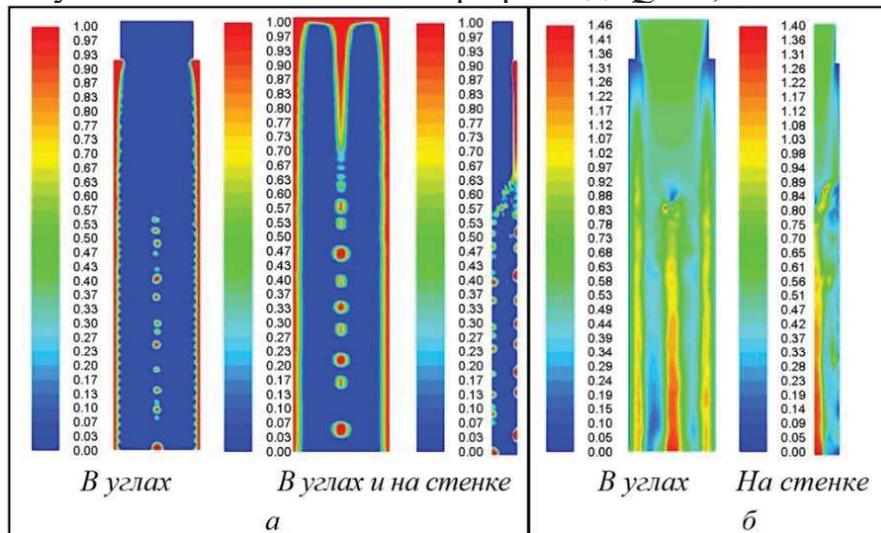
$$\Gamma = \frac{Q}{\Pi}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – смоченный периметр поперечного сечения канала, м.

Определено, что числа Рейнольдса для данных расходов лежат на промежутке 83-252. Им соответствует ламинарно-волновой режим  $20 \leq Re_{пл} \leq 1600$ . Следовательно для моделирования будем использовать модель ламинарного течения жидкости.

Нами экспериментально определен краевой угол смачивания статическим методом лежащей капли воды на образце из оргстекла ( $73-76^\circ$ ). Следовательно эти параметры будем использовать для моделирования.

На рисунке 2 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости в углах и на стенке канала при расходе  $Q = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ .



а – объемная доля, б – скорость

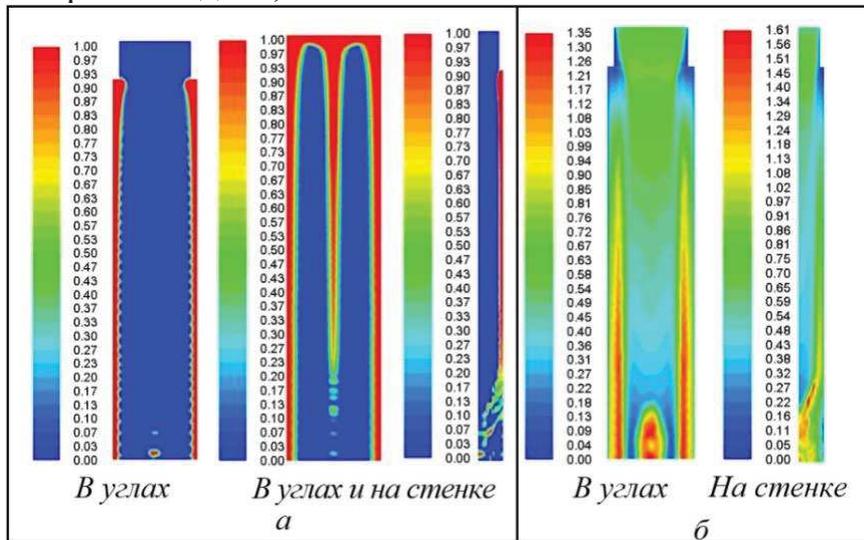
**Рисунок 2 – Контурные струек воды в канале треугольного сечения**

Из рисунка 2 а видно, что вода течет по стенкам канала и в его углах в виде струек и капелек. Скорость воды на входе в канал равна 0,063 м/с. На поверхности струек наблюдается волновая структура. Скорость струек (рисунок 2 б) увеличивается с приближением их к выходу канала и достигает своего максимума 1,3 м/с.

На рисунке 3 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости течения в углах и на стенке канала при расходе  $Q = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ . Результаты рисунка 3 имеют не существенные различия по сравнению с 2. Но стоит отметить, что при данном расходе струйка воды на стенке канала (рисунок 3 а) имеет более целостную структуру и разделяется на капли у самого выхода. Максимальная скорость воды 1,35 м/с.

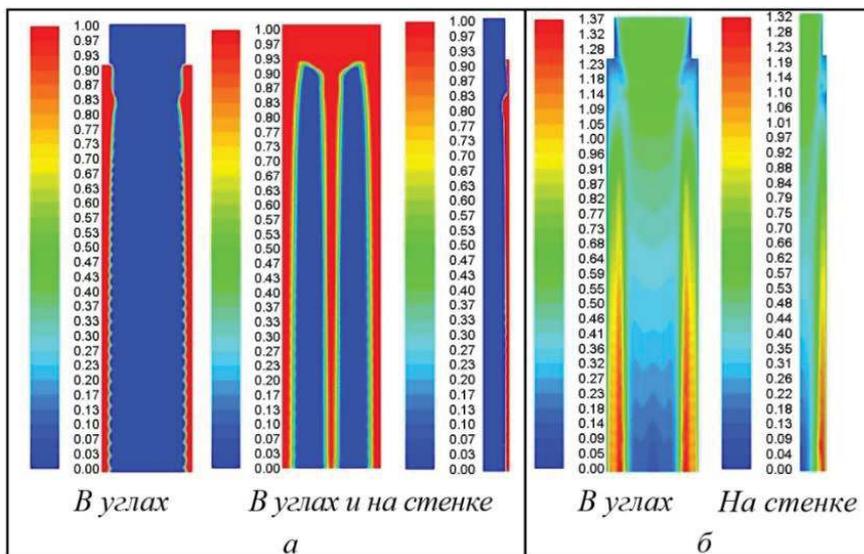
На рисунке 4 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости течения в углах и на стенке канала при расходе

$Q = 4,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ . На рисунке 4 а видно, что стенка у входа смочена значительно больше, а струйки жидкости на стенке и в углах имеют большую ширину и толщину по сравнению с рисунком 2, 3. Максимальная скорость воды 1,37 м/с.



а – объемная доля, б – скорость

**Рисунок 3 – Контуры струек воды в канале треугольного сечения**



а – объемная доля, б – скорость

**Рисунок 3 – Контуры струек воды в канале треугольного сечения**

В заключении можно сказать, что при максимальном расходе наблюдается наилучшее смачивание стенок канала и целостность структуры струек. Максимальная скорость составила 1,37 м/с, что подтверждается значением скорости, полученной по формуле Торричелли, которое равно 1,4 м/с. Полное смачивание канала насадки не достигнуто, однако нам известно, что необходимо изменить для достижения этого результата. Цели поставленные в начале работы достигнуты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 44–49.

2. П.Е. Вайтехович, Д.Ю. Мытько, А.М. Волк. Влияние геометрических параметров регулярной структурированной насадки на гидродинамику и массообмен // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 67–71.

УДК 621.565.93/.95-0.46.54(043.3)

Е.С. Данильчик, ассист.; А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;  
В.Н. Фарафонов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМЕНУ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ ОДНОРЯДНЫХ ПУЧКОВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ С КРУГЛЫМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ РЕБРАМИ**

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) получили распространение в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях, в системах воздушного отопления и вентиляции, благодаря их экологичности и отсутствия потребности в охлаждающей воде. Теплообменные аппараты в основном эксплуатируются в режиме вынужденной конвекции воздуха на привод которых затрачивается огромное количество электроэнергии. Одним из действенных направлений реализации энергосберегающих технологий является расширенное применение свободной конвекции с уменьшением или исключением теплообменных процессов с вынужденной конвекцией.

В работе проведено обобщение полученных результатов в ходе экспериментального исследования однорядного пучка из шести труб, представленного в работе [1]. Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами следующие: наружный диаметр оребрения  $d = 56,0$  мм; диаметр трубы по основанию  $d_0 = 26,8$  мм; высота ребра  $h = 14,6$  мм; шаг ребра  $s = 2,5$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,5$  мм; коэффициент оребрения трубы  $\phi = 19,3$  (I тип,  $h / s = 5,84$ ). Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь, длина трубы  $l_{\text{н}} = 330$  мм (теплоотдающая длина  $l = 300$  мм). Диаметр несущей трубы  $d_{\text{н}} = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Для изменения