



УДК 66.048.3.069.835

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И МАССООБМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАПАННЫХ ТАРЕЛОК НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD АНАЛИЗА

STUDY OF HYDRODYNAMIC AND MASS TRANSFER CHARACTERISTICS OF VALVE TRAYS ON A LABORATORY BENCH USING CFD ANALYSIS

Литовских Данил Львович

магистрант
кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
litovskihdanil@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
churakovack@rambler.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору и апробации лабораторного стенда на клапанных тарелках. Расчет тепло-массообменных характеристик. Расчет перепада давления на сухое контактное устройство методом CFD анализа.

Ключевые слова: ректификация, клапанные тарелки, массообменные характеристики, гидродинамика, CFD.

Litovskikh Danil Lvovich

Under-Graduate of Department of
Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
litovskihdanil@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
churakovack@rambler.ru

Annotation. This article is devoted to the review and testing of a laboratory bench on valve trays. Calculation of heat and mass transfer characteristics. Calculation of pressure drop across a dry contact device by CFD analysis.

Keywords: rectification, valve plates, mass transfer characteristics, hydrodynamics, CFD.

Наибольшее влияние на эффективность массопереноса оказывают гидродинамические и конструктивные факторы, определяющие интенсивность и характер взаимодействия контактирующих фаз [1]. Коэффициент массопередачи отражает уровень интенсификации процесса: чем больше величина K , тем меньших размеров требуется аппарат для передачи заданного количества вещества. С точки зрения оценки энергозатрат на процесс массообмена представляет интерес также изучение перепада давления на контактные устройства.

Наиболее широкое распространение в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности получили клапанные тарелки имеют. Основные преимущества этих тарелок – способность обеспечить эффективный массообмен в большом интервале рабочих нагрузок, несложность конструкции, низкая металлоемкость и невысокая стоимость [2].

Рассмотрим лабораторный стенд на котором проводилось исследование гидродинамических и массообменных характеристик клапанных тарелок. Он представляет из себя цилиндрическую ректификационную колонну диаметром 200 мм, с 3-мя тарелками. Испытания проводились на системе вода-воздух. Есть возможность устанавливать различные тарелки в данный аппарат, что говорит об универсальности данной лабораторной установки. На рисунке 1 представлена схема лабораторной установки [3].

Установка позволяет измерить: температуры сред на входе и на выходе, влагосодержание воздуха на входе и на выходе. Регулируемыми параметрами выступают расход воздуха и воды.

Для проведения лабораторного эксперимента были созданы опытные образцы клапанных тарелок. Тарелка представляет собой полотно с диаметром 230 мм и 4 подвижными клапанами.

Опытные данные представлены в таблице 1.

Определение массообменных характеристик осуществлялось по влагосодержанию воздуха на входе и выходе в колонну, объемный расход и скорость воздуха.

$$y = 0,622 \frac{\varphi P_c}{B - \varphi P_c}, \quad (1)$$

где φ – влагосодержание, %;
 P_c – давление насыщенных водяных паров, мм.рт.ст.;
 B – барометрическое давление, мм.рт.ст.

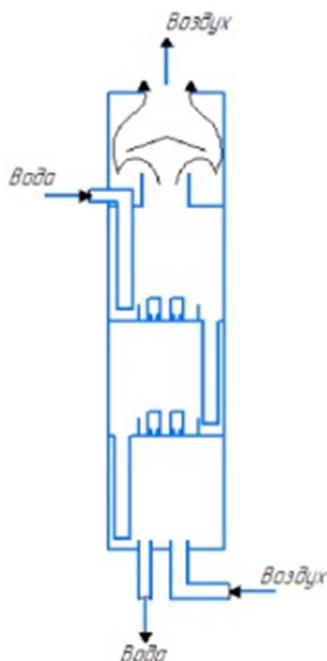


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда

Таблица 1 – Опытные данные

№ п/п	ΔP _д , Па	Воздух				Вода	
		t _{гн} , °C	φ _н , %	t _{гк} , °C	φ _к , %	t _{жн} , °C	t _{жк} , °C
1	120	24,8	44,3	16,4	74,4	15,9	15,5
2	646	24,9	44	16,6	75,2	17,4	15,6
3	963	25,9	42	16,8	74,6	18	16
4	1400	27,6	39,5	17,4	74,1	18,4	16,5
5	1650	29,1	36,6	18,4	73,1	19,6	17,7
6	2360	30,9	34,6	19,5	71,6	20,3	18,7

$$V = \sqrt{2\Delta P}, \tag{2}$$

где ΔP – перепад давления на диафрагме, Па.

$$\omega = \frac{4V}{\pi \cdot 0,2^2 \cdot 3600}. \tag{3}$$

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета влагосодержания

№ п/п	Объемный расход воздуха V, м ³ /ч	Скорость воздуха на свободное сечение ω, м/с	Массовый расход воздуха G, кг/ч	U _н	U _{рн}	U _к	U _{рк}
1	21,91	0,19	25,90	0,0088	0,0163	0,0088	0,0118
2	50,83	0,45	60,09	0,0087	0,0172	0,0090	0,0120
3	62,06	0,55	73,37	0,0089	0,0215	0,0090	0,0121
4	81,24	0,72	96,03	0,0093	0,0261	0,0098	0,0135
5	97,16	0,86	114,85	0,0098	0,0291	0,0103	0,0144

Далее была определена средневдвижущая сила тепло и массообмена, количество испарившейся воды, и коэффициенты массо- и теплопередачи. Результаты расчета представлены в таблице 3.



Таблица 3 – Результаты эксперимента

№ п/п	Массовый расход испарившейся влаги $L_{и}$, кг/ч	Средняя движущая сила $\Delta t_{ср}$, кг вл./кг сух. возд.	Средняя движущая сила $\Delta t_{ср}$, °C	Коэффициент массопередачи $K_{усп}$	Коэффициент теплопередачи K_T
1	0,0002	0,00497	3,60	0,72	1215,70
2	0,0136	0,00529	3,72	51,46	2693,41
3	0,0113	0,00682	3,62	75,00	3709,77
4	0,0444	0,00864	3,83	102,84	5386,04
5	0,0568	0,00988	4,18	114,84	6289,76

На рисунке 2 представлена полученная нами зависимость коэффициента массопередачи от расхода воздуха в колонну.

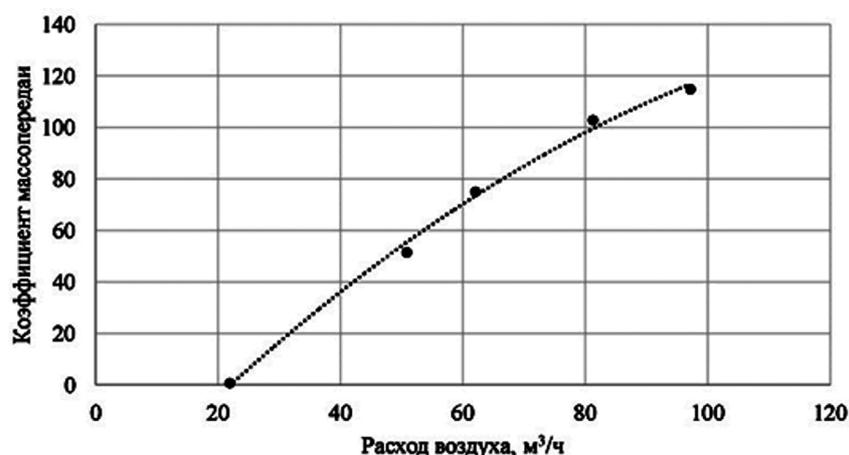


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента массопередачи от расхода воздуха при постоянных жидкостных нагрузках

Из рисунка 2, видно, что чем больше расход воздуха, тем выше коэффициент массопередачи, тем выше эффективность контактного устройства. Характер экспериментальной зависимости напоминает линейный, что свидетельствует о правильности выполнения лабораторного эксперимента.

С целью определения гидравлических характеристик клапанных тарелок было произведено моделирование данного тарельчатого контактного устройства в программном комплексе ANSYS Fluent.

Решение задачи производилось в шесть этапов. При проведении эксперимента было установлено, какие клапаны открываются при каждом опыте и на сколько. Поэтому каждый опыт является самостоятельным расчетом.

Внешний вид модели тарелки представлен на рисунке 3. [4]

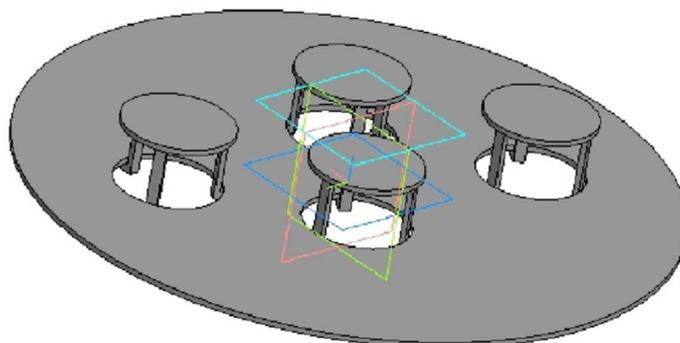


Рисунок 3 – Клапанная тарелка с подвижным круглым клапаном(лабораторная)

Расчет перепада давления был произведён на сухое контактное устройство. В качестве граничных условиях на входе было задана скорость воздуха, на выходе давление. Результаты расчета представлены в таблице 4.



Таблица 4 – Результаты расчета перепада давления клапанной тарелки

w м/с	Pвх, Па	Pвых, Па	ΔP, Па	F
0,19	101547	101325	221,7	2,1
0,45	101576	101325	251,2	4,98
0,55	101607	101325	281,9	6,09
0,72	101778	101325	452,8	7,97
0,86	102461	101325	1136,2	9,52

Построим зависимость перепада давления от F-фактора на сухом контактном устройстве (рис. 4).

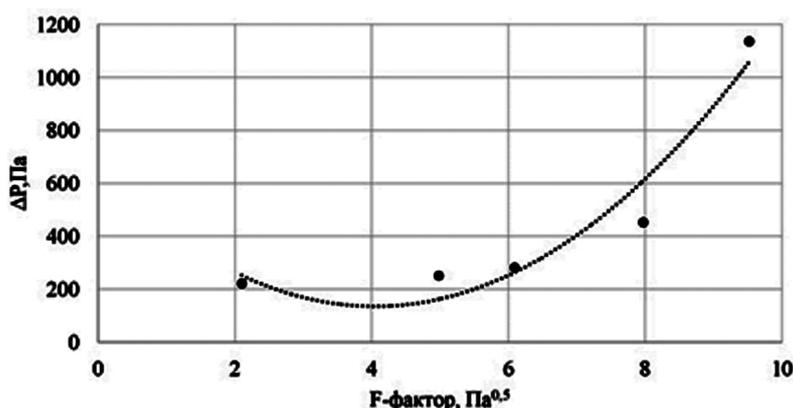


Рисунок 4 – Зависимость перепада давления на контактном устройстве от F-фактора на сухом контактном устройстве

Получено аппроксимирующее уравнение средствами MS Excel для расчета перепада давления на сухой клапанной тарелке от F-фактора.

$$\Delta P = 30,811F^2 - 249,52F + 640,38 \tag{4}$$

Коэффициент детерминации R² составляет 0,9324

Таким образом, использование совместного лабораторно-математического подхода с применением моделирования в среде ANSYS Fluent к исследованию клапанных тарелок позволило оценить их массообменные и гидравлические характеристики.

Литература:

1. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Скобло [и др.]. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2000. – 677 с.
2. Майтам Д.Н. Сопоставление основных характеристик клапанной тарелки новой конструкции и прямой клапанной тарелки // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – Полоцк, 2017. – № 11 – С. 111–121.
3. Баранов Д.Н., Сидельников И.И. Методические указания к лабораторной работе: «Определение коэффициентов массо- и теплопередачи при контакте воздуха и воды на колпачковых тарелках массообменных колонных аппаратов». – М. : МГМУ, 2014. – 17 с.
4. Отраслевой стандарт ОСТ 26-01-1488-83 «Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета». 4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 13-е изд. – М. : Альянс, 2006. – С. 752–784, 830.

References:

1. Processes and apparatuses of oil and gas refining and petrochemistry / A.I. Skoblo [et al.]. – M. : Nedra-Business-Center, 2000. – 677 p.
2. Maitam D.N. Comparison of the main characteristics of a valve plate of a new design and a straight-flow valve plate // Vestnik of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied sciences. – Polotsk, 2017. – № 11. – P. 111–121.
3. Baranov D.N., Sidelnikov I.I. Methodological instructions for laboratory work: «Determination of mass and heat transfer coefficients at the contact of air and water on the bell-shaped plates of mass exchange columns». – M. : MGMU, 2014. – 17 p.
4. Industry standard OST 26-01-1488-83 «Column disc apparatuses. Technological and hydrodynamic calculation method». 4. Kasatkin A.G. Basic processes and devices of chemical technology. – 13-th ed. – M. : Alliance, 2006. – P. 752–784, 830.