УДК 66.03

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ФАЗЫ В УЗЛАХ ВВОДА КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

RESEARCH OF UNIFORMITY OF DISTRIBUTION OF VAPOR PHASE IN THE INPUT UNITS OF COLUMN APPARATUSES

Валеев Анвар Ринатович
аспирант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
spestersnape@gmail.com

Маннанов Тимур Ильнурович
кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Чуракова Светлана Константиновна
доктор технических наук,
доцент,
профессор кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. Проведено исследование по распределению паровой фазы по сечению колонных аппаратов на примере легких углеводородных компонентов методом CFD-анализа для четырех конструкций распределительных устройств. Проведена оценка равномерности распределения при различных расходах легких углеводородных компонентов, а также приведена сравнительная оценка эффективности рассмотренных устройств.

Ключевые слова: CFD-анализ, распределение потоков, распределительное устройство, функция эффективности распределения.

Valeev Anvar Rinatovich
Postgraduate Student,
Ufa State Petroleum Technological University
spestersnape@gmail.com

Mannanov Timur Ilnurovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Petrochemistry and Chemical Technology
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Churakova Svetlana Konstantinovna
Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor,
Professor of the Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. A research was conducted on the distribution of the vapor phase over the cross-section of column equipment using the example of light hydrocarbon components using the CFD analysis method for four designs of distribution devices. An assessment of the uniformity of distribution at different flow rates of light hydrocarbon components was carried out, and a comparative assessment of the efficiency of the devices under consideration was given.

Keywords: CFD analysis, flow distribution, distribution device, distribution efficiency function.

Для обеспечения эффективной работы контактных устройств массообменных аппаратов важным фактором является равномерное распределение потоков. Неравномерное распределение потоков может привести в том числе к снижению КПД внутренних контактных устройств [1].

Отбойная пластина представляет собой вогнутую пластину. Равномерное распределение достигается за счет удара потока о пластину с последующим тангенциальным движением потока. Поле скоростей парового потока приведено на рисунке 1 [2].

Гусак представляет собой отвод с соотношением радиуса поворота к диаметру трубы 1,5. Равномерное распределение достигается за счет плавного поворота в направлении, обратном последующему движению парового потока. Поле скоростей парового потока приведено на рисунке 2 [2].

Полуоткрытая труба представляет трубу с вырезом в нижней половине и пластиной на конце. Равномерное распределение достигается за счет снижения кинетической энергии потока вследствие удара о пластину и выхода парового потока в направлении, обратном последующему движению. Поле скоростей парового потока приведено на рисунке 3 [2].

Перфорированная труба представляет трубу с отверстиями в нижней половине. Равномерное распределение достигается за счет разбиения потока на отдельные струи при прохождении через отверстия и выхода парового потока в направлении, обратном последующему движению. Поле скоростей парового потока приведено на рисунке 4 [2].

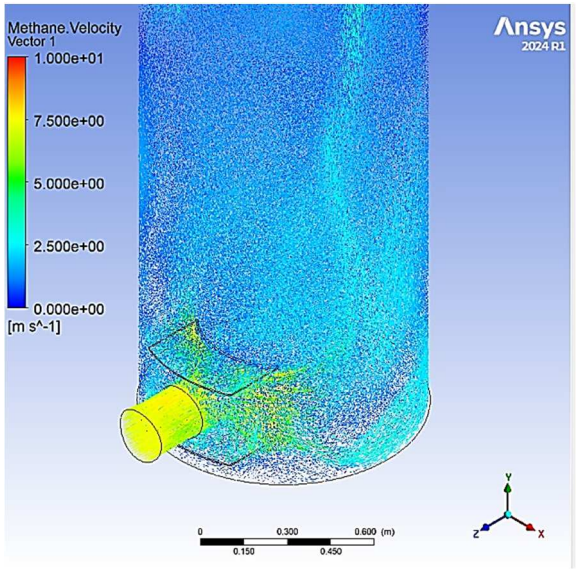

Рисунок 1 – Поля скоростей парового потока для отбойной пластины

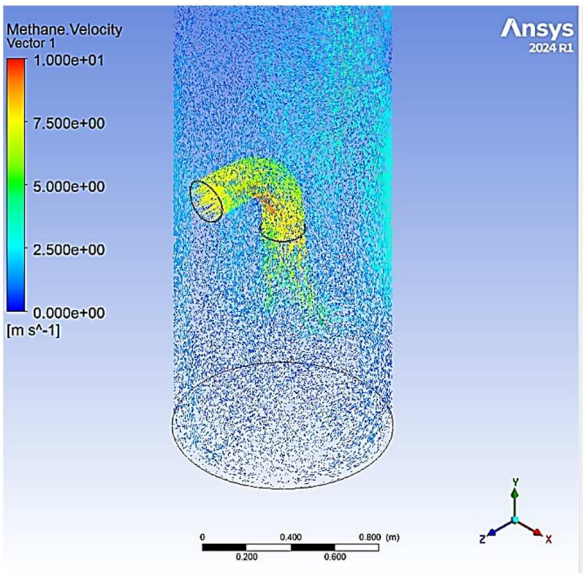

Рисунок 2 – Поля скоростей парового потока для гусака

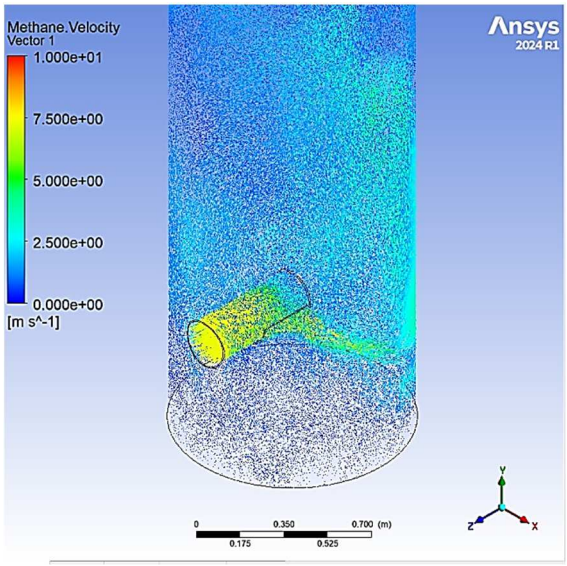

Рисунок 3 – Поля скоростей парового потока для полуоткрытой трубы

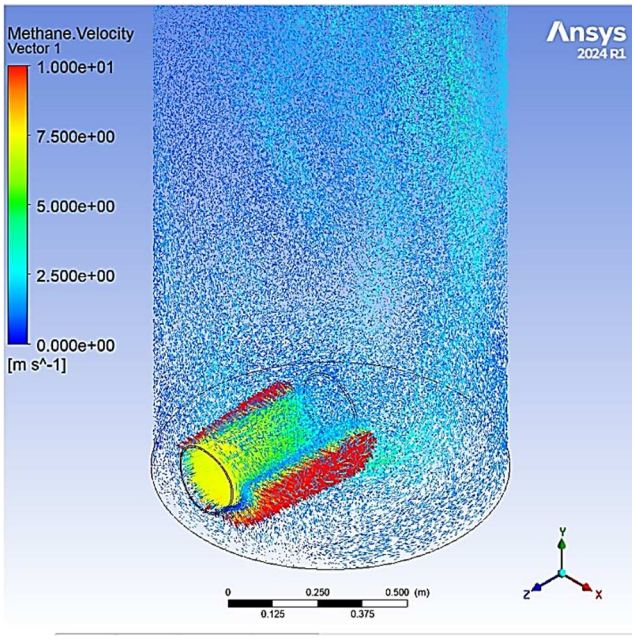

Рисунок 4 – Поля скоростей парового потока для перфорированной трубы

В качестве паровой среды принята смесь метана и этана, а в качестве встречной жидкой фазы смесь пропана и н-бутана. Расход паровой фазы принимался исходя из значений F-фактора в диапазоне от 0,5 до 2 $Па^{0,5}$. Принятые исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. Расчет проводится в изотермическом режиме.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования устройств ввода паровой фазы

Параметр	Значение	
	Паровой поток	Встречный жидкостной поток
Плотность потока, $кг/м^3$	28,91	532,60
Температура, °С	25,0	
Давление, МПа (изб.)	2,70	
Состав, % об.		
Метан	0,60	0,00
Этан	0,40	0,00
Пропан	0,00	0,60
н-Бутан	0,00	0,40

Для оценки эффективности распределения рассмотрена функция эффективности распределения [3]:

$$\Phi(\upsilon) = \frac{1}{1+\upsilon}, \quad (1)$$

где υ – коэффициент вариации скорости по вертикальной оси Z.

На рисунках 5–7 приведены графики зависимости функции эффективности распределения от высоты над устройством ввода при различных расходах паровой фазы.

Значение функции эффективности распределения более 0,5 означает приемлемую равномерность распределения паровой фазы по сечению аппарата [3]. На графиках критичное значение показано пунктирной линией.

Из графиков видно, что паровая фаза даже в случае отсутствия специального устройства ввода распределяется по сечению аппарата достаточно равномерно. Однако, результаты сравнительного анализа различных конструкций устройств ввода паровой фазы, проведённого методом CFD моделирования в среде ANSYS CFX, свидетельствуют о том, что при низких значениях F-фактора (0,5 $Па^{0,5}$) наиболее эффективной конструкцией распределителя паровой фазы является гусак, а при высоких (2 $Па^{0,5}$) – отбойная пластина. При средних значениях F-фактора (1,5 $Па^{0,5}$) лучше полуоткрытая труба, либо отбойная пластина.

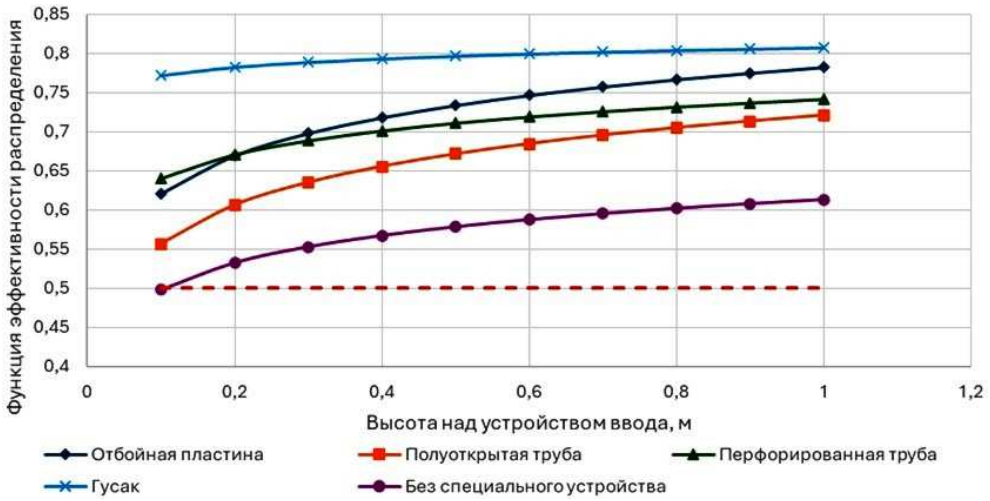

Рисунок 5 – График зависимости функции эффективности распределения от высоты над распределительным устройством при F-факторе 0,5 Па0,5

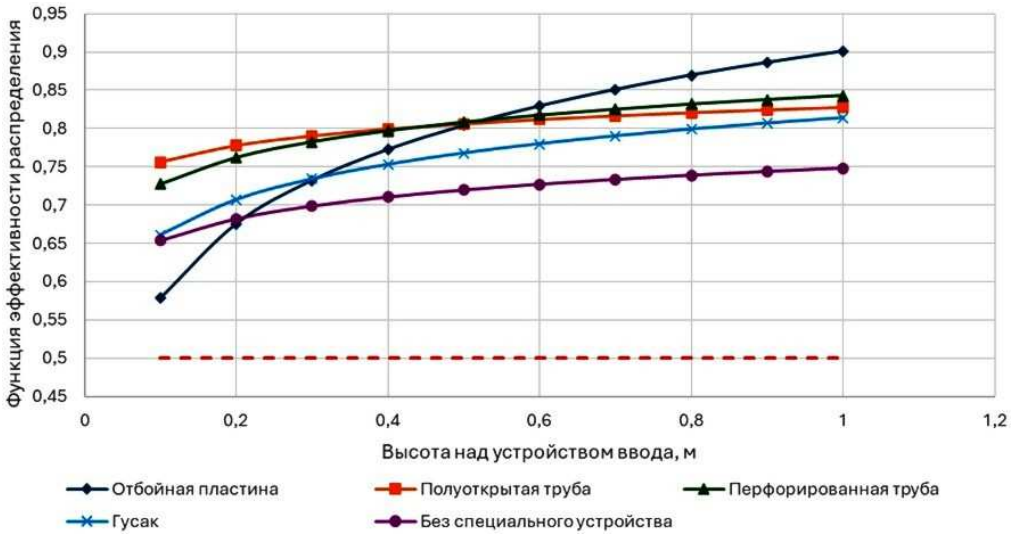

Рисунок 6 – График зависимости функции эффективности распределения от высоты над распределительным устройством при F-факторе 1,5 Па0,5

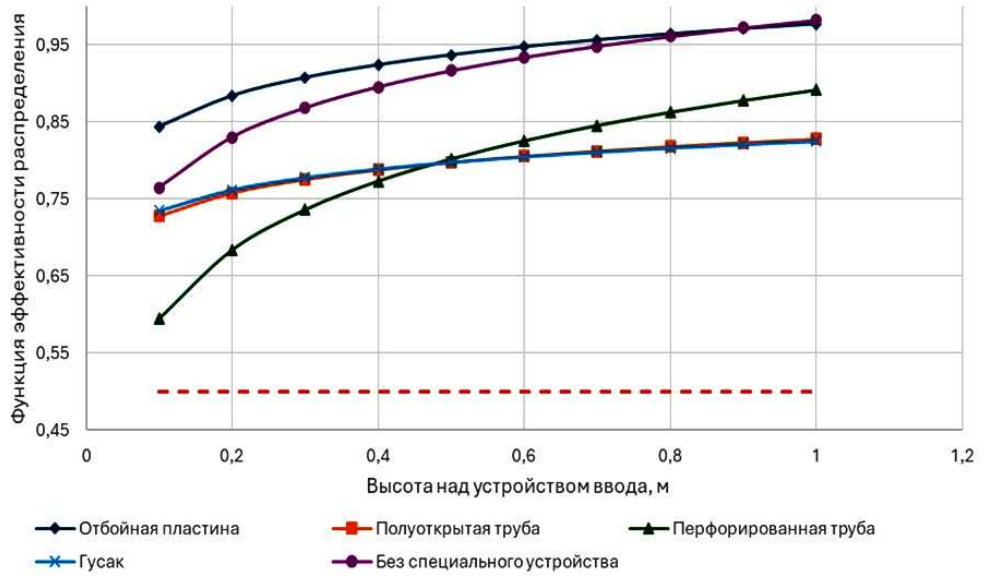

Рисунок 7 – График зависимости функции эффективности распределения от высоты над распределительным устройством при F-факторе 2 $Па^{0,5}$

Список литературы:

1. Сравнение областей устойчивой работы ситчатой тарелки и клапанной тарелки PETON с подвижным круглым клапаном / С.К. Чуракова [и др.] // Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2019. – С. 175–178.

2. Аджиев А.Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России / А.Ю. Аджиев, П.А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – Ч. 1. – 776 с.

3. Муллабаев К.А. Разработка методов оценки равномерности распределения фаз в насадочных экстракторах средствами CFD-систем / К.А. Муллабаев, С.К. Чуракова, А.Р. Валеев // Башкирский химический журнал. – 2022. – Т. 29. – № 2. – С. 71–76.

List of references:

1. Comparison of the stable operating areas of a sieve tray and a PETON valve tray with a movable round valve / S.K. Churakova [et al.] // New areas of work on oil and gas, innovative technologies for the development of their fields, prospects for the extraction of unconventional hydrocarbon raw materials: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. – Orenburg, 2019. – P. 175–178.

2. Adzhiev A.Yu. Preparation and processing of associated petroleum gas in Russia / A.Yu. Adzhiev, P.A. Purtov. – Krasnodar : EDVI, 2014. – Part 1. – 776 p.

3. Mullabaev K.A. Development of methods for assessing the uniformity of phase distribution in packed extractors using CFD systems / K.A. Mullabaev, S.K. Churakova, A.R. Valeev // Bashkir Chemical Journal. – 2022. – Vol. 29. – № 2. – P. 71–76.