

Ульянов Борис Александрович,
д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: xtt-agta@yandex.ru

Фереферов Михаил Юрьевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: chtt@angtu.ru

Хортов Александр Вадимович,
обучающийся, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: sanches.xortov.14@bk.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ДВУХПОТОЧНОЙ СИТЧАТОЙ ТАРЕЛКИ С ПОДВИЖНОЙ ШАРОВОЙ НАСАДКОЙ

Ulyanov B.A., Fereferov M.U., Khortov A.V.

HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A COMBINED PLATE OF A FAILED TYPE WITH A MOVABLE BALL PACK

Аннотация. В статье представлены методика проведения экспериментов и результаты исследования гидродинамики системы газ-жидкость на ситчатой двухпоточной тарелке с подвижной шаровой насадкой с различной плотностью шаровых элементов.

Ключевые слова: газ, жидкость, гидравлическое сопротивление, насадка, ситчатая двухпоточная тарелка.

Abstract. In the article presents the method of experiments and the results of the study of the hydrodynamics of the gas-liquid system on a strainer two-threaded plate with a movable ball pack with different density of ball elements.

Keywords: gas, liquid, hydraulic resistance, pack, a strainer two-threaded plate.

Тарельчатые колонные аппараты широко распространены в химической и нефтехимической промышленности. Они являются основным оборудованием таких процессов как абсорбция, ректификация, очистка газов от различного рода загрязнений (пенные аппараты) и др.

Основным преимуществом тарельчатых аппаратов по сравнению с другими массообменными аппаратами, такими как барботажные или насадочные, является низкая степень перемешивания жидкой фазы. Из-за ступенчатого контакта газа (пара) и жидкости на тарелках тарельчатые колонны приближаются к наиболее эффективной гидродинамической модели аппаратов идеального вытеснения. В то же время наличие большого числа ступеней контакта фаз существенно влияет на запас жидкости на тарелках, поскольку требуется значительно меньшее ее количество. При повышенном давлении в колоннах запас жидкости на тарелке не превышает 100 мм столба жидкости, а при работе под атмосферным давлением и при вакууме он меньше.

Необходимое количество тарелок в колонне зависит от физико-химических свойств компонентов системы, степени разделения смеси и эффективности тарелок. Если система определена и степень разделения задана, то эффективность тарелок становится единственным фактором, определяющим

их действительное количество, а следовательно, и высоту колонны и связанные с этим капитальные затраты на ее сооружение.

Результаты многочисленных исследований показывают, что эффективность тарелок в значительной мере определяется структурой двухфазного слоя на тарелке и величиной поверхности контакта газ-жидкость.

В ряде работ предлагаются различные мероприятия, направленные на улучшение структуры газо-жидкостного слоя на тарелках. Так, в работе [1] установлено, что продольное перемешивание жидкости на тарелках может быть уменьшено за счёт секционирования их перегородками и создания направленного ввода газа через просечки, расположенные под углом к полотну тарелки. В работе [2] описано устройство, в известной степени улучшающее структуру газо-жидкостного слоя на переточной тарелке желобчатого типа, но вследствие конструктивных особенностей оно малоприспособлено для использования на тарелках других типов, таких как ситчатых, клапанных и им подобных.

В работе [2] показано, что структура газо-жидкостного слоя на тарелках имеет сложный характер, в частности, наблюдаются явления прорывов газа в виде факелов и глобул, что уменьшает поверхность контакта на тарелке и снижает тем самым ее эффективность.

Для уменьшения неоднородности двухфазных слоев на тарелке нами предложено разместить на тарелках подвижную шаровую насадку в виде пластмассовых шаров различной плотности. В работе [3] были представлены результаты экспериментов, проводившихся на решетчатой провальной тарелке. В данном докладе представлены результаты определения гидравлического сопротивления ситчатой двухпоточной тарелки с подвижной шаровой насадкой.

Эксперименты проводились на лабораторной установке подобно той, которая описана в работе [3]. В качестве опытной тарелки использовалась ситчатая двухпоточная тарелка с центральной подачей и боковыми сливами жидкости. Диаметр отверстий на тарелке составлял 3,4 мм, свободное сечение составляло 7,8 %. Высота перелива составляла 40 мм. На тарелке размещались пластмассовые шары диаметром 40 мм. Порозность слоя шаров составляла 0,4, удельная поверхность – $90 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Перед проведением экспериментов шары на полотне тарелки первоначально размещались в два слоя. Для исследования влияния на гидравлическое сопротивление газо-жидкостного слоя плотности шаров использовались шары различной плотности: 120, 650 и $850 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Опыты проводились при следующих условиях: расход воды на орошение колонны составлял $1 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость воздуха в колонне варьировалась в пределах 0,17-2,2 м/с. Перепад давления на тарелке определялся микроманометром с наклонной трубкой типа ММН-240. Во время проведения опытов велась фото- и видеосъемка.

Результаты опытов на ситчатой тарелке представлены в таблицах 1-8. В таблицах 1-4 представлены гидродинамические характеристики неорошаемой тарелки без насадки и с насадкой. В таблицах 5-8 представлены такие же дан-

ные, но с применением шаровой насадки. Гидродинамические условия, т.е. расходы орошения и подача воздуха варьировались в тех же пределах.

Таблица 1

Тарелка без насадки

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W_k , м/с	0,09	0,32	0,58	0,8	1,00	1,30	1,50	1,74	2,00
ΔP , Па	10	52	126	190	302	436	544	808	940

Таблица 2

Тарелка с шарами плотностью 120 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W_k , м/с	0,10	0,33	0,61	0,84	1,06	1,32	1,61	1,76	2,07
ΔP , Па	10	50	134	246	370	500	708	920	1020

Таблица 3

Тарелка с шарами плотностью 650 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W_k , м/с	0,10	0,35	0,61	0,85	1,08	1,38	1,63	1,80	2,09
ΔP , Па	10	50	130	244	390	554	780	1028	1088

Таблица 4

Тарелка с шарами плотностью 840 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W_k , м/с	0,10	0,35	0,59	0,83	1,10	1,40	1,56	1,85	2,08
ΔP , Па	8	50	126	238	402	577	820	1040	1080

Таблица 5

Тарелка без насадки

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
W_k , м/с	0,33	0,49	0,72	0,94	1,22	1,52	1,72
ΔP , Па	240	280	354	462	620	760	848

Таблица 6

Тарелка с шарами плотностью 120 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
W_k , м/с	0,33	0,52	0,72	0,93	1,22	1,47	1,69	1,80
ΔP , Па	220	340	400	500	648	768	872	920

Таблица 7

Тарелка с шарами плотностью 650 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
$W_k, \text{ м/с}$	0,36	0,54	0,75	0,97	1,26	1,55	1,72
$\Delta P, \text{ Па}$	460	480	520	680	728	880	960

Таблица 8

Тарелка с шарами плотностью 840 кг/м³

№№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
$W_k, \text{ м/с}$	0,27	0,59	0,75	0,96	1,25	1,53	1,74
$\Delta P, \text{ Па}$	400	520	548	624	780	860	944

Полученные табличные данные были обработаны в виде графиков, на которых представлены зависимости гидравлического сопротивления ситчатой тарелки от скорости газа (воздуха) в свободном сечении колонны. Для удобства работы с графиками они были созданы в полулогарифмической форме. По оси ординат при построении откладывалось не действительное значение величины ΔP , а его десятичный логарифм. На рисунке 1 представлен график зависимости гидравлического сопротивления от скорости газа для неорошаемой тарелки.

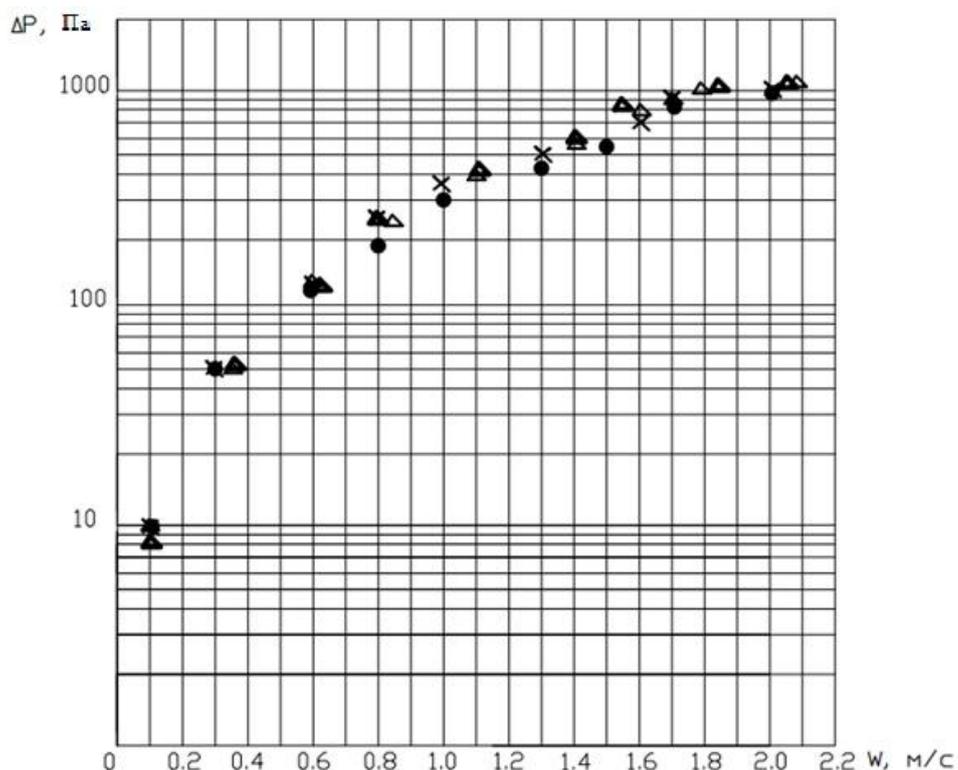


Рисунок 1 – Зависимость гидравлического сопротивления ситчатой тарелки от скорости газа в колонне: • – тарелка без насадки; Δ – тарелка с шарами плотностью 650 кг/м³; \times – тарелка с шарами плотностью 120 кг/м³; \blacktriangle – тарелка с шарами плотностью 840 кг/м³

На рисунке 2 представлен график зависимости гидравлического сопротивления от скорости газа для орошаемой тарелки. Расход воды орошения составлял $1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Результаты экспериментов показывают существенное влияние шаровой насадки на состояние газо-жидкостного слоя на тарелке, причем в случае применения насадки с большей плотностью структура слоя была более равномерна. Также отмечено, как свидетельствуют графики на рисунках 1-2, что изменение плотности шаров в указанном диапазоне относительно мало влияет на гидравлическое сопротивление тарелки с подвижной насадкой.

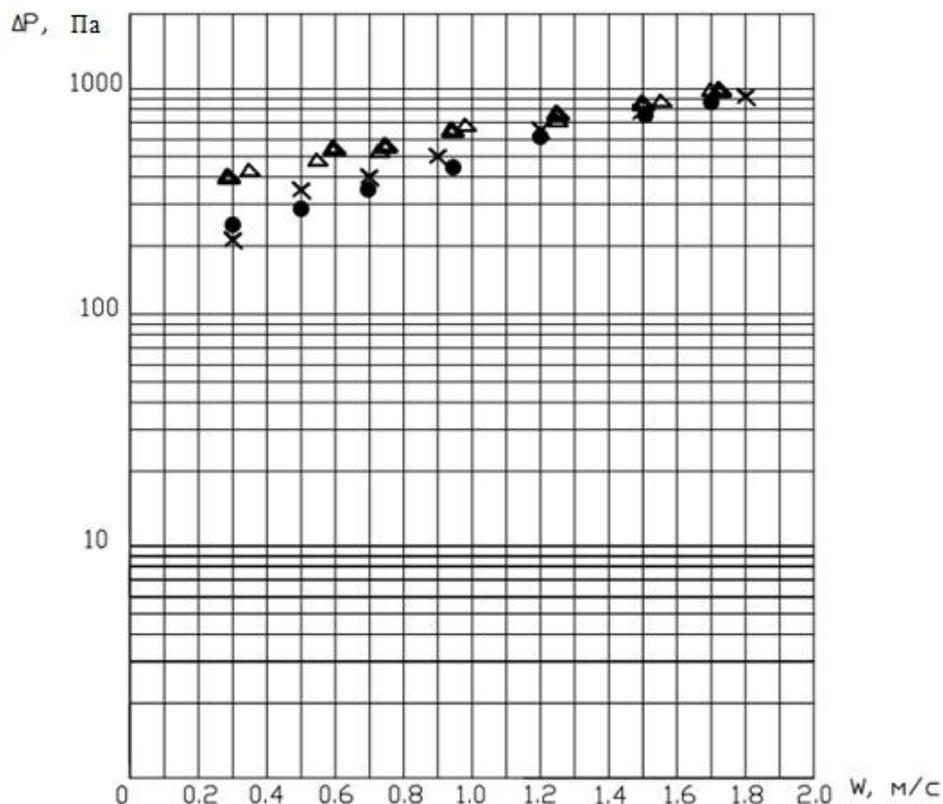


Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления орошаемой ситчатой тарелки от скорости газа в колонне: • – тарелка без насадки; △ – тарелка с шарами плотностью 650 кг/м^3 ; x – тарелка с шарами плотностью 120 кг/м^3 ; ▲ – тарелка с шарами плотностью 840 кг/м^3

ЛИТЕРАТУРА

1. Тютюнников А.Б. и др. Новые тарелки массообменных процессов // Химическое и нефтяное машиностроение. 1978. №1. С. 15-16.
2. Муссакаев О.П. Структура потока газа на контактных тарелках абсорбционных колонн. [текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.17.08 : защищена 2001 / Муссакаев Олег Петрович. – Ангарск, 2000. – 141 с.
3. Ульянов Б.А., Фереферов М.Ю. Гидродинамика работы провальной тарелки с подвижной сферической насадкой // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. №13. С. 76-80.