

## **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОЙ ШАРОВОЙ НАСАДКИ В МАССООБМЕННЫХ АППАРАТАХ**

Ланкин Р. И., аспирант; Францкевич В. С., зав. каф. машин  
и аппаратов химических и силикатных производств  
УО «Белорусский государственный технологический университет»

Массообменные процессы и сопутствующая им аппаратура широко используется на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газоперерабатывающей, металлургической, пищевой, химико-фармацевтической и энергетической отраслей промышленности, а также в производствах агропромышленного комплекса и строительных материалов.

Анализ конструкций теплообменных аппаратов показывает, что основную их долю составляют полые форсуночные скрубберы, имеющие низкую эффективность порядка 60 %. Далее следуют аппараты с насадкой (кольцевые, хордовые, блочные щелевые, решетчатые и сотовые, сетчатые, зигзагообразные и т. д.) и тарелки различных конструкций (ситчатые, щелевые, колпачковые, клапанные, S-образные и т. д.), которые имеют повышенное гидравлическое сопротивление при сравнительно высокой эффективности 80–90 %.

Аппараты с подвижной насадкой наиболее распространены и от противоточных аппаратов других классов отличаются тем, что элементы насадки находясь во взвешенном состоянии, совершают хаотичные и пульсационные движения. В объеме газоочистного слоя направление движения и длина пути пробега каждого элемента насадки носят равновероятный и случайный характер [1]. Они предназначены для мокрой очистки отходящих промышленных газов от вредных однородных (газы, аэрозоли, туманы) и неоднородных (пыль, сажа) примесей в химической, металлургической, строительной, нефтяной, газовой, машиностроительной, целлюлозно-бумажной и других отраслях.

Достоинствами аппаратов с подвижной насадкой являются:

- высокая степень очистки (до 96–99 %);
- позволяет создать безотходную технологию очистки газа;
- прост в эксплуатации и удобен в обслуживании;
- устойчив к переменным нагрузкам по газу и жидкости;

– не забивается отложениями, маслянистыми и твердыми веществами.

В качестве подвижных насадок могут использоваться: кольца Рашига и Палля, седла Берля и «Инталокс», розетки Теллера, а также простые шары и др.

Для обеспечения нормальной работы насадки, плотность насадки не должна превышать плотность орошающей жидкости. В качестве орошающей жидкости наиболее часто используется вода.

Подвижная насадка должна соответствовать следующим характеристикам:

- обладать большой поверхностью в единице объема;
- хорошо смачиваться орошаемой жидкостью;
- оказывать малое сопротивление газовому потоку;
- равномерно распределяться орошаемой жидкостью;
- стойка к химическому воздействию жидкости и газа, который движется в колонне;
- иметь небольшой удельный вес;
- обладать высокой механической прочностью;
- иметь невысокую стоимость [2].

Недостатками аппаратов с подвижной насадкой является неравномерное распределение газа в надрешеточном пространстве как по сечению, так и по высоте аппарата, а также образование застойных зон в самой насадке.

Таким образом изучение гидродинамики газожидкостных потоков является актуальной темой.

Целью данной работы являлось изучение влияния технологических параметров (изменение расположения входного патрубка, скорости газа и степени орошения) на гидравлическое сопротивление. Экспериментальная установка, представленная на рис. 1, включает в себя сборник для воды, на котором находятся цилиндрические сегменты, в которых располагаются три решетки. Воздух в колонну подается вентилятором. Вода из бака нагнетается насосом, и через форсунки поступает на каждый из трех слоев насадки шарообразной формы (рис. 2). Высота слоя насадки 0,37 от высоты слоя. Отношение диаметра аппарата к диаметру шаров составляет 6,9.

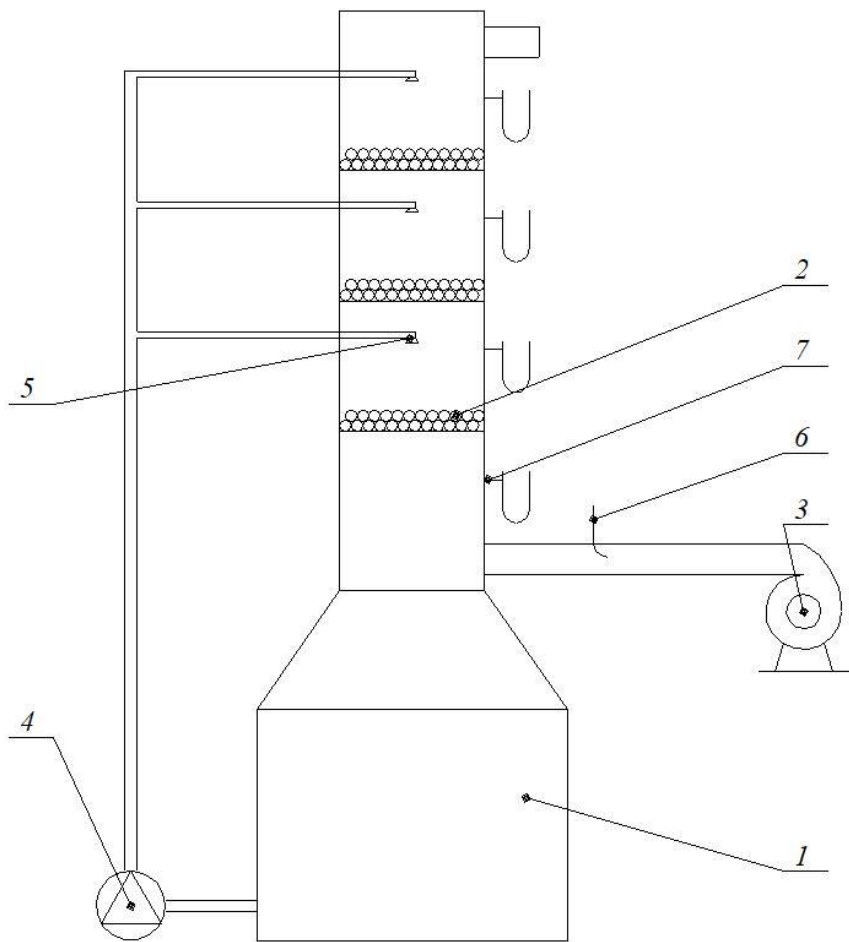


Рис. 1. Экспериментальный абсорбер:

1 – абсорбционная колонна; 2 – насадка; 3 – вентилятор; 4 – насос; 5 – форсунки;  
6 – трубка Пито; 7 – клапан для измерения перепада давления с дифманометрами

В ходе эксперимента действительная скорость газа в колонне варьировалась от 1,7 до 4 м/с, что соответствует расходу до 500 м<sup>3</sup>/час. Расход воздуха замерялся через трубку Пито, связанную с дифманометром. Перепад давления измерялся дифманометром.



Рис. 2. Насадка в абсорбционной колонне

По окончании первой стадии экспериментов были составлены зависимости гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне без орошения, на каждой секции (рис. 3-5).

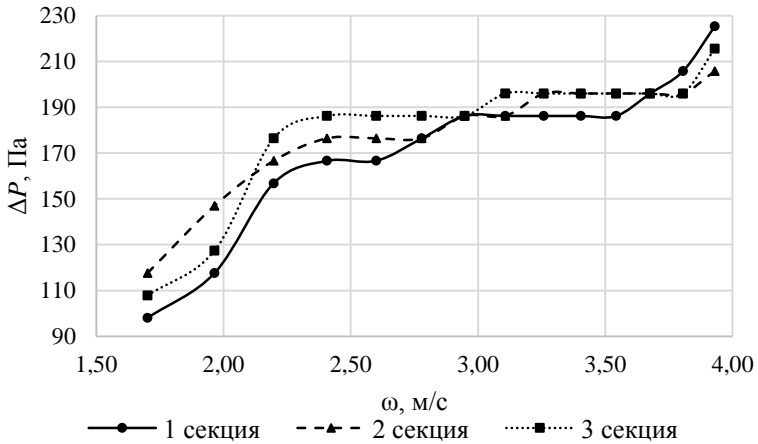


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне с тангенциальным входным патрубком

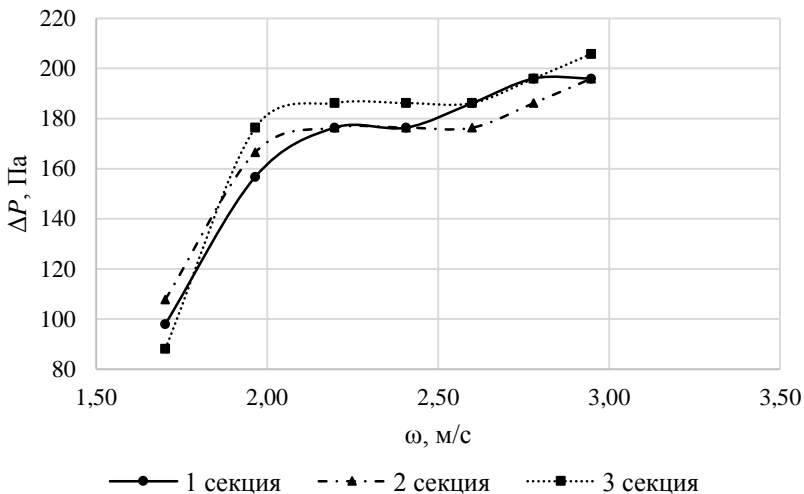


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне с радиальным под углом  $30^\circ$  входным патрубком

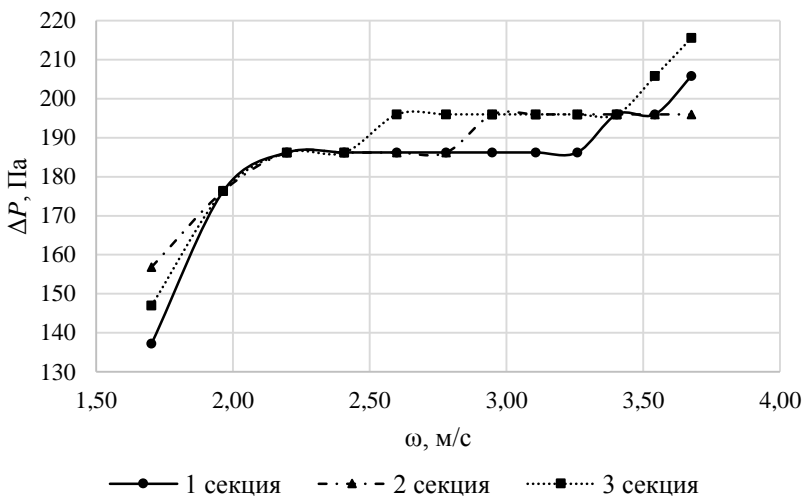


Рис. 5. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне с радиальным входным патрубком

При тангенциальном и радиальном входах начало псевдооживления наблюдалось при расходе в колонне в диапазоне 2,2–2,4 м/с. А при расходе 3,4–3,5 м/с наблюдалось «полное» псевдооживление. Но при расходе свыше 420 м<sup>3</sup>/час 3,7 м/с наблюдалось хаотическое движение насадки.

Затем был составлен график зависимости сопротивления колонны  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне без орошения, на каждой секции (рис. 6).

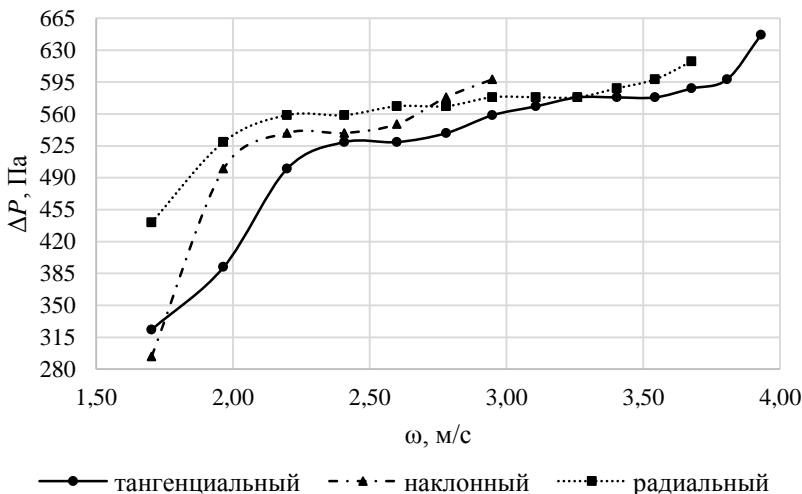


Рис. 6. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне

Из графиков видно, что при входном патрубке, расположенном радиально под углом 30°, гидравлическое сопротивление наибольшее, а при тангенциальном наименьшее [3].

Затем на втором этапе эксперимента производилось орошение воды на каждую секцию через форсунки. Плотность орошения составляла  $q = 17,5$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·час. Затем были построены зависимости гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне на первой секции (рис. 7) и самой колонны (рис. 8).

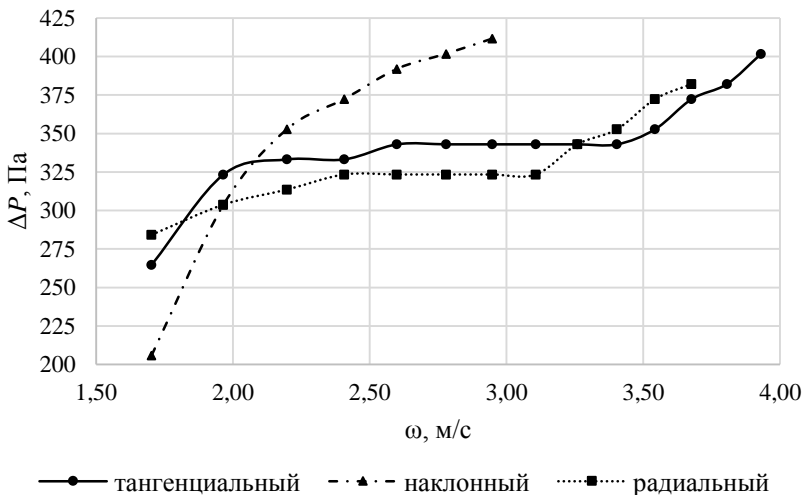


Рис. 7. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, на первой секции

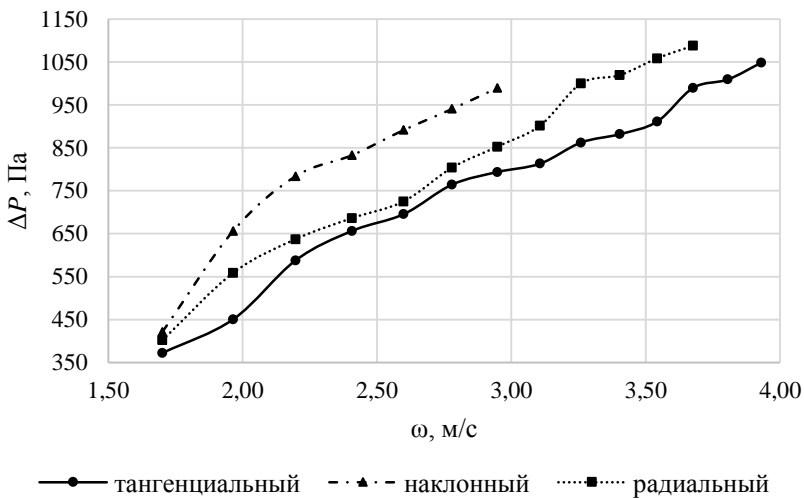


Рис. 8. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне

Проанализировав графики (рис. 7 и 8) подтвердился предыдущий вывод, что сопротивление в колонне меньше с тангенциальным входным патрубком. Это вариант выберем в качестве основного для дальнейших исследований.

Далее добавились пограничные плотности орошения  $q = 15 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{час}$  и  $q = 20 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{час}$ , и были построены зависимости гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, для колонны с тангенциальным входным патрубком (рис. 9).

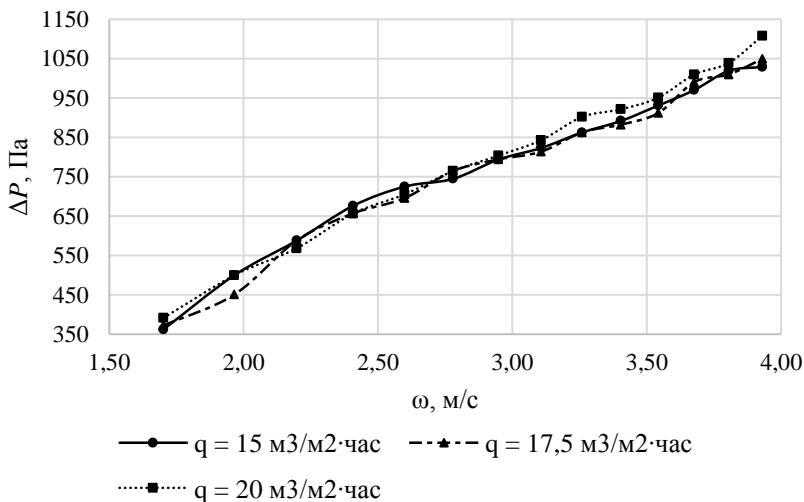


Рис. 9. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от скорости газа  $\omega$ , м/с, в колонне с различной плотностью орошения

В ходе эксперимента выявлено что при скорости газа более 3,2 м/с расход воздуха в колонне составляет  $370 \text{ м}^3/\text{час}$  и начинался процесс каплеуноса, а при 3,6–3,7 м/с наблюдалось «полное» псевдооживление насадки необходимое для нормальной работы аппарата.

Таким образом наименьшее гидравлическое сопротивление достигается с тангенциальным входным патрубком, а с увеличением плотности орошения растет и гидравлическое сопротивление. При скорости газа свыше 3,2 м/с наблюдался каплеунос, а при 3,6–3,7 – «полное» псевдооживление насадки.

Полученные данные будут использованы при апробации разрабатываемой компьютерной модели гидродинамики газожидкостных



потоков в массообменном аппарате с подвижной насадкой с использованием вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics).

### *Литература*

1. Балабеков, О. С. Расчет и конструирование тепломассообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой: Монография / О. С. Балабеков, А. А. Волненко. – Шимкент, 2015. – 184 с.

2. Ланкин, Р. И. Гидродинамика в аппаратах с подвижной насадкой / Р. И. Ланкин, В. С. Францкевич, Ю. П. Шаповалов // Нефтехимия – 2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск: БГТУ, 2021. – С. 228–231.

3. Ланкин, Р. И. Гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с подвижной насадкой / Р. И. Ланкин, В. С. Францкевич // 86-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), 31 января – 12 февраля 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 148–151.