

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ТЕПЛО-МАССООБМЕННОЙ НАСАДКИ

Сидягин А.А., Степыкин А.В., Балахнин И.А.

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Дзержинский политехнический институт, Дзержинск, Россия (606001, Дзержинск, ул Гайдара, 49), e-mail cngh@yandex.ru

Приведено описание нового контактного устройства блочно-модульного типа. Стоит отметить, что предложенное контактное устройство обладает сложной структурой, что отражается на подходах к его расчету. В статье поставлены результаты по изучению гидравлического сопротивления контактного устройства в зависимости от фиктивной скорости газа. Для этого использовались специально разработанные лабораторные стенды с колоннами 200 мм и 500 мм. Эксперимент проводился на системе вода-воздух. Показано, что для разработанного аппарата сопротивление сухой и орошаемой насадки может определяться по известным зависимостям, для которых были определены коэффициенты. Значения коэффициентов зависят от количества теплообменных модулей и числа элементов сетчатой насадки в блоке. Значения сопротивления сопоставимо с известными структурированными современными насадками. Однако предложенная насадка превосходит последние в связи с возможностью организации теплообмена.

Ключевые слова: Теплонапряженные процессы, контактные устройства, массообмен, теплообмен, абсорбция, ректификация

HYDRAULIC RESISTANCE OF BLOCK AND MODULAR HEAT-MASS-EXCHANGED CONTACT DEVICE

Sidyagin A.A., Stepukin A.V., Balakhnin I.A.

Nizhny Novgorod state technical university Dzerzhinsky Polytechnical institute (branch), Russia, e-mail cngh@yandex.ru

The description of the new contact device of block and modular type is provided. It should be noted that the offered contact device possesses compound structure, that is reflected in approaches to its calculation. In article results on studying of hydraulic resistance of the contact device depending on the fictitious speed of gas are put. Specially created laboratory stands with columns of 200 mm and 500 mm were for this purpose used. Experiment was made for system of water and air. It is confirmed that for the developed device resistance of the dry and irrigated device can be determined by known dependences for which coefficients were defined. Coefficients in the equations are dependent on number of heat - exchange modules and a grid elements in the block. Values of resistance is comparable with the known structured modern devices. However the offered device surpasses the last in connection with possibility of heat exchange.

Key words: highly thermal processes, contact devices, mass exchange, heat exchange, absorption, rectification

При современном уровне развития техники использование высокоэффективных, энергоэкономичных контактных устройств в колонных аппаратах приводит к необходимости поиска новых направлений их совершенствования. Одним из таких направлений является оптимизация температурных условий в аппарате при протекании теплонапряженных массообменных процессов [3]. Для этой цели на кафедре МАХПП ДПИ НГТУ разработано контактное устройство насадочного типа [2].

Предложенное устройство состоит из отдельных пластинчатых модулей, сетчатой насадки и соединительных трубопроводов. Пластины, образующие стенки модуля, гофрируются для увеличения поверхности контакта. В пространстве между пластинчатыми модулями установлены насадочные элементы из гофрированной сетки. Конфигурация гофров обеспечивает хорошее перераспределение жидкости по поверхности устройства.

Гидравлическое сопротивление является одной из основных характеристик насадочных контактных устройств, его относительно малая величина определяет их преимущество перед другими типами контактных устройств массообменных аппаратов. Исследованию гидравлического сопротивления предложенного устройства посвящена данная статья.

Исследования проводились на лабораторных стендах с колоннами, диаметром 200 мм и 500 мм. Общий вид установок приведен на рис. 1. При этом использовались доступные и безопасные среды – воздух и вода. Воздух из помещения лаборатории подавался вентилятором. Расход воздуха регулировался вентилем. На стендах имелась возможность подачи в колонну подогретого воздуха за счет установки на воздуховоде электрокалорифера. По подаче жидкости организованы замкнутые контуры. В качестве теплоносителя использовалась горячая вода.

При проведении исследований применялись теплообменные блоки нескольких конфигураций, параметры которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры исследуемых контактных устройств

Модификация блока	Количество теплообменных модулей	Поверхность теплообмена м ² /м ³	Поверхность массообмена м ² /м ³	Объемная доля пластинчатых модулей	Диаметр колонны, мм
1	4	62	240	0.45	200
2	2	28	288	0.2	200
3	-	0	325	0	200
4	6	40	210	0.44	500
5	4	21	268	0.26	500



Рис. 1 – Общий вид лабораторных стенов

а – стенд с колонной 500 мм, б – стенд с колонной 200 мм.

Результаты исследований сухой насадки приведены на рис.2. Из графика видно, что с повышением объемной доли теплообменных модулей в устройстве гидравлическое сопротивление блока повышается. Это связано с тем, что снижается свободный объем для прохода легкой фазы через насадку. Также стоит отметить, что с повышением турбулизации потока газа при значении критерия Рейнольдса свыше 3200 наблюдается изменение характера зависимости сопротивления.

Традиционно расчет гидравлического сопротивления насадочных контактных устройств проводят в два этапа: на первом определяют сопротивление сухой (неорошенной) насадки, на втором, с учетом интенсивности орошения, определяют сопротивление в условиях подачи на насадку жидкости [4].

Анализ полученных экспериментальных данных по сопротивлению сухого устройства показал, что гидравлическое сопротивление можно рассчитать по известной зависимости:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \zeta \cdot \frac{H}{d_{\text{экв}}} \frac{\rho_{\text{возд}} \cdot \omega^2}{2\varepsilon^2}. \quad (1)$$

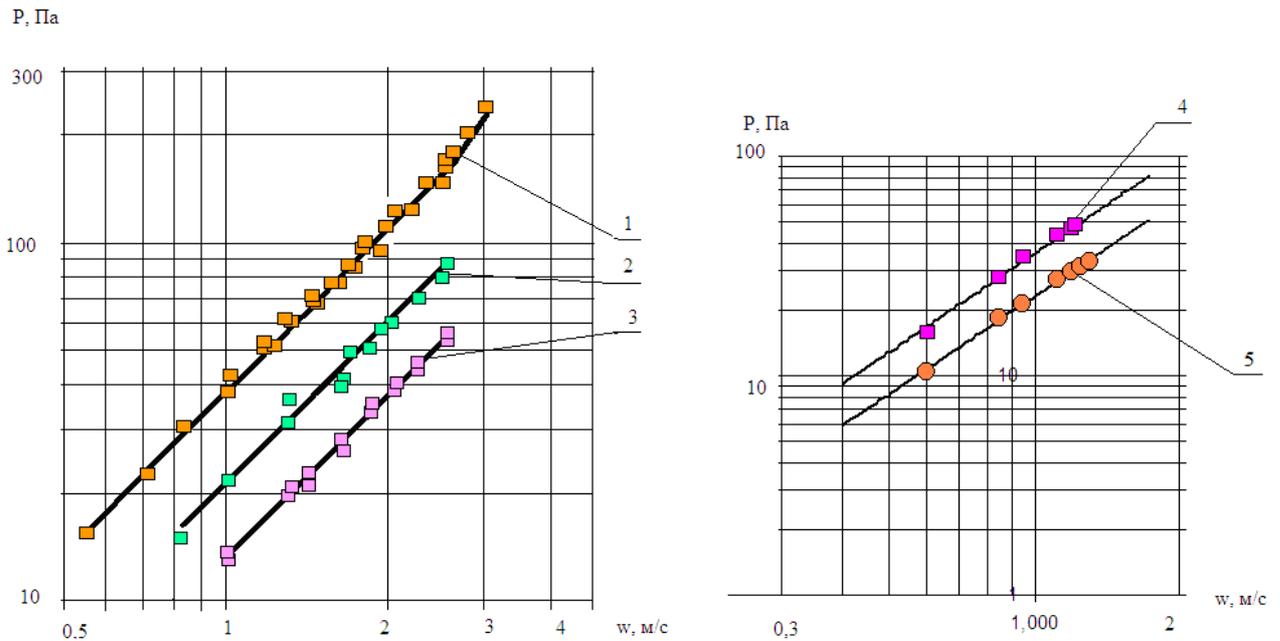


Рис. 2 – Зависимости гидравлического сопротивления сухой насадки от фиктивной скорости газа при разных модификациях блока

Коэффициент сопротивления устройства может быть определен по формуле Маковека [3]

$$\zeta = \frac{A}{Re^B}. \quad (2)$$

При этом коэффициент А предлагается определять по аддитивной зависимости,

$$A_{\Sigma} = A_{П} \cdot x_{П} + A_{С}(1 - x_{П}), \quad (3)$$

где $x_{П}$ – объемная доля, занимаемая теплообменными пластинчатыми модулями;

$A_{П}$ – коэффициент для теплообменного модуля;

$A_{С}$ – коэффициент сетчатой насадки.

В результате обработки экспериментальных данных получены значения $A_{П}$ и $A_{С}$ необходимые для расчета. Данные значения приведены в табл. 2.

Таблица 2 – значения коэффициентов для расчета гидравлического сопротивления сухой насадки

№	Re < 3200		Re ≥ 3200	
	Насадочный элемент	Теплообменный модуль	Насадочный элемент	Теплообменный модуль
А	8,46	20,9	0,104	0,24
В	0,508		-0,0406	

На рис. 3 показаны гидродинамические характеристики колонны с орошаемой насадкой, диаметром 200 мм, а на рис. 4 колонны, диаметром 500 мм. При этом стоит отметить, что выделены два принципиально разных режима. Первый – пленочный, при этом графическая зависимость практически параллельна характеристике сухой насадки для обеих колонн. Пленочный режим сохраняется до значения фиктивной скорости газа 50% – 60% от скорости захлебывания. Второй – режим подвисяния, характеризующийся волнообразованием на поверхности пленки. Также стоит отметить, что при высоких нагрузках по газу и жидкости наблюдается захлебывание аппарата, и гидравлическое сопротивление сильно повышается.

Для определения гидравлического сопротивления орошаемого устройства можно использовать зависимость вида

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сyx}} \cdot 10^{\beta U}, \quad (4)$$

где U – плотность орошения, ($\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$);

β – коэффициент, учитывающий структуру насадки.

В результате обработки экспериментальных исследований выявлено, что в пределах пленочного режима коэффициент β можно считать постоянным, однако при переходе к режиму подвисяния происходит отклонение от параллельности, в связи с этим коэффициент β становится переменным. Для пленочного режима предложено значение $\beta = 26$. В зоне режима подвисяния для расчета предлагается использовать зависимость

$$\beta = 18,2 \cdot w^{0,76} \quad (5)$$

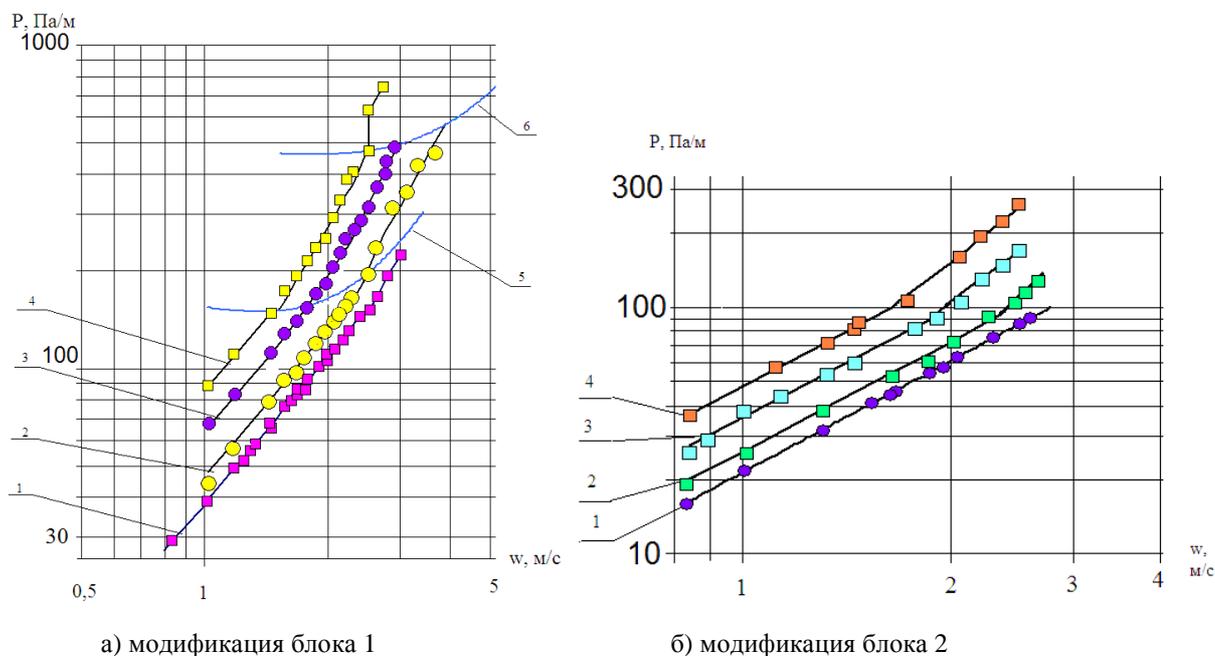


Рис. 3 – Гидравлическое сопротивление насадки в колонне, диаметром 200 мм

1 – сухая насадка; орошаемая насадка при плотности орошения $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ 2 – 0,0032, 3 – 0,0081; 4 – 0,0130 ; 5 – кривая расположения скоростей подвисяния; 6 – кривая скоростей захлебывания.

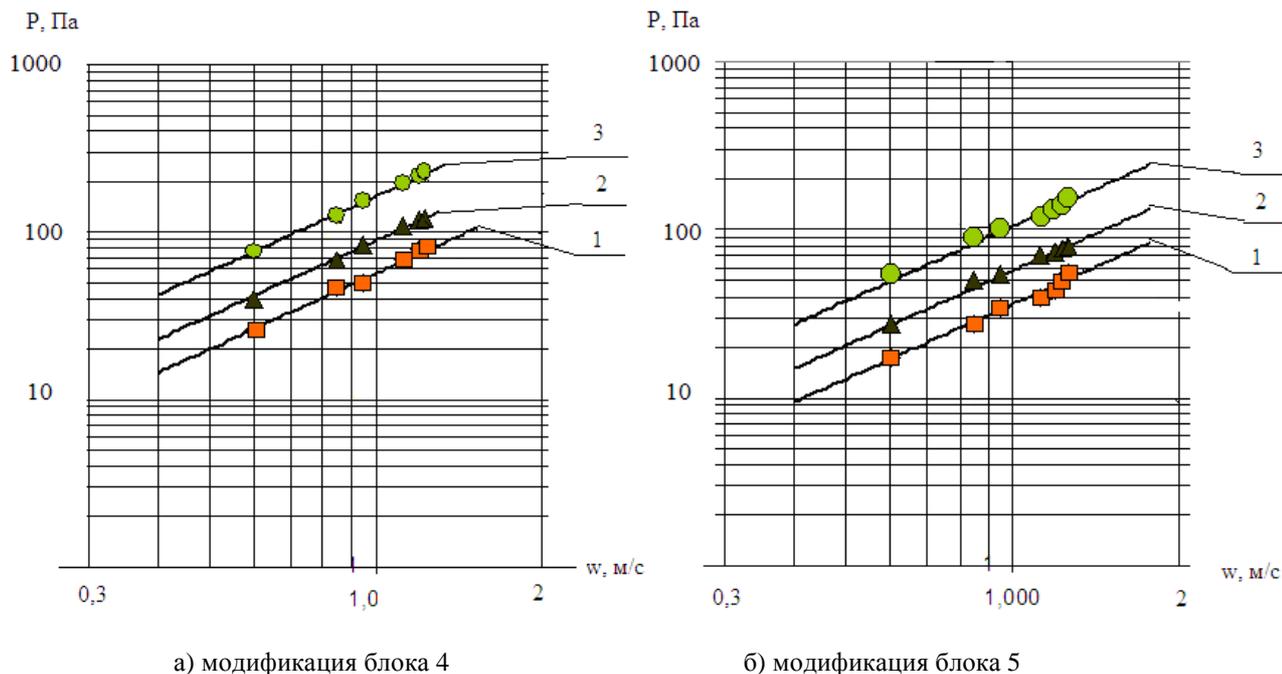


Рис. 4 – Гидравлическое сопротивление насадки в колонне, диаметром 500 мм орошаемая насадка при плотности орошения $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ 1 – 0,0076, 2 – 0,0152; 3 – 0,025 ;

Экспериментальные значения гидравлического сопротивления хорошо согласуются с предложенными теоретическими зависимостями. Это подтверждают опыты, проведенные на колонне, диаметром 200 мм и серия экспериментов, проведенная в аппарате, диаметром 500 мм. Однако стоит отметить, что предложенная зависимость (4) имеет применение для систем близких по свойствам к системе вода-воздух. Для систем, сильно отличающихся от экспериментальной по свойствам, определение гидравлического сопротивления необходимо проводить по зависимости Кафарова [1].

Проводя сравнение с другими известными насадочными контактными устройствами, можно заключить, что предложенная насадка сравнима по гидравлическому сопротивлению с насадками типа Ваку-пак [5], Меллапак (Зульцер) [6]. Особенностью же предложенной насадки, которая качественно отличает ее от приведенных выше, является возможность оптимизировать температурные условия в аппарате и существенно улучшить показатели качества теплонапряженного массообменного процесса.

Список литературы

1. Кафаров В.В. Основы массопередачи/ В.В. Кафаров – М.: Высшая школа, 1979.–439 с
2. Патент РФ Ru 141 498, кл В 01 D 3/28, Теплообменное устройство/ А.В. Степыкин, А.А. Сидягин, Бюл № 16, 2014

3. Рамм В.М. Абсорбция газов/ В.М. Рамм. – М:Химия, 1975. – 767с.
4. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов. / Стабников В.Н./Киев: “Техніка”, 1970, 208 с
5. VAKU-PAK, Проспект. – Germania Chemnitz, Schulstrabe 63, 1991.
6. Zulzer, Structured Packings for Distillation, Absorption and Reactive Distillation, URL: http://www.sulzer.com/ru/-/media/Documents/ProductsAndServices/Separation_Technology/Distillation_Absorption/Brochures/Structured_Packings.pdf. (дата обращения 20.10.2014).

Рецензенты:

Сажин С.Г., д.т.н., профессор, проф. кафедры “Автоматизация и информационные системы”, Дзержинский политехнический институт НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Дзержинск;
Гуткович С.А., д.т.н., зам. директора по направлению ПВХ, ЗАО “Биохимпласт”, г. Дзержинск.