

МРНТИ 61.13.15

А.А. Волненко¹ – основной автор, ©
А. Сериков², А.А. Абжапбаров³,
А.Э. Левданский⁴, Д.К. Жумадуллаев⁵



^{1,4}Д-р техн. наук, профессор, ²Докторант, ^{3,5}PhD

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-6800-9675> ²<https://orcid.org/0009-0004-2236-9455>

³<https://orcid.org/0000-0001-5972-1644> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-2684-7771>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-6552-2817>



^{1,2,3,5}Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,

г. Шымкент, Казахстан



⁴Белорусский государственный технологический университет,

г. Минск, Беларусь

@

⁵daulet_ospl@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/WKWX4464>

РАСЧЕТ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В ТЕПЛОМАССОБМЕННОМ АППАРАТЕ С РЕГУЛЯРНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ НАСАДКОЙ

Аннотация. Проанализировано состояние разработки конструкций насадочных теплообменников аппаратов с нерегулярными и регулярными стационарными насадками, с подвижными и регулярными подвижными насадками. Указаны недостатки в работе. Для аппаратов с регулярными подвижными насадками отмечена возможность реализации синфазного режима взаимодействия вихрей и использования преимуществ вибрационного и вращательного движения насадочных элементов.

Выполнено экспериментальное исследование структурных составляющих жидкой фазы в теплообменном аппарате с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями при изменении скорости газа и плотности орошения, полученные на основе фотографий, обработанных в виде графических зависимостей. Отмечено, что увеличение скорости газа способствует росту частоты вращения, мощности образующихся вихрей и производимой ими работы. В результате происходит снижение диаметров капель. С увеличением плотности орошения значения диаметров струй и капель растут. Это связано с тем, что при неизменной скорости газового потока приток дополнительного объема жидкости приводит к утяжелению насадочных элементов и снижению частоты их вращения.

Уравнения для расчета средней толщины и среднерасходной скорости пленки жидкости получены на основе анализа действующих на нее сил. Уравнение для определения диаметра струй жидкости базируется на волновой теории, а с использованием диссипативного подхода получено уравнение для расчета объемно-поверхностного диаметра капель.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, регулярная вращающаяся насадка, скорость газа, плотность орошения, толщина пленки, диаметр струй, диаметр капель.



Волненко, А.А. Расчет структурных составляющих жидкой фазы в теплообменном аппарате с регулярной вращающейся насадкой [Текст] / А.А. Волненко, А. Сериков, А.А. Абжапбаров, А.Э. Левданский, Д.К. Жумадуллаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №4(86). – Б.269-280. <https://doi.org/10.55956/WKWX4464>

Введение. Тепломассообменные и газоочистные аппараты используются в качестве основного технологического оборудования для проведения процессов абсорбции, десорбции, ректификации, экстракции, теплообмена, испарения и конденсации, а также в виде экологического оборудования для очистки газовых выбросов и обезвреживания сточных вод.

Наиболее распространенными аппаратами наряду с тарельчатыми являются насадочные аппараты с нерегулярной (хаотической) стационарной насадкой и регулярной стационарной насадкой. Конструкции нерегулярных насадочных элементов постоянно совершенствуются в направлении увеличения количества отогнутых элементов, модификации поверхности насадки различными турбулизирующими элементами или путем изменения соотношения высоты и ширины насадочного тела [1,2]. Для увеличения интенсивности тепломассообмена в газожидкостных контактных аппаратах химической промышленности потребовалось увеличение удельной поверхности насадок. Так появились регулярные насадки с гофрированной поверхностью и всевозможным рифлением. В качестве материала стали применять сталь. Для лучшего перераспределения жидкости в слое насадки и уменьшения застойных зон, элементы насадки стали оснащать отверстиями, щелями, пазами и т.д. [1,2].

Общим недостатком присущим стационарным нерегулярным и регулярным насадкам является то, что они подвержены зарастанию твердыми отложениями. Кроме того, стационарные нерегулярные насадки обладают значительным гидравлическим сопротивлением.

Решением задачи по снижению забиваемости контактной зоны аппарата явилось создание аппаратов с подвижной насадкой к числу которых относятся аппараты со взвешенной, фонтанирующей насадкой и циркулирующей насадкой [3].

В аппаратах со взвешенной насадкой (ВН) элементы насадки находясь во взвешенном состоянии, совершают хаотичные и пульсационные движения. Применение тарелок в виде усеченного конуса, в которых перфорирована поверхность нижнего основания конуса позволяет организовать фонтанирование насадки над перфорированной частью тарелки (аппараты ФН). В аппаратах с циркулирующей насадкой и круговым движением насадки циркулирующее или круговое движение заложено в принцип работы и осуществляется организованно с помощью дополнительных трактов (зон), специальных способов и приспособлений [3,4,5].

Недостатком аппаратов с подвижной насадкой является повышенное гидравлическое сопротивление вследствие необходимости затрачивания энергии газового потока на подъем насадочных элементов и поддержания их во взвешенном состоянии.

В последние годы находят применение аппараты с регулярной подвижной насадкой (РПН) различных геометрических форм, разработанные казахстанскими учеными [3,6,7]. Они значительно превосходят широко применяемые конструкции насадочных аппаратов с нерегулярной и регулярной стационарной насадкой, подвижной насадкой вследствие невысокой энергоемкости при высокой эффективности проводимых процессов, т.е. обладают несомненным преимуществом, таким как низкая капиталоемкость производства. В аппаратах с регулярным расположением насадочных элементов в вертикальном и радиальном направлениях имеется возможность достижения в них режима одновременного вихреобразования (синфазного режима), характеризующегося высокой эффективностью

проводимых процессов. Кроме того, создаваемые конструкции насадочных элементов дополнительно к синфазному режиму позволяют организовать вибрационное или вращательное движение, что способствует дальнейшему росту эффективности.

Вместе с тем, для более детального изучения работы таких аппаратов необходимо определение структурных составляющих жидкой фазы, являющихся основой создания межфазной поверхности. В этой связи нами проведены исследования размеров составляющих жидкой фазы в теплообменном аппарате с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями, что, несомненно, является актуальным.

Новизной темы является получение уравнений для расчета диаметров струй и капель жидкости в контактной зоне аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями.

Условия и методы исследования. Исследования структурных составляющих жидкой фазы в теплообменном аппарате с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями проведены на лабораторной установке в системе «вода-воздух», включающей модель аппарата квадратного поперечного сечения, вентилятор, насос, сборную и напорную емкости. Регулирование скорости газового потока осуществлялось шибром по показаниям стандартной диафрагмы, а количество подаваемой жидкости вентилем по показаниям ротаметров.

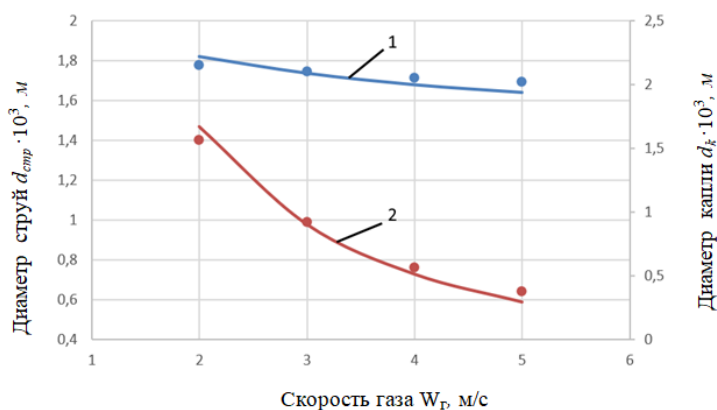
При исследовании структурных составляющих жидкой фазы проводились визуальные наблюдения газожидкостного слоя и его фотографирование. Количественные и качественные показатели структурных составляющих (диаметров струй и капель жидкости) были получены на основе статистической обработки фотографий.

Результаты исследования и их обсуждение. Лабораторные исследования структурных составляющих жидкой фазы проводились с изменением режимных параметров – скорости газа и плотности орошения.

На рисунках 1 и 2 представлены графики зависимостей диаметров струй и капель жидкости.

Как видно из рисунка 1 увеличение скорости газового потока приводит к снижению значений диаметров струй и капель в объеме исследуемых насадочных элементов. Это объясняется тем, что увеличение скорости газа способствует росту частоты вращения, мощности образующихся вихрей и производимой ими работы. В результате происходит снижение диаметров капель.

При исследовании зависимости диаметров капель от плотности орошения (рис. 2) определено, что с увеличением плотности орошения значения диаметров струй и капель растут. Это связано с тем, что при неизменной скорости газового потока приток дополнительного объема жидкости приводит к утяжелению насадочных элементов и снижению частоты их вращения.

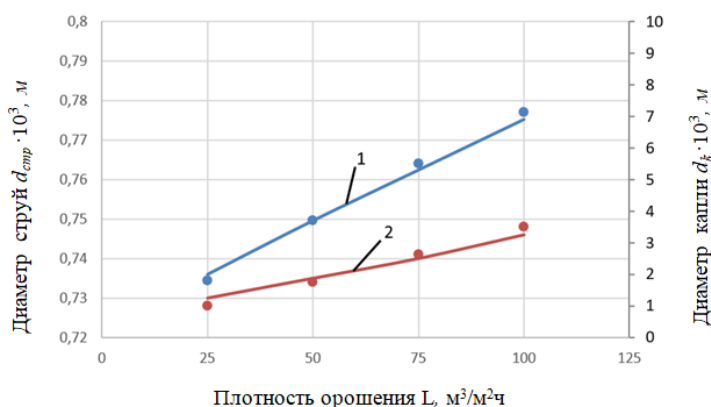


Условия опытов: $t_b=3,5d_{об}$; $t_p=2d_{об}$; $d_{об} = 50$ мм; $L=25$ м³/м²ч.

Кривые – расчет; точки – эксперимент.

1 – d_k ; 2 – $d_{стр}$.

Рис. 1. Зависимость диаметров струй $d_{стр}$ и диаметров капель d_k жидкости от скорости газа W_g



Условия опытов: см. рис.1. $W_g=4$ м/с.

Кривые – расчет; точки – эксперимент.

1 – d_k ; 2 – $d_{стр}$.

Рис. 2. Зависимость диаметров струй $d_{стр}$ и диаметров капель d_k жидкости от плотности орошения L

Для получения расчетных зависимостей структурных составляющих жидкой фазы рассмотрим условия проведения процесса дробления жидкости. В противоточном аппарате газовый поток поступает снизу и движется вверх. Жидкость подается в верхней части аппарата и стекает вниз. Взаимодействие газа и жидкости происходит в объеме насадочной зоны, состоящей из регулярно расположенных вращающихся насадочных элементов.

Особенностью конструкции исследуемой вращающейся насадки является наличие обода, закрепленного на свободных концах лопастей. Поэтому, поступающая на элемент насадки жидкость вначале попадает на лопасти, а затем в виде пленки движется к периферии, достигает обода, изменяет направление движения на вертикальное и на срезе обода дробится.

Известно, [8] что в форсунках с вращающимся распылителем пленка образуется при вращении диска или барабана, во внутреннюю полость

которого подается жидкость. Пленка при стекании с кромок диска или барабана становится неустойчивой и распадается на капли. Установлено, [8] что существует три режима распыливания жидкости в зависимости от ее расхода.

При малых расходах жидкости (первый режим распыливания) на периферии диска (барабана) образуется жидкое кольцо, на котором развиваются местные возмущения. Возмущенный участок кольца преобразуется в отросток, который вытягивается в сферическую головку с тонкой соединительной перемычкой. Эта головка отделяется, образуя первую каплю, а перемычка распадается с образованием мелких капелек-спутников.

При увеличении расхода жидкости возникает второй режим распыливания, при котором отростки на кольце принимают форму длинных нитей. На некотором расстоянии от периферии диска (барабана) нити распадаются на капли примерно одинаковых размеров, а тонкие перемычки между ними – на более мелкие капли-спутники.

Когда нити не могут пропустить всю жидкость из кольца на кромке, это кольцо сбрасывается с кромки, образуя пленку. Наступает третий режим распыливания, когда пленка распадается на капли различных размеров.

Жидкостное кольцо, образующееся на внутренней стороне обода исследуемой насадки, в полной мере реализует механизмы, описанные применительно к дискам и барабанам.

Известно, [8,9] что движение жидкой пленки по поверхности вращающегося элемента является достаточно сложным и в общем случае описывается системой дифференциальных уравнений Навье-Стокса и уравнением неразрывности, решение которой представляет большие математические трудности.

В работах [8,9] показано, что в связи с малой толщиной пленки, образующейся на поверхности вращающегося элемента (диска, барабана), небольшими тангенциальными и вертикальными составляющими скорости в сравнении с радиальными, эту систему можно существенно упростить и свести ее к уравнению движения:

$$\frac{\partial g_r}{\xi^2 \cdot \partial \psi^2} + \frac{\rho_{ж} \omega_{вр}^2 \cdot \xi}{\mu_{ж}} \cdot \sin^2 \alpha = 0 \quad (1)$$

При следующих граничных условиях:
на стенке:

$$g_r = 0 \quad \psi = 0$$

на свободной поверхности:

$$\frac{\partial g_r}{\xi \cdot \partial \psi} = 0 \quad \psi = \psi_1 \quad (2)$$

где: g_r – радиальная составляющая скорости, м/с; ξ – осевая координата на свободной поверхности.

Для решения уравнения (1) введем обозначения:

$$\frac{\partial g_r}{\partial \psi} = K \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 g_r}{\partial \psi^2} = \frac{\partial K}{\partial \psi} \quad (4)$$

С учетом этих обозначений уравнение (1) запишем следующим образом:

$$\frac{\partial K}{\xi^2 \partial \psi} + \frac{\rho_{\text{ж}} \omega_{\text{вр}}^2 \cdot \xi}{\mu_{\text{ж}}} \cdot \sin^2 \alpha = 0 \quad (5)$$

Откуда после интегрирования:

$$K = -\frac{\rho_{\text{ж}} \omega_{\text{вр}}^2 \cdot \xi^3}{\mu_{\text{ж}}} \cdot \psi \cdot \sin^2 \alpha + C \quad (6)$$

Подставляя (6) в уравнение (3), получим:

$$\frac{\partial g_r}{\partial \psi} = -\left[\frac{\rho_{\text{ж}} \omega_{\text{вр}}^2 \cdot \xi^3}{\mu_{\text{ж}}} \cdot \psi \cdot \sin^2 \alpha \right] \psi + C \quad (7)$$

Решение уравнения (5) с учетом граничных условий имеет вид:

$$g_r = \frac{\rho_{\text{ж}} \omega_{\text{вр}}^2}{\mu_{\text{ж}}} \cdot \sin^2 \alpha \left(\xi_1^3 \psi_1 \cdot \psi - \frac{\xi^3 \psi^2}{2} \right) \quad (8)$$

Величина ψ_1 определяется из условия, что расход жидкости в слое равен расходу жидкости на насадочном элементе.

$$Q = \int_0^{\psi_1} 2\pi \cdot r \cdot \xi \cdot \frac{\rho_{\text{ж}} \omega_{\text{вр}}^2}{\mu_{\text{ж}}} \cdot \sin^2 \alpha \left(\xi_1^3 \psi_1 \cdot \psi - \frac{\xi^3 \psi^2}{2} \right) d\psi \quad (9)$$

Проведя интегрирование, получим:

$$Q = \frac{2\pi \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \omega_{\text{вр}}^2 \cdot \sin^3 \alpha \cdot \psi_1^3}{3\mu_{\text{ж}}} \quad (10)$$

В исследуемой конструкции насадки общее количество жидкости, попавшей на лопасти, перемещается на внутреннюю поверхность обода.

Обозначив:

$$\delta_{\text{нл}}^{\text{об}} = \xi_1 \cdot \psi_1; \quad (11)$$

$$r = \xi_1 \cdot \sin \alpha; \quad (12)$$

$$Q = U_{\text{ж}} S_{\text{об}}, \quad (13)$$

и проводя необходимые преобразования, получим уравнение толщины пленки жидкости на поверхности вращающегося элемента:

$$\delta_{пл}^{об} = \left(\frac{3\mu_{ж} \cdot U_{ж} \cdot S_{об}}{2\pi \cdot \rho_{ж} \cdot \omega_{вр}^2 \cdot r^2 \cdot \sin \alpha} \right)^{1/3} \quad (14)$$

Подставляя значение площади лопастей $8 \cdot \pi \cdot r^2 = S_{лоп}$, и заменяя $\nu_{ж} = \frac{\mu_{ж}}{\rho_{ж}}$, получим:

$$\delta_{пл}^{об} = \left(\frac{3 \cdot \nu_{ж} \cdot U_{ж} \cdot S_{об}}{2 \cdot \omega_{вр}^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_{лоп}} \right)^{1/3} \quad (15)$$

В уравнении (15) обозначим $B_s = \frac{S_{об}}{S_{лоп}}$, тогда оно окончательно примет вид:

$$\delta_{пл}^{об} = \left(\frac{3 \cdot \nu_{ж} \cdot U_{ж} \cdot B_s}{2 \cdot \omega_{вр}^2 \cdot \sin \alpha} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Как отмечалось ранее [8] в форсунках с вращающимся распылителем в виде диска или барабана на их поверхности образуется пленка жидкости, которая, достигая кромок, становится неустойчивой и распадается на капли. В зависимости от расхода пленка жидкости распадается на отростки со сферической головкой (малый расход жидкости), на длинные нити (средний расход жидкости) и сбрасывается сама пленка (большой расход жидкости). При всех расходах, в конечном счете, образуются капли, а из тонких перемычек мелкие капли-спутники.

Визуальные наблюдения за работой исследуемой вращающейся насадки в диапазоне плотностей орошения от 15 до 75 м³/м²ч и скоростей газа 3-5 м/с показали, что для нее характерен второй режим распыливания с образованием нитей.

Известно, [8] что при истечении жидкости в виде струи на ее поверхности возникают волны, распространяющиеся вдоль струи. Причем распад вызывается волнами, которые имеют наиболее быстро нарастающую во времени амплитуду. Определим длину такой волны.

Примем, что происходят осесимметричные колебания, это справедливо при числе Вебера $We_{стр} \ll 1$ [8]. Для этого случая квадрат инкремента колебаний имеет вид:

$$Z_{0i}^2 = m^2 \cdot We_{стр} - m^3, \quad (17)$$

в котором m – безразмерное волновое число:

$$m = r_{стр} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \quad (18)$$

здесь: $r_{стр}$ – радиус струи; λ – длина волны.

Согласно [8], при $We_{стр} \rightarrow 0$ $Z_{0i}^2 \rightarrow 0$. Тогда из (17) имеем:

$$m = We_{\square p} = \frac{U_{стр}^2 \cdot r_{стр} \cdot \rho_{\Gamma}}{\sigma}, \quad (19)$$

где, $U_{стр}$ – скорость струи жидкости, м/с;
 Из условий (18) и (19) определим длину волны:

$$\lambda = \frac{2\pi\sigma}{U_{стр}^2 \cdot \rho_{\Gamma}}. \quad (20)$$

В то же время длина нераспавшейся струи для маловязких жидкостей может быть определена [8] по формуле:

$$\frac{L_c}{\left(\frac{d_{об}}{2}\right)} = 2,3 \left(\frac{Q_{ж}^6 \cdot \rho_{ж}}{\left(\frac{d_{об}}{2}\right)^{15} \cdot \omega_{вр}^2 \cdot \sigma} \right)^{0,143}. \quad (21)$$

В условиях, когда $We_{стр} \ll 1$, можно принять $L_c \approx \lambda$. Тогда из (20) и (21) после преобразований получим:

$$U_{стр} = 1,01 \cdot \left(\frac{\sigma^{1,143} \cdot \omega_{вр}^{0,572}}{\left(\frac{d_{об}}{2}\right)^{0,571} \cdot U_{ж}^{0,858} \cdot \rho_{ж}^{0,143} \cdot \rho_{\Gamma}} \right)^{0,5}. \quad (22)$$

В результате исследования перехода от капельного истечения к струйному при распыливании жидкости вращающимися дисками была получена формула [8] для определения радиуса струи:

$$r_{стр} = \left(\frac{2 \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho_{ж} \cdot \left(\frac{d_{об}}{2}\right) \cdot \omega_{вр}^2} \right)^{0,5}. \quad (23)$$

откуда диаметр струй жидкости:

$$d_{стр} = 1,6 \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_{ж} \cdot \left(\frac{d_{об}}{2}\right) \cdot \omega_{вр}^2} \right)^{0,5}. \quad (24)$$

Для определения диаметра капель принимаем: образование капель происходит при дроблении струек под действием вихрей, возникающих при обтекании насадочных элементов, вдали от пристенных слоев сплошной среды; капли в момент формирования имеют сферическую форму с однородным поверхностным натяжением; скорости дробления и коалесценции капель одинаковы, что справедливо при последовательном и многократном дроблении образующихся струек [10].

Диаметр каплей, образующихся при распаде струй жидкости, определим из условия равновесия сил, действующих на каплю:

$$\sigma \cdot S_k = m_b \cdot \frac{(\bar{U}')^2}{2}, \quad (25)$$

где в левой части – силы поверхностного натяжения, а в правой – динамический напор, действующий изнутри на поверхность, раздела, обусловленный изменением пульсационных скоростей на расстоянии λ . Площадь сечения капли S_k рассчитываем по уравнению:

$$S_k = \frac{\pi d_k^2}{4}. \quad (26)$$

Массу с длиной λ , определим по формуле:

$$m_b = \frac{\pi d_{cmp}^2}{4} \cdot \rho_{ж} \cdot \lambda. \quad (27)$$

Среднюю пульсационную скорость \bar{U}' находим по уравнению [11]:

$$\bar{U}' = \mathfrak{E}^{1/3} \cdot \ell^{1/3} = \mathfrak{E}^{1/3} \cdot d_k^{1/3} \quad (28)$$

где, ℓ – масштаб пульсаций, соизмеримый с диаметром капли, т.е. $\ell = d_k$.

Энергию диссипации вихрей \mathfrak{E} , образующихся при обтекании струй жидкости, определим как:

$$\mathfrak{E} = \frac{N_b}{V_{cmp} \cdot \rho_{ж}}, \quad (29)$$

где, N_b – мощность вихрей, образующихся при обтекании струй жидкости:

$$N_b = \xi_L \cdot d_{cmp} \cdot \lambda \cdot \rho_{\Gamma} \frac{U_{\Gamma}^3}{2}. \quad (30)$$

Объем струй жидкости с диаметром d_{cmp} и длиной λ , определим по формуле:

$$V_{cmp} = \frac{\pi \cdot d_{cmp}^2}{4} \cdot \lambda. \quad (31)$$

Подставляя выражения (26), (27) и (28) с учетом (29), (30), (31) в уравнение (25) и решая относительно d_k , получим:

$$d_k = B_k \cdot \xi_L^{1/3} \cdot \frac{\rho_{ж}^{1/6} \cdot d_{cmp}^{2/3} \cdot \sigma^{1/3} \cdot U_{\Gamma}}{U_{cmp}^{5/3} \cdot \rho_{\Gamma}^{1.2}}. \quad (32)$$

здесь $B_k = 0,925$ – корректирующий коэффициент.

Полученные уравнения $\delta_{пл}$, $U_{стр}$, $d_{стр}$ и d_k учитывают особенности режимных параметров через U_r и $U_{ж}$, параметров движения через $\omega_{вр}$, конструктивные особенности расположения орошаемых насадочных элементов и физические свойства сплошной и дисперсной фаз через $\rho_{ж}$, ρ_r , $\nu_{ж}$, ν_r и σ .

Заключение. Рассмотрены конструкции насадочных теплообменников аппаратов с нерегулярными и регулярными стационарными насадками, с подвижными и регулярными подвижными насадками. Проведен анализ и указаны их недостатки. Для аппаратов с регулярными подвижными насадками отмечена возможность реализации синфазного режима взаимодействия вихрей и использования преимуществ вибрационного и вращательного движения насадочных элементов.

Результаты экспериментальных исследований структурных составляющих жидкой фазы в теплообменном аппарате с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями при изменении скорости газа и плотности орошения, полученные на основе фотографий обработаны в виде графических зависимостей. Отмечено, что увеличение скорости газа способствует росту частоты вращения, мощности образующихся вихрей и производимой ими работы. В результате происходит снижение диаметров капель. С увеличением плотности орошения значения диаметров струй и капель растут. Это связано с тем, что при неизменной скорости газового потока приток дополнительного объема жидкости приводит к утяжелению насадочных элементов и снижению частоты их вращения.

Уравнения для расчета средней толщины и среднерасходной скорости пленки жидкости получены на основе анализа действующих на нее сил, уравнение для определения диаметра струй жидкости базируется на волновой теории, а с использованием диссипативного подхода получено уравнение для расчета объемно-поверхностного диаметра капель.

Список литературы

1. Городилов, А.А. Интенсификация процесса теплообмена в контактных аппаратах с регулярной насадкой [Текст]: дис. ...канд. техн. наук. / А.А. Городилов. – М., 2016. – 142 с.
2. Каган, А.М. Контактные насадки промышленных теплообменников аппаратов [Текст] / А.М. Каган, А.Г. Лаптев, А.С. Пушнов, М.И. Фарахов. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.
3. Балабеков, О.С. Расчет и конструирование теплообменников и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой [Текст] / О.С. Балабеков, А.А. Волненко. – Шымкент, 2015. – 184 с.
4. Балабеков, О.С. Расчет и конструирование аппаратов с подвижной насадкой [Текст] / О.С. Балабеков. – Алма-Ата, 1984. – 34 с.
5. Балтабаев, Л.Ш. Массообменный аппарат для очистки газ(пар) жидкость [Текст] / Балтабаев Л.Ш. А.с. 394059 СССР. 1980, Б.И. №34.
6. Балабеков, О.С. Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты [Текст] / О.С. Балабеков, Л.Ш. Балтабаев. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
7. Балабеков, О.С. Физико-химическая гидродинамика и закон о синфазности вихреобразования [Текст] / О.С. Балабеков. – Шымкент, 2001. – 277 с.
8. Дитякин, Ю.Ф. Распыливание жидкостей. 2-е изд. перераб. и доп. [Текст] / Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
9. Пажи, Д.Г. Распылители жидкостей [Текст] / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
10. Соколов, В.Н. Газожидкостные реакторы [Текст] / В.Н. Соколов, И.В. Доманский. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

11. Волненко, А.А. Научные основы разработки и расчета вихревых массообменных и пылеулавливающих аппаратов [Текст]: дис. ... докт. техн. Наук / А.А. Волненко. – Шымкент, 1999. – 300 с.

Материал поступил в редакцию 18.07.24.

**А.А. Волненко¹, А. Сериков¹, А.А. Абжапбаров¹,
А.Э. Левданский², Д.К. Жумадуллаев¹**

¹*М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан*

²*Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті, Минск қ., Беларусь*

ТҰРАҚТЫ АЙНАЛМАЛЫ САПТАМАСЫ БАР ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССА АЛМАСУ АППАРАТЫНДАҒЫ СҰЙЫҚ ФАЗАНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚҰРАМДАСТАРЫН ЕСЕПТЕУ

Аңдатпа. Тұрақты емес және тұрақты стационарлық саптамалары бар, жылжымалы және тұрақты жылжымалы саптамалары бар оралған жылу және масса алмасу құрылғыларының конструкцияларының даму жағдайы талданған. Жұмыстағы кемшіліктер атап өтілді. Тұрақты қозғалатын саптамалары бар құрылғылар үшін құйындылардың өзара әрекеттесуінің фазалық режимін жүзеге асыру және саптама элементтерінің діріл және айналу қозғалысын пайдалану мүмкіндігі атап өтілді.

Графикалық тәуелділіктер түрінде өңделген фотосуреттер негізінде алынған газ жылдамдығын және суару тығыздығын өзгерту кезінде тікбұрышты қалақшалары бар айналмалы оралған элементтері бар жылу және масса алмасу аппаратындағы сұйық фазаның құрылымдық құрамдас бөліктеріне эксперименталды зерттеу жүргізілді. Газ жылдамдығының артуы айналу жиілігінің, пайда болатын құйындылардың қуатының және олар жасайтын жұмыстың артуына ықпал ететіні атап өтілген. Нәтижесінде тамшылардың диаметрлері азаяды. Суару тығыздығы артқан сайын ағындар мен тамшылардың диаметрлері артады. Бұл тұрақты газ шығыны кезінде сұйықтықтың қосымша көлемінің түсуі орауыш элементтердің ауырлауына және олардың айналу жиілігінің төмендеуіне әкелетініне байланысты.

Сұйық қабықшаның орташа қалыңдығын және орташа шығынын есептеуге арналған теңдеулер оған әсер ететін күштерді талдау негізінде алынады. Сұйық ағындардың диаметрін анықтау теңдеуі толқындық теорияға негізделген, ал диссипативті тәсілді қолдана отырып, тамшылардың көлемдік-беттік диаметрін есептеу үшін теңдеу алынады.

Түйінді сөздер: жылу және масса алмасу аппараты, тұрақты айналмалы саптама, газ жылдамдығы, суару тығыздығы, пленка қалыңдығы, ағын диаметрі, тамшы диаметрі.

**A.A. Volnenko¹, A. Serikov¹, A.A. Abzhapbarov¹,
A.E. Leudanski², D.K. Zhumadullayev¹**

¹*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

²*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus*

CALCULATION OF THE STRUCTURAL COMPONENTS OF THE LIQUID PHASE IN A HEAT AND MASS TRANSFER APPARATUS WITH A REGULAR ROTATING NOZZLE

Abstract. The state of development of designs of packed heat and mass transfer devices with irregular and regular stationary nozzles, with movable and regular movable nozzles is analyzed. Shortcomings in the work are pointed out. For devices with regular moving nozzles, the possibility of implementing an in-phase mode of interaction of vortices and taking advantage of the vibration and rotational motion of the nozzle elements has been noted.

An experimental study of the structural components of the liquid phase in a heat and mass transfer apparatus with rotating packed elements with rectangular blades was carried out when changing the gas speed and irrigation density, obtained on the basis of photographs processed in the form of graphical dependencies. It is noted that an increase in gas velocity contributes to an increase in the rotation frequency, the power of the resulting vortices and the work they produce. As a result, droplet diameters decrease. With increasing irrigation density, the diameters of the jets and drops increase. This is due to the fact that, at a constant gas flow rate, the influx of an additional volume of liquid leads to heavier packing elements and a decrease in their rotation frequency.

Equations for calculating the average thickness and average flow rate of a liquid film are obtained based on an analysis of the forces acting on it. The equation for determining the diameter of liquid jets is based on the wave theory, and using the dissipative approach, an equation is obtained for calculating the volume-surface diameter of droplets.

Keywords: heat and mass exchange apparatus, regular rotating nozzle, gas velocity, irrigation density, film thickness, jet diameter, droplet diameter.

References

1. Gorodilov A.A. Intensifikatsiya protsessa teplomassoobmena v kontaktnykh apparatakh s regulyarnoy nasadkoy [Intensification of the heat and mass transfer process in contact devices with regular packing]: dissertation candidate of technical sciences. – Moscow, 2016. – 142 p. [in Russian].
2. Kagan A.M., Laptev A.G., Pushnov A.S., Farakhov M.I. Kontaknyye nasadki promyshlennykh teplomassoobmennykh apparatov [Contact nozzles for industrial heat and mass transfer devices]. – Kazan: Fatherland, 2013. – 454 p. [in Russian].
3. Balabekov O.S., Volnenko A.A. Raschet i konstruirovaniye teplomassoobmennykh i pyleulavlivayushchikh apparatov s podvizhnoy i regulyarnoy nasadkoy [Calculation and design of heat and mass transfer and dust collecting devices with a movable and regular nozzle]. – Shymkent, 2015. – 184 p. [in Russian].
4. Balabekov O.S. Raschet i konstruirovaniye apparatov s podvizhnoy nasadkoy [Calculation and design of devices with a movable nozzle]. – Almaty, 1984. – 34 p. [in Russian].
5. Baltabaev, L.Sh. Massoobmennyy apparat dlya ochistki gaz(par) zhidkost [Mass transfer apparatus for gas (steam) liquid purification] Copyright certificate 394059 USSR. 1980, B.I. No. 34. [in Russian].
6. Balabekov O.S., Baltabaev L.Sh. Ochistka gazov v khimicheskoy pro-myshlennosti. Protsessy i apparaty [Gas purification in the chemical industry. Processes and devices]. – Moscow: Chemistry, 1991. – 256 p. [in Russian].
7. Balabekov O.S. Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika i zakon o sinfaznosti vikhreobrazovaniya [Physico-chemical hydrodynamics and the law of in-phase vortex formation]. – Shymkent, 2001. – 277 p. [in Russian].
8. Dityakin Yu.F., Klyachko L.A., Novikov B.V., Yagodkin V.I. Raspylivaniye zhidkostey. 2-ye izd. pererab. i dop. [Spraying liquids. 2nd ed. reworked and additional]. – Moscow: Mechanical Engineering, 1977. – 208 p. [in Russian].
9. Pazhi D.G., Galustov V.S. Raspyliteli zhidkostey [Spraying liquids]. – Moscow: Chemistry, 1979. – 216 p. [in Russian].
10. Sokolov V.N., Domansky I.V. Gazozhidkostnyye reaktory [Gas-liquid reactors]. – Leningrad: Mechanical Engineering, 1976. – 216 p. [in Russian].
11. Volnenko A.A. Nauchnyye osnovy razrabotki i rascheta vikhrevykh massoobmennykh i pyleulavlivayushchikh apparatov [Scientific basis for the development and calculation of vortex mass transfer and dust collecting devices]: dis. ... Doctor of Technical Sciences. – Shymkent, 1999. – 300 p. [in Russian].