

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/AVUM6117>

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ В ТЕПЛОМАССОБМЕННОМ АППАРАТЕ С РЕГУЛЯРНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ НАСАДКОЙ

Аннотация. Проанализировано применение известных конструкций нерегулярных и регулярных стационарных насадок, подвижных и регулярно подвижных насадок с выявлением их недостатков и установлением путей их модернизации.

Выполнено экспериментальное исследование гидравлического сопротивления насадочного слоя с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями при изменении шагов расположения в вертикальном и радиальном направлениях. Отмечено, что при изменении вертикального шага возможно достижение синфазного режима, характеризующегося ростом мощности образованных вихрей благоприятно влияющего на достижение высокоразвитой межфазной поверхности и эффективность проводимых процессов. Подтверждено наличие критического шага при изменении расстояний между соседними насадочными в одном ряду в радиальном направлении, при котором происходит перестройка механизма формирования вихрей. Частота образования вихрей до критического шага определяется величиной зазора между соседними в ряду насадочными элементами, а после него шириной обтекаемых элементов.

Получено уравнение расчета гидравлического сопротивления аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями, учитывающее процессы формирования и взаимодействия вихрей за насадочными элементами и характеризующее энергозатраты в теплообменном аппарате.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, регулярная вращающаяся насадка, гидравлическое сопротивление, эквивалентный диаметр, вертикальный шаг, радиальный шаг, синфазный режим.



Волненко, А.А. Анализ влияния конструктивных параметров на энергозатраты 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. – №3(85). – Б.276-286. <https://doi.org/10.55956/AVUM6117>

Введение. Насадочные теплообменные аппараты являются наиболее распространенным оборудованием на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической газоперерабатывающей промышленности.

За более чем вековой период создано большое количество разнообразных по конструкции насадочных элементов, которые можно классифицировать на нерегулярные (хаотические) стационарные насадки, регулярные стационарные насадки, подвижные насадки и регулярные подвижные насадки. Исследованиям таких насадок посвящены диссертационные исследования, научные статьи и результаты обобщены в многочисленных монографиях.

Из последних научных работ можно выделить [1,2], в которых обобщены результаты исследований и полученные расчетные зависимости для различных типов нерегулярных и регулярных стационарных насадок. Вместе с тем, общим недостатком рассмотренных насадок является то, что они подвержены зарастанию твердыми отложениями.

В аппаратах с подвижной насадкой (взвешенной, фонтанирующей насадкой и с циркулирующей насадкой) [3] зарастание твердыми отложениями практически не происходит из-за интенсивных хаотичных и пульсационных движений, однако существенным недостатком аппаратов этого типа является то, что основные затраты энергии газового потока приходится на взвешивание насадки и создание турбулизированного газожидкостного слоя. Это приводит к значительному росту гидравлического сопротивления.

Снижение затрат энергии возможно при регулярном размещении насадочных элементов в объеме контактной зоны. Используя этот принцип, создан класс аппаратов с регулярной подвижной насадкой (РПН), в которых элементы насадки с фиксированным шагом в вертикальном и радиальном направлениях равномерно закреплены на струнах [3]. Дальнейшее усовершенствование регулярной насадки происходит в том направлении, чтобы придать элементам насадки вибрационные или вращательные движения [3-7].

Применительно к аппаратам с регулярной вращающейся насадкой созданы конструкции аппаратов с вертикальным и горизонтальным расположением пластинчатой насадки [8], с насадкой в виде пластин, разрезанных на сектора и повернутых под углом относительно плоскости [9], вращающейся пластинчатой насадкой и неподвижными сетчатыми перегородками для ограничения полета капель [10], с вращающейся насадкой с пластинчатыми лопастями на спицах [11], с вращающейся насадкой с горизонтально расположенными насадочными элементами [12].

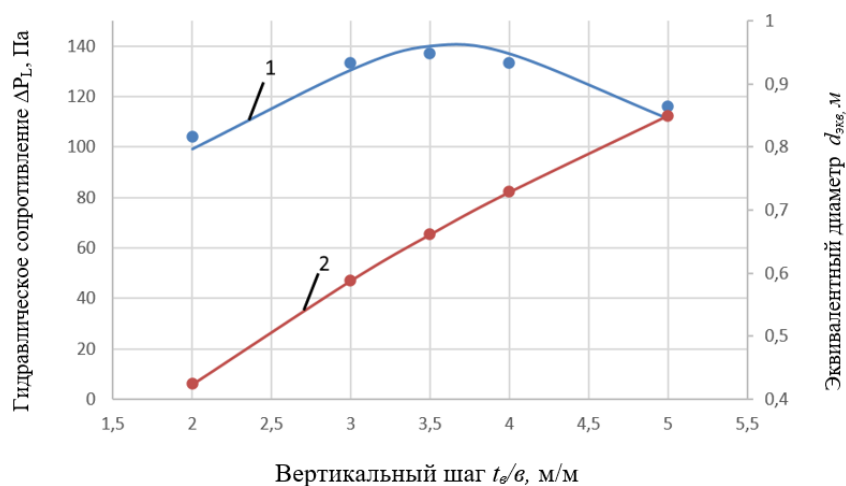
В предлагаемой статье приводятся результаты исследований гидравлического сопротивления аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями в зависимости от шагов расположения элементов насадки в вертикальном и радиальном направлениях, а также рассматриваются механизмы вихревого взаимодействия потоков газа и жидкости, что является актуальным.

Новизной темы является получение уравнения для расчета гидравлического сопротивления аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями, учитывающего механизмы вихревого взаимодействия потоков газа и жидкости.

Условия и методы исследований. Исследования гидравлического сопротивления тепломассообменного аппарата 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 шибером по показаниям стандартной диафрагмы, а количество подаваемой жидкости вентилем по показаниям ротаметров.

Гидравлическое сопротивление ΔP измерялось дифференциальным манометром и контролировалось прибором типа ДСР.

Результаты исследований и их обсуждение. Лабораторные исследования гидравлического сопротивления аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями проведены с изменением шагов расположения насадочных элементов в вертикальном и радиальном направлениях (рис. 1, 2). На представленных рисунках приведены результаты вычислительных исследований эквивалентного диаметра вращающейся насадки.



Условия опытов: $t_p=2d_{об}$; $d_{об} = 50$ мм; $W_r=4$ м/с; $L=25$ м³/м²ч.

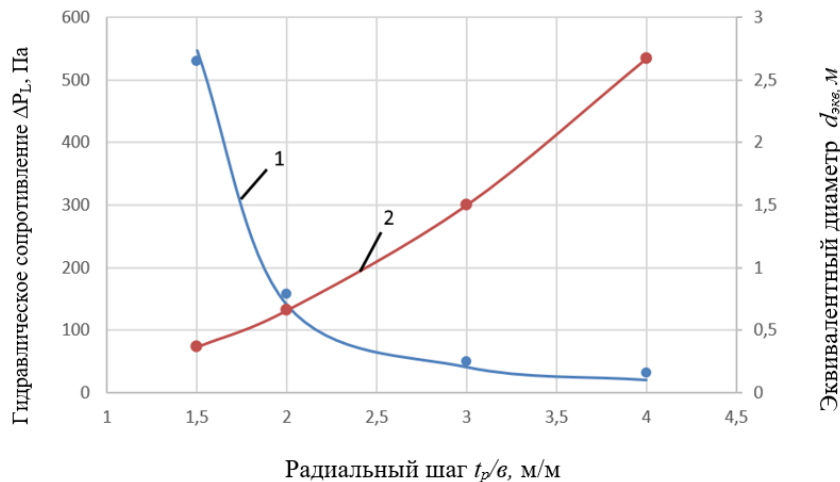
Кривые – расчет; точки – эксперимент.

1 – ΔP_L ; 2 – $d_{экв}$.

Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления ΔP_L и эквивалентного диаметра $d_{экв}$ регулярной вращающейся насадки от шагов расположения элементов насадки в вертикальном направлении $t_\phi/d_{об}$

Как видно из рисунков 1 и 2 значения эквивалентного диаметра в диапазонах изменения вертикальных и радиальных шагов расположения вращающихся насадочных элементов растут. Это указывает на то, что при максимальных значениях шагов могут быть достигнуты наименьшие энергозатраты. Однако это нецелесообразно. Во-первых, установка насадочных элементов на максимальных расстояниях приведет к значительному увеличению габаритов насадочной зоны, а следовательно, к росту материалоемкости аппарата и установке более мощного вентилятора для обеспечения оптимальной скорости газового потока, т.е. увеличению энергопотребления. Во-вторых, высокая эффективность проведения процессов

в аппаратах с регулярной подвижной насадкой достигается за счет механизма формирования и взаимодействия вихрей при обтекании насадочных элементов установленных с оптимальными шагами расположения в вертикальном и радиальном расположении.



Условия опытов: $t_b = 3,5d_{об}$; $d_{об} = 50$ мм; $W_r = 4$ м/с; $L = 25$ м³/м²ч.
Кривые – расчет; точки – эксперимент.
1 – ΔP_L ; 2 – $d_{экв}$.

Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления ΔP_L и эквивалентного диаметра $d_{экв}$ регулярной вращающейся насадки от шагов расположения элементов насадки в радиальном направлении $t_p/d_{об}$

Исследованиям конструктивных параметров в аппаратах с регулярной подвижной насадкой посвящены множество работ [3,4,13-15]. Они свидетельствуют о том, что такие конструктивные параметры, как форма насадочных элементов, расстояния (или безразмерный шаг) между насадочными элементами в вертикальном и радиальном направлениях оказывают большое влияние на гидродинамические и тепломассообменные характеристики аппаратов.

Форма насадочных элементов определяет симметричность вихреобразования. За сферическими (шары) и круглыми насадочными телами (вращающаяся пластинчатая насадка круглой и квадратной формы) образуются симметричные (тороидальные) вихри обладающие периодом движения. За пластинами, призматическими телами с круглым, квадратным, треугольным и т.д. сечением осуществляется несимметричный срыв вихрей, отличием которого является то, что за период движения образуются два вихря, попеременно с противоположных боковых сторон насадочного тела.

Механизмы формирования вихрей и их взаимодействие при обтекании дискретно расположенных по ходу газового потока твердых тел рассмотрены в научном открытии в области механики газа и жидкости [16]. При изменении расстояния между насадочными телами возможно достижение такого момента, когда время образования вихрей и время их движения между соседними насадочными телами совпадает и в результате чего происходит слияние вихрей, сопровождающееся ростом мощности вновь образованных вихрей. Этот режим работы назван синфазным режимом или режимом

одновременного вихреобразования. В том случае, если насадочные тела располагаются на расстояниях не обеспечивающих равенство времени образования и времени движения их от одного элемента к другому происходит либо вынужденный срыв не завершивших формирование вихрей (при расстоянии менее оптимального), либо движущиеся вихри от элементов расположенных ниже по потоку достигают насадочные элементы расположенные выше по потоку, когда за ними уже произошел отрыв сформировавшихся вихрей (при расстоянии большим оптимального). В обоих случаях синфазный режим нарушается.

В проведенных нами исследованиях гидравлического сопротивления (рис. 1, кривая 1) оптимальным шагом, обеспечивающим достижение синфазного режима является $t_b = 3,5d_{об}$, в связи с чем на кривой $\Delta P_L = f(t_e)$ имеется экстремум гидравлического сопротивления, так как повышенное потребление энергии в этом режиме связано с одновременным срывом вихрей за цепочкой элементов, обуславливающее максимальное воспроизводство вихрей и вытекающую из этого максимальную потребность энергии.

При нарушении синфазного режима в работе насадочных элементов гидравлическое сопротивление снижается за счет уменьшения числа вихрей, образованных в объеме рабочей зоны. Это происходит, как было отмечено выше, в результате вынужденного срыва вихрей, не завершивших цикл формирования за телами, расположенными выше по потоку, вихрями, оторвавшимися с нижерасположенных по потоку тел. На полученной графической зависимости шага расположения между насадочными элементами меньше и больше $3,5d_{об}$ приводят к нарушению синфазного режима.

Важность учета образования и взаимодействия вихрей, образованных насадочными элементами, расположенными в радиальном направлении отмечено в работах [3,4,13-15]. В научном открытии [17] дано описание механизма образования и взаимодействия вихрей в одном ряду радиально расположенных элементов. Приведено обоснование критическому расстоянию между насадочными телами, превышение которого приводит к образованию вихрей с частотой, зависящей от размера обтекаемых тел. Расположение насадочных элементов на расстоянии менее критического приводит к тому, что частоту срыва вихрей определяет не размер обтекаемых тел, а величина зазора, образованного соседними в поперечном сечении элементами. Чем меньше зазор, тем больше частота образования и срыва вихрей. Рост числа образованных вихрей при малых величинах зазора приводит к значительному потреблению энергии потока.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость гидравлического сопротивления от шагов расположения насадочных элементов в радиальном направлении. Как видно из рисунка гидравлическое сопротивление в диапазоне $t_p/d_{об}$ от 1,5 до 2 резко снижается и с дальнейшим увеличением шагов это снижение происходит более плавно.

Критическим значением является шаг расположения насадочных элементов в радиальном направлении равном $t_p/d_{об}=2$. При меньших значениях частота образованных вихрей зависит от величины зазора, образованного соседними элементами. При малых величинах зазора увеличение числа образованных вихрей приводит к росту гидравлического сопротивления. После критического значения радиального шага происходит перестройка механизма образования вихрей. В этом случае определяющим частоту образования вихрей является размер насадочных элементов и

увеличение шагов расположения практически не влияет на частоту образования вихрей. В результате этого гидравлическое сопротивление незначительно снижается.

На основании проведенных исследований нами получена расчетная зависимость для определения гидравлического сопротивления. Энергия, подводимая газовым потоком в газоочистной аппарат, затрачивается на формирование и перемещение вихрей, на трение газа о поверхность пленки жидкости на насадочных элементах, на дробление жидкостного потока на капли, а также на вращение насадочных элементов. Эти затраты могут быть вычислены по следующей зависимости [18]:

$$\Delta P_L = \xi_L \cdot \frac{H}{d_{\text{ЭКВ}}} \cdot \frac{\rho_{\Gamma} W_{\Gamma}^2}{2\varepsilon_0^2}. \quad (1)$$

В большинстве работ [4-6] для вычисления гидравлического сопротивления применяется отношение $H/t_{\text{в}}$. Нам представляется более правомерным использование отношения $H/d_{\text{ЭКВ}}$, так как величина $d_{\text{ЭКВ}}$ учитывает изменение не только вертикального, но и радиального шага.

На основании обработки экспериментальных данных гидравлического сопротивления орошаемого аппарата получено расчетное уравнение для определения коэффициентов сопротивления ξ_L :

$$\xi_L = B_p \cdot \theta_{\text{в}} \cdot \theta_p \cdot \sqrt{\frac{Re_{\Gamma} \cdot Re_{\text{ж}}}{Re_{\Gamma}}}, \quad (2)$$

где, $B_p=0,212$ – опытный коэффициент.

В уравнении (2) $\theta_{\text{в}}$ – коэффициент, определяющий степень взаимодействия вихрей в вертикальном направлении. Для его вычисления предложена формула:

$$\theta_{\text{в}} = 0,85 + 0,15 \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{4 \cdot t_{\text{в}}}{m_k \cdot d_{\text{об}}} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

где: число Струхала $Sl=0,15$; m_k – коэффициент, учитывающий снижение скорости движения вихрей в потоке:

$$m_k = 0,54 \cdot (1 - e^{-t_{\text{в}}/d_{\text{об}}}) \quad (4)$$

Коэффициент, характеризующий степень взаимодействия вихрей в радиальном направлении θ_p рассчитывается по формуле:

$$\theta_p = \frac{t_p - \lambda}{t_p - d} \quad (5)$$

Импульсные элементы, расположенные в одном ряду перпендикулярно к обтекаемому потоку, способствуют формированию вихрей с масштабами λ . Существуют два случая для дискретно расположенных тел в одном ряду, перпендикулярному обтекаемому потоку: при $t_p > 2d_{\text{об}}$ $\lambda = d_{\text{об}}$; при $t_p < 2d_{\text{об}}$; $\lambda = t_p - d_{\text{об}}$.

Модифицированное число Рейнольдса:

$$\text{Re}_c = \frac{n_S \cdot d_{об}^2}{\nu_\Gamma} \quad (6)$$

Здесь, n_S – число оборотов насадочных элементов, с^{-1} .

Число Рейнольдса по газовой фазе, которое определяется по формуле:

$$\text{Re}_\Gamma = \frac{W_\Gamma \cdot d_{эКВ}}{\nu_\Gamma} \quad (7)$$

Число Рейнольдса по жидкой фазе $\text{Re}_ж$ определим по формуле:

$$\text{Re}_ж = \frac{U_{жс} \cdot d_{эКВ}}{\nu_{жс}}, \quad (8)$$

где, $U_{жс} = L/3600$ – скорость жидкости, м/с .

В орошаемом аппарате погрешность расчетных данных по уравнению (1) с экспериментальными (рис. 1, 2) составила $\pm 15\%$.

Заключение. Проведен анализ известных конструкций насадочных теплообменников аппаратов с нерегулярными и регулярными стационарными насадками, с подвижными и регулярными подвижными насадками. Отмечены их недостатки и предложены конструктивные решения по интенсификации проводимых процессов за счет вращательного движения регулярно расположенных в контактной зоне элементов насадки.

Проведены экспериментальные исследования гидравлического сопротивления насадочного слоя с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями при изменении шагов расположения в вертикальном и радиальном направлениях. Отмечено, что при изменении вертикального шага возможно достижение синфазного режима при котором происходит совпадение времени формирования вихрей и времени пролета вихрей от одного насадочного элемента к другому по направлению движения газового потока. В результате суммирования мощности вновь образованных вихрей происходит большая работа по дроблению поступающей жидкости, созданию высокоразвитой межфазной поверхности, что эффективно сказывается на проводимых процессах.

При изменении радиального шага подтверждено наличие критического шага, при котором происходит перестройка механизма формирования вихрей. До критического расстояния определяющим частоту формирования вихрей является величина зазора между соседними в ряду насадочными элементами, а после него ширина обтекаемых элементов.

Получена методика расчета гидравлического сопротивления аппарата с вращающимися насадочными элементами с прямоугольными лопастями, учитывающая процессы формирования и взаимодействия вихрей за насадочными элементами.

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 тепломассообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой [Текст] / О.С. Балабеков, А.А. Волненко. – Шымкент, 2015. – 184 с.
4. 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.
5. Кумисбеков, С.А. Гидродинамика и массообмен в аппарате с регулярной пластинчатой вибрирующей насадкой [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / С.А. Кумисбеков. – Шымкент, 1999. – 261 с.
6. Корганбаев, Б.Н. Гидродинамика и тепло-массообмен в аппаратах с регулярно вращающимися насадками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Б.Н. Корганбаев. – Шымкент, 1999. – 261 с.
7. Исмаилов, Х.Б. Гидродинамика и массообмен в аппарате с регулярными вибрирующими спиральными насадками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Х.Б. Исмаилов. – Шымкент. 2006. – 140 с.
8. Волненко, А.А. Аппарат с насадкой [Текст] / А.А. Волненко, С.С. Серманизов, О.С. Балабеков, А.И. Мустафина, Б.Т. Жубаниязов, А.Н. Рубцов // Патент РК 1478, МКИ В01D 53/20. Оpubл. 15.12.94. Бюл. №4.
9. Волненко, А.А. Аппарат с насадкой [Текст] / А.А. Волненко, А.И. Мустафина, С.С. Серманизов, Б.С. Пахомов // А.с. 1678437 СССР, МКИ В 01 J 19/32. Оpubл. 23.09.91. Бюл. №35.
10. Волненко, А.А. Аппарат с насадкой [Текст] / А.А. Волненко, А.И. Мустафина, С.С. Серманизов, Б.Т. Жубаниязов, О.С. Балабеков, Л.Д. Пляцук // А.с. 1741884 СССР, МКИ В 01 J 19/32. Оpubл. 23.06.92. Бюл. №23.
11. Есенов, Т.С. Тепломассообменный аппарат [Текст] / Т.С. Есенов, А.А. Волненко, Н.С. Бекибаев, С.С. Серманизов, О.С. Балабеков, Н.Т. Сейтханов // Предварительный патент РК 8045, МКИ В01D 19/32. Оpubл. 15.10.1999. Бюл. №10.
12. Волненко, А.А. Аппарат с насадкой для тепломассообмена и пылеулавливания [Текст] / А.А. Волненко, А.С. Сериков, Д.К. Камалбек, А.А. Абжапбаров, Ж. Серикулы, Б.Н. Корганбаев, Д.К. Жумадуллаев // Патент РК 36475, МКИ В01D 53/20, 47/14. Оpubл. 24.11.2023. Бюл. №47.
13. Балабеков, О.С. Гидродинамика, массообмен и пылеулавливание при противоточных и прямоточных двухфазных капельных и пленочных течениях в слое подвижной насадки [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / О.С. Балабеков. – М., 1985. – 430 с.
14. Серманизов, С.С. Гидродинамика, массообмен и пылеулавливание при обтекании регулярно размещенных насадочных тел [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.С. Серманизов. – М., 1990. – 319 с.
15. Серикулы, Ж. Разработка и расчет тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой с учетом масштабного перехода [Текст]: дис. ... доктора PhD / Ж. Серикулы. – Шымкент, 2015. – 141 с.
16. Балабеков, О.С. Закономерность взаимодействия вихрей, возникающих при отрывном обтекании потоком газа или жидкости дискретно расположенных вдоль него тел [Текст] / О.С. Балабеков, В.Ф. Петин // Свидетельство о научном открытии №144. – М.: Международная ассоциация авторов научных открытий, 2000.
17. Балабеков, О.С. Закономерность формирования параллельно движущихся вихревых струй при течении потока газа или жидкости через систему поперек к нему расположенных дискретных источников [Текст] / О.С. Балабеков, А.А. Волненко, С. Пралиев, Б.Н. Корганбаев, М.О. Балабекова, С.В. Викторов // Свидетельство о научном открытии №269. – М.: Международная ассоциация авторов научных открытий, 2004.
18. Рамм, В.М. Абсорбция газов [Текст]: 2-е изд. перераб. и доп. / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

Материал поступил в редакцию 17.06.24.

**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 МАССА АЛМАСУ АППАРАТЫНДАҒЫ ЭНЕРГИЯ ШЫҒЫНДАРЫНА ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Тұрақты емес және тұрақты стационарлық саптамалардың, жылжымалы және үнемі жылжымалы саптамалардың белгілі конструкцияларын олардың кемшіліктерін анықтаумен және оларды жаңғырту жолдарын белгілеумен қолдану талданған.

Тік және радиалды бағытта орналасу қадамдары өзгерген кезде тікбұрышты қалақтары бар айналмалы саптама элементтері бар саптама қабатының гидравликалық кедергісін эксперименттік зерттеу жүргізілді. Тік қадам өзгерген кезде жоғары дамыған фазааралық бетке қол жеткізуге және жүргізілетін процестердің тиімділігіне жағымды әсер ететін қалыптасқан құйындар қуатының өсуімен сипатталатын жалпы фазалық режимге қол жеткізуге болатындығы атап өтілді. Көршілес саптамалар арасындағы қашықтықты радиалды бағытта бір қатарда өзгерткен кезде сыни қадамның болуы расталды, онда құйындылардың пайда болу механизмі қайта құрылады. Критикалық қадамға дейін құйындылардың пайда болу жиілігі қатардағы іргелес саптама элементтері арасындағы алшақтық мөлшерімен, содан кейін жеңілдетілген элементтердің енімен анықталады.

Тік бұрышты жүздері бар айналмалы саптама элементтері бар аппараттың гидравликалық кедергісін есептеу теңдеуі алынды, саптама элементтерінің артындағы құйындардың пайда болуы мен өзара әрекеттесу процестерін ескереді және жылу-масса алмасу аппаратындағы энергия шығынын сипаттайды.

Түйінді сөздер: жылу-масса алмасу аппараты, тұрақты айналмалы саптама, гидравликалық кедергі, эквивалентті диаметр, тік қадам, радиалды қадам, жалпы режим.

**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*

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON ENERGY CONSUMPTION IN A HEAT AND MASS TRANSFER APPARATUS WITH A REGULAR ROTATING NOZZLE

Abstract. The use of known designs of irregular and regular stationary nozzles, movable and regularly movable nozzles has been analyzed, their shortcomings have been identified and ways of their modernization have been established.

An experimental study of the hydraulic resistance of a packed layer with rotating packed elements with rectangular blades was carried out when changing the location steps in the vertical and radial directions. It is noted that when changing the vertical step, it is possible to achieve an in-phase regime, characterized by an increase in the power of the formed vortices, which has a beneficial effect on achieving a highly developed interphase surface and the efficiency of the processes being carried out. The presence of a critical step is confirmed when the distances between adjacent packings in the same row in the radial direction change, at which a restructuring of the vortex formation mechanism occurs. The frequency of vortex formation before the critical step is determined by the size of the gap

between adjacent packed elements in a row, and after it by the width of the streamlined elements.

An equation has been obtained for calculating the hydraulic resistance of an apparatus with rotating packed elements with rectangular blades, which takes into account the processes of formation and interaction of vortices behind the packed elements and characterizes the energy consumption in the heat and mass transfer apparatus.

Keywords: heat and mass exchange device, regular rotating nozzle, hydraulic resistance, equivalent diameter, vertical pitch, radial pitch, in-phase mode.

References

1. Gorodilov A.A. Intensifikatsiya protsessa teplomassoobmena v kontaknykh apparatakh s regulyarnoy nasadkoy [Intensification of the heat and mass transfer process in contact devices with regular packing]: Diss. ... 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. Volnenko, A.A. Nauchnyye osnovy razrabotki i rascheta vikhrevykh massoobmennykh i pyleulavlivayushchikh apparatov [Scientific foundations for the development and calculation of vortex mass transfer and dust collecting devices]: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. – Shymkent, 1999. – 300 p., [in Russian].
5. Kumisbekov, S.A. Gidrodinamika i massoobmen v apparate s regulyarnoy plastinchatoy vibriruyushchey nasadkoy [Hydrodynamics and mass transfer in an apparatus with a regular plate vibrating packing]: Diss. ... Candidate of Technical Sciences. – Shymkent, 1999. – 261 p., [in Russian].
6. Korganbayev, B.N. Gidrodinamika i teplo-massoobmen v apparatakh s regulyarno vrashchayushchimisya nasadkami [Hydrodynamics and heat and mass transfer in apparatuses with regularly rotating packing]: Diss. ... Candidate of Technical Sciences. – Shymkent, 1999. – 261 p., [in Russian].
7. Ismailov, KH.B. Gidrodinamika i massoobmen v apparate s regulyarnymi vibriruyushchimi spiral'nymi nasadkami [Hydrodynamics and mass transfer in an apparatus with regular vibrating spiral packing]: Diss. ... Candidate of Technical Sciences. – Shymkent. 2006. – 140 p., [in Russian].
8. Volnenko, A.A., Sermanizov, S.S., Balabekov, O.S., Mustafina, A.I., Zhubaniyazov, B.T., Rubtsov, A.N. Apparat s nasadkoy [Apparatus with packing] // Patent RK 1478, MKI B01D 53/20. Published 12/15/94. Bulletin No. 4, [in Russian].
9. Volnenko, A.A., Mustafina, A.I., Sermanizov, S.S., Pakhomov, B.S. Apparat s nasadkoy [Apparatus with packing] // A.s. 1678437 SSSR, MKI V 01 J 19/32. Published. 23.09.91. Bulletin No. 35, [in Russian].
10. Volnenko, A.A., Mustafina, A.I., Sermanizov, S.S., Zhubaniyazov, B.T., Balabekov, O.S., Plyatsuk, L.D. Apparat s nasadkoy [Apparatus with packing] // A.s. 1741884 SSSR, MKI V 01 J 19/32. Published 23.06.92. Bulletin No. 23, [in Russian].
11. Yesenov, T.S., Volnenko, A.A., Bekibayev, N.S., Sermanizov, S.S., Balabekov, O.S., Seytkhanov, N.T. Teplomassoobmennyy apparat [Heat and mass transfer apparatus] // Preliminary patent RK 8045, MKI B01D 19/32. Published 15.10.1999. Bulletin No. 10, [in Russian].
12. Volnenko, A.A., Serikov, A.S., Kamalbek, D.K., Abzhapbarov, A.A., Serikuly, ZH., Korganbayev, B.N., Zhumadullayev, D.K. Apparat s nasadkoy dlya teplomassoobmena i pyleulavlivaniya [Apparatus with packing for heat and mass

- transfer and dust collection] // Patent RK 36475, MKI B01D 53/20, 47/14. Published 24.11.2023. Bulletin No. 47, [in Russian].
13. Balabekov, O.S. *Gidrodinamika, massoobmen i pyleulavlivaniye pri protivotochnykh i pryamotochnykh dvukhfaznykh kapel'nykh i plenochnykh techeniyakh v sloye podvizhnoy nasadki* [Hydrodynamics, Mass Transfer, and Dust Collection in Counter-Current and Co-Current Two-Phase Droplet and Film Flows in a Layer of Movable Packing]: Dis. ... Doctor of Engineering Sciences. – Moscow, 1985. – 430 p., [in Russian].
 14. Sermanizov, S.S. *Gidrodinamika, massoobmen i pyleulavlivaniye pri obtekanii regulyarno razmeshchennykh nasadochnykh tel* [Hydrodynamics, Mass Transfer, and Dust Collection in Flows Around Regularly Placed Packed Bodies]: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. – Moscow, 1990. – 319 p., [in Russian].
 15. Serikuly, ZH. *Razrabotka i raschet teplomassoobmennyykh apparatov s podvizhnoy nasadkoy s uchetom masshtabnogo perekhoda* [Development and Calculation of Heat and Mass Transfer Apparatus with Movable Packing Taking into Account the Scale Transition]: Dis. ... PhD. – Shymkent, 2015. – 141 p., [in Russian].
 16. Balabekov, O.S., Petin, V.F. *Zakonomernost' vzaimodeystviya vikhrey, vznikayushchikh pri otrvnom obtekanii potokom gaza ili zhidkosti diskretno raspolozhennykh vdol' nego tel* [Regularity of interaction of vortices arising during separated flow of gas or liquid around discrete bodies located along it] // Certificate of scientific discovery No. 144. – Moscow: International association of authors of scientific discoveries, 2000, [in Russian].
 17. Balabekov, O.S., Volnenko, A.A., Praliyev, S., Korganbayev, B.N., Balabekova, M.O., Viktorov, S.V. *Zakonomernost' formirovaniya parallel'no dvizhushchikhsya vikhrevykh struy pri techenii potoka gaza ili zhidkosti cherez sistemu poperek k nemu raspolozhennykh diskretnykh istochnikov* [Regularity of formation of parallel moving vortex jets during flow of gas or liquid through a system of discrete sources located across it] // Certificate of scientific discovery No. 269. – Moscow: International association of authors of scientific discoveries, 2004, [in Russian].
 18. Ramm, V.M. *Absorbtsiya gazov* [Absorption of gases]: 2nd ed. revised and add. – Moscow: Chemistry, 1976. – 656 p., [in Russian].