

использовать эти данные для оптимизации бизнес-процессов, выявления потенциальных рисков и возможностей в различных регионах, что позволяет им лучше адаптироваться к различным условиям на рынке. Кроме того, разработанный программный продукт может быть полезен для исследовательских и образовательных целей. Ученые и студенты могут использовать этот инструмент для проведения более глубоких исследований в области экономической безопасности регионов, а также для обучения студентов методам имитационного моделирования и анализа данных.

Список использованных источников

1. Бурцева, Т. А. Оценка эффективности влияния различных факторов на уровень экономической безопасности региона / Т. А. Бурцева, А. А. Петухова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2018. – Т.4, №8. – С. 25-30.

2. Лавренчук, Е. Н. Экономическая безопасность (региональный аспект): учеб. пособие / Е. Н. Лавренчук, М. Н. Руденко. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. – 388 с.

3. Новыш, Б. В. Модель и инструментальное средство инновационного потенциала регионов / Б. В. Новыш, И. А. Юрча. // Науч. Труды Акад. Упр. При Президенте Респ. Беларусь. – 2018. - № 20. – С. 293-303.

4. Эфендиева, А. А. Разработка методики комплексного анализа и оценки социально-экономического потенциала региона, основанного на применении метода балльных оценок / А. А. Эфендиева, А. Х. Темрокова // Terra Economicus. – 2013. Т. 11. – № 2-2. – С. 100–116.

УДК 66.021.3

А.М. Волк, П.Е. Вайтехович, Д.Ю. Мытько
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ГИДРОДИНАМИКА ПЛЕНОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЕРФОРИРОВАННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ РЕГУЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННОЙ НАСАДКИ

Аннотация. Насадочные колонны с перфорированными регулярно-структурированными насадками имеют низкое гидравлическое сопротивление,

большой интервал устойчивой работы и широко применяются в нефтехимической промышленности для очистки газов и получения готового продукта. Исследование пленочного течения в перфорированных каналах позволяет повысить эффективность колон.

A.M. Volk, P.E. Vaytsekhovich, D.Yu. Mytsco
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

HYDRODYNAMICS OF FILM FLOW IN A PERFORATED CYLINDRICAL CHANNEL OF A REGULAR-STRUCTURED NOZZLES

***Abstract.** The columns with perforated regular-structured nozzles have low hydraulic resistance, large interval of stable operation and are widely used in petrochemical industry for gas purification and obtaining the finished product. The study of film flow in perforated channels allows to increase column efficiency.*

Введение. В химической и нефтехимической промышленности для очистки газов и получения готового продукта широко применяются тарельчатые и насадочные колонны. Преимущество насадочных колонн по сравнению с тарельчатыми – низкое гидравлическое сопротивление, высокая эффективность и широкий интервал устойчивой работы [1].

Насадки бывают двух типов: регулярные и нерегулярные. Нерегулярные насадки изготавливают в виде цилиндрических колец (кольца Рашига), которые могут иметь перфорированные отверстия (кольца Паля), либо седлообразные (седла Инталокс, Берля). Регулярно-структурированные изготавливаются из гофрированных листов металла, и собираются в пакеты нужного диаметра. Отличие их в том, что гофрированные листы образуют структурированные каналы (цилиндрические, шестигранные, ромбовидные) равного по площади поперечного сечения, которые равномерно распределены в поперечном сечении массообменной колонны. Такая конструкция имеет следующие преимущества при проведении массообменных процессов: отсутствуют застойные зоны, хорошо смачиваются, имеют высокую удельную поверхность [2]. Однако с увеличением диаметра насадочной колонны растет неравномерность распределения жидкости по сечению аппарата. Этот недостаток сильно влияет на эффективность разделения и качество готового продукта. Следовательно, проблема неравномерности распределения в многоканальных контактных устройствах и дальнейшее усовершенствование оптимальных насадочных аппаратов является актуальной задачей.

Пленочные течения имеют широкое применение в разных областях, а именно: в химической технологии, ракетных двигателях, установка по опреснению соленой морской воды, холодильной технике, пищевой промышленности. Несмотря на столь обширное применение, исследование их гидродинамических свойств на поверхности перфорированных каналов изучено недостаточно.

Исследованием пленочного течения занимались Нуссельт, Капица, Тананайко, которые изучали ее гидродинамику как на плоской стенке, так и на цилиндрической поверхности. На основании результатов ими получены математические модели движения пленки. Эти модели являются фундаментальными для выполнения дальнейших исследований [3].

Вследствие того, что перфорация поверхности каналов регулярно-структурированной насадки повышает интенсивность массообмена, возникает необходимость в исследовании пленочного течения на ее поверхности

Цель работы – разработка математической модели на основании теоретических и экспериментальных данных, для расчета толщины и средней скорости пленки на перфорированной поверхности цилиндрического канала регулярно-структурированной насадки.

Теоретические исследования процесса газопленочного течения. В научной литературе достаточно подробно исследованы пленочные течения на плоской и цилиндрических поверхностях [3]. Но практически нет моделей пленочных течений на перфорированных поверхностях.

Исследуем стационарное осесимметричное движение пленки вязкой несжимаемой жидкости под воздействием закрученного газового потока по внутренней стенке пронизываемого цилиндра. Схема двухфазного пленочного течения изображена на рис. 1.

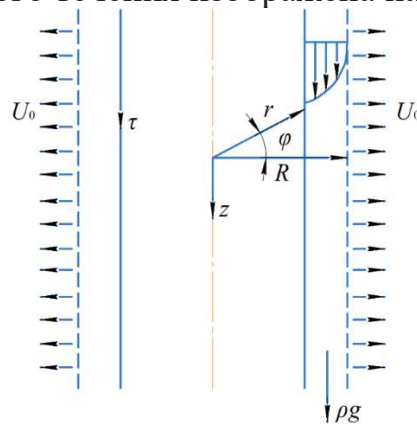


Рис. 1 - Схема двухфазного пленочного течения на перфорированной цилиндрической поверхности

Гидродинамика пленочного течения определяется уравнениями Навье-Стокса для составляющих скорости жидкой фазы и неразрывности [4].

Скорость оттока жидкой фазы U_0 на некотором элементарном цилиндре длиной Δz будем считать постоянной. Рассчитаем объемный расход несжимаемой жидкости через цилиндрические поверхности равной длины. Этот расход будет одинаков: $2\pi r U_r \Delta z = 2\pi R U_0 \Delta z$. Выражаем радиальную скорость в пленке жидкости $U_r = U_0 R / r$. Тогда из уравнения неразрывности [4] получим $\partial U_z / \partial z = 0$ и $U_z = U_z(r)$. Принимаем $\psi = \partial P / \partial z = \text{const}$. Обозначим $\nu = \mu / \rho$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

В результате получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d^2 U_z}{dr^2} - \frac{1}{r} \left(\frac{U_0 R}{\nu} - 1 \right) \frac{dU_z}{dr} = - \frac{\rho g - \psi}{\mu}, \quad (1)$$

$$\frac{d^2 U_\phi}{dr^2} - \frac{1}{r} \left(\frac{U_0 R}{\nu} - 1 \right) \frac{dU_\phi}{dr} - \frac{1}{r^2} \left(\frac{U_0 R}{\nu} + 1 \right) U_\phi = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \rho \left(\frac{U_\phi^2}{r} + \frac{U_0^2 R^2}{r^3} \right). \quad (3)$$

где U_z , U_ϕ , U_r – осевая, тангенциальная и радиальная скорости жидкой фазы, м/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Н·с/м²;

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Выполним переход к безразмерной координате $\tilde{r} = r / R$, обозначим $\alpha = U_0 R / \nu$ и получим уравнения:

$$\frac{d^2 U_z}{d\tilde{r}^2} - \frac{(\alpha - 1)}{\tilde{r}} \frac{dU_z}{d\tilde{r}} = - \frac{\rho g - \psi}{\mu} R^2, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 U_\phi}{d\tilde{r}^2} - \frac{(\alpha - 1)}{\tilde{r}} \frac{dU_\phi}{d\tilde{r}} - \frac{(\alpha + 1)}{\tilde{r}^2} U_\phi = 0. \quad (5)$$

Рассчитаем компоненты тензора касательных напряжений по формулам:

$$\tau_z = -\mu \frac{\partial U_z}{\partial r}, \quad \tau_\phi = -\mu \left(\frac{\partial U_\phi}{\partial r} - \frac{U_\phi}{r} \right). \quad (6)$$

Частные решения уравнений (4, 5) ищем в виде r^k и получаем общие решения:

$$U_z = c_1 + c_2 \tilde{r}^\alpha + \frac{\rho g - \psi}{2\mu(\alpha - 1)} \tilde{r}^2, \quad (7)$$

$$U_\varphi = \frac{c_3}{\tilde{r}} + c_4 \tilde{r}^{\alpha+1}. \quad (8)$$

Толщину пленки жидкости обозначим через δ , а через $\tilde{\delta} = \delta / R$ – ее относительную толщину. Равенство нулю на проницаемой поверхности осевой и касательной составляющих скорости принимаем за их начальные значения по формуле:

$$U_z|_{\tilde{r}=1} = U_\varphi|_{\tilde{r}=1} = 0, \quad (9)$$

Равенство касательных напряжений (6) на границе раздела фаз принимаем за граничные условия:

$$\tau_z = -\frac{\mu}{R} \frac{dU_z}{d\tilde{r}} \Big|_{\tilde{r}=1-\tilde{\delta}}, \quad \tau_\varphi = -\mu \left(\frac{\partial U_\varphi}{R \partial \tilde{r}} - \frac{U_\varphi}{R \tilde{r}} \right) \Big|_{\tilde{r}=1-\tilde{\delta}}. \quad (10)$$

Касательные напряжения вычисляем по формулам [5]

$$\tau_z = \frac{0,3164}{\text{Re}_r^{0,25}} \frac{\rho_r W^2}{8} \left(1 + \frac{300\delta}{D} \right), \quad \tau_\varphi = \frac{\tau_z}{\text{tg}\alpha}, \quad (11)$$

где D – диаметр цилиндрической поверхности, м.;

ρ_r – плотность газа, кг/м³;

W – средне расходная скорость газового потока, м/с;

Re_r – критерий Рейнольдса для газового потока.

Число Рейнольдса для газа определяется по формуле:

$$\text{Re}_r = \frac{WD}{v_r} \quad (12)$$

Считаем, что силы, действующие на газовый поток, находятся в равновесии [5]:

$$\pi(R - \tilde{\delta})^2 \Delta P = 2\pi(R - \tilde{\delta})\tau'_z l. \quad (13)$$

Отсюда получаем:

$$\psi = \frac{\Delta P}{l} = \frac{2\tau'_z}{R(1-\tilde{\delta})} = -\frac{2\tau_z}{R(1-\tilde{\delta})}. \quad (14)$$

Модель пленочного течения (7-14) позволяет рассчитать компоненты скорости и все необходимые гидродинамические характеристики при заданных скоростях газового потока, нагрузках по жидкой фазе и геометрических параметрах насадок.

Изменение объемного расхода жидкой пленки по длине описывается уравнением:

$$\frac{dq}{dz} = -U_0. \quad (15)$$

Скорость оттока жидкой фазы определяем по закону Дарси [4] с учетом сопротивления проницаемой перегородки, заданного давления газового потока и рассчитанного давления жидкой пленки.

Вывод. Полученная модель и выполненные экспериментальные исследования позволяют найти гидродинамические характеристики пленочного течения и определить оптимальные соотношения между геометрическими и режимными параметрами насадочных колон.

Список использованных источников

1. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. М.: Химия, 1976. 656 с.
2. Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Башаров М.М. Модернизация массообменных аппаратов новыми насадками в химической технологии // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т.49, №3. С.247-252.
3. Тананайко, Ю. М. Методы расчета и исследование пленочных процессов / Ю. М. Тананайко, Е. В. Воронцов. Киев: Техника, 1975. 311 с.
4. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. М.: Наука, 1969. 742 с.
5. Соколов В. И. Газожидкостные реакторы / В. И. Соколов, И. В. Доманский. Л.: Машиностроение, 1976. 216 с.

УДК 0049

А.И. Волконовский

КУП «Минское городское агентство обслуживания населения»
Минск, Беларусь

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРОЦЕДУР

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы межгосударственного взаимодействия при осуществлении административных процедур, в том числе вопросы организации защищенного канала связи при трансграничной передаче данных. Предложен метод осуществления межгосударственного взаимодействия при осуществлении административных процедур.

A.I. Volkonovski

CUE «Minsk City Public Service Agency»
Minsk, Belarus