

(«Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова» г. Шымкент)

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ С РЕГУЛЯРНО ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Анотация

В работе представлен метод гидродинамического моделирования тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой. Проведены исследования по выявлению неравномерностей: распределения потоков жидкости и газа на входе в аппарат, вызванные дефектами монтажа, вызванные внутренними закономерностями двухфазного течения (продольное перемешивание жидкости и газа). Для устранения неравномерностей предложены: устройство распределения газового потока, рекомендованы шаги расположения насадочных элементов в вертикальном и радиальном направлениях, определены опытные коэффициенты $B_{E,e}$ для расчета коэффициентов продольного перемешивания в жидкой фазе.

Ключевые слова: тепломассообменные аппараты, регулярно подвижная насадка, гидродинамическое моделирование.

Тірек сөздер: жылу масса алмастырғыш аппараттары, жүйелі қозғалмалы саптамалар, гидродинамикалық модельдеу.

Keywords: heat and mass transfer devices, regularly moving nozzle, hydrodynamic modeling.

Разработанные Казахстанскими учеными аппараты с регулярно подвижной насадкой [1,2] отличаются от большинства известных насадочных и тарельчатых аппаратов низкими энергозатратами и повышенной эффективностью проведения процессов тепломассообмена. Это достигается за счет реализации организованного вихревого взаимодействия газожидкостных потоков.

Другой характерной особенностью массообменных аппаратов с регулярно подвижной насадкой является их многофункциональность. Обладая всеми достоинствами класса аппаратов с подвижной насадкой, таких как простота конструкции, низкое гидравлическое сопротивление и высокая эффективность, исследуемые аппараты с регулярной пластинчатой, трубчатой и шаровой насадкой одинаково успешно могут быть применены в процессах абсорбции, ректификации, конденсации, контактного охлаждения газов и

пылеулавливании. Основной областью применения этих аппаратов является химическая технология и нефтепереработка, где имеются большие объемы газовых выбросов и процессы обработки газов требуют большого числа единиц переноса. Кроме того, указанные аппараты с достаточной степенью эффективности могут быть использованы также в пищевой технологии, в технологии получения лака и красок, бумаги и других.

При разработке и проектировании промышленных аппаратов используется метод гидродинамического моделирования [3], основной задачей которого является максимальное сближение гидродинамических характеристик промышленного и лабораторного аппарата, т.е. устранение возникающих неравномерностей.

В проведенной нами работе при исследовании неравномерностей были выбраны установки приближенные к колоннам промышленных размеров, диаметром 1000 мм. Проведены исследования по выявлению неравномерностей: распределения потоков жидкости и газа на входе в аппарат, вызванные дефектами монтажа, вызванные внутренними закономерностями двухфазного течения (продольное перемешивание жидкости и газа).

Неравномерности распределения потоков жидкости и газа на входе в аппарат. Особенностью конструкции аппаратов с регулярной подвижной насадкой является регулярное и равномерное размещение насадочных элементов в объеме контактной зоны. Это обеспечивает реализацию принципа продольно-поперечного секционирования. В связи с этим способы первоначальной подачи жидкости в аппарат практически не влияют на равномерность распределения ее в объеме контактной зоны. Нами исследованы два способа первоначальной подачи жидкости в аппарат: душевые разбрызгиватели и равномерно размещенные трубы с отбойниками. Визуальные наблюдения показали, что равномерно распределенная оросителями жидкость, достигнув первого слоя насадочных элементов, в последующих слоях перераспределяется самими элементами насадки.

Равномерность распределения газового потока при его входе в аппарат во многом зависит от конструкции узла ввода. Наиболее распространенной конструкцией является боковой ввод газового потока. Поэтому нами проведены исследования равномерности распределения газового потока по сечению аппарата при боковом подводе.

При проведении исследований были использованы сигнальные ленточки, равномерно распределенные по сечению колонны с помощью проволочной решетки, конструкция которой практически не оказывает влияния на поле скоростей газа. Качественную картину равномерности распределения газа фиксировали с помощью фотосъемки, а количественную оценку получали измерением трубкой Пито в комплекте с микроманометром. Диапазон изменения скорости газового потока составил от 1 до 5 м/с.

Практически во всем диапазоне скоростей газового потока наблюдается поперечная неравномерность. Наибольшие скорости газовый поток имеет у стенки аппарата, противоположной точке ввода газа в аппарат.

Подтверждением этому являются результаты замеров поля скоростей в различных сечениях аппарата, представленных на рисунке 1а. При малых и больших скоростях

газового потока основной его объем проходит в сечениях 3-5 и у стенки аппарата, противоположной точке ввода.

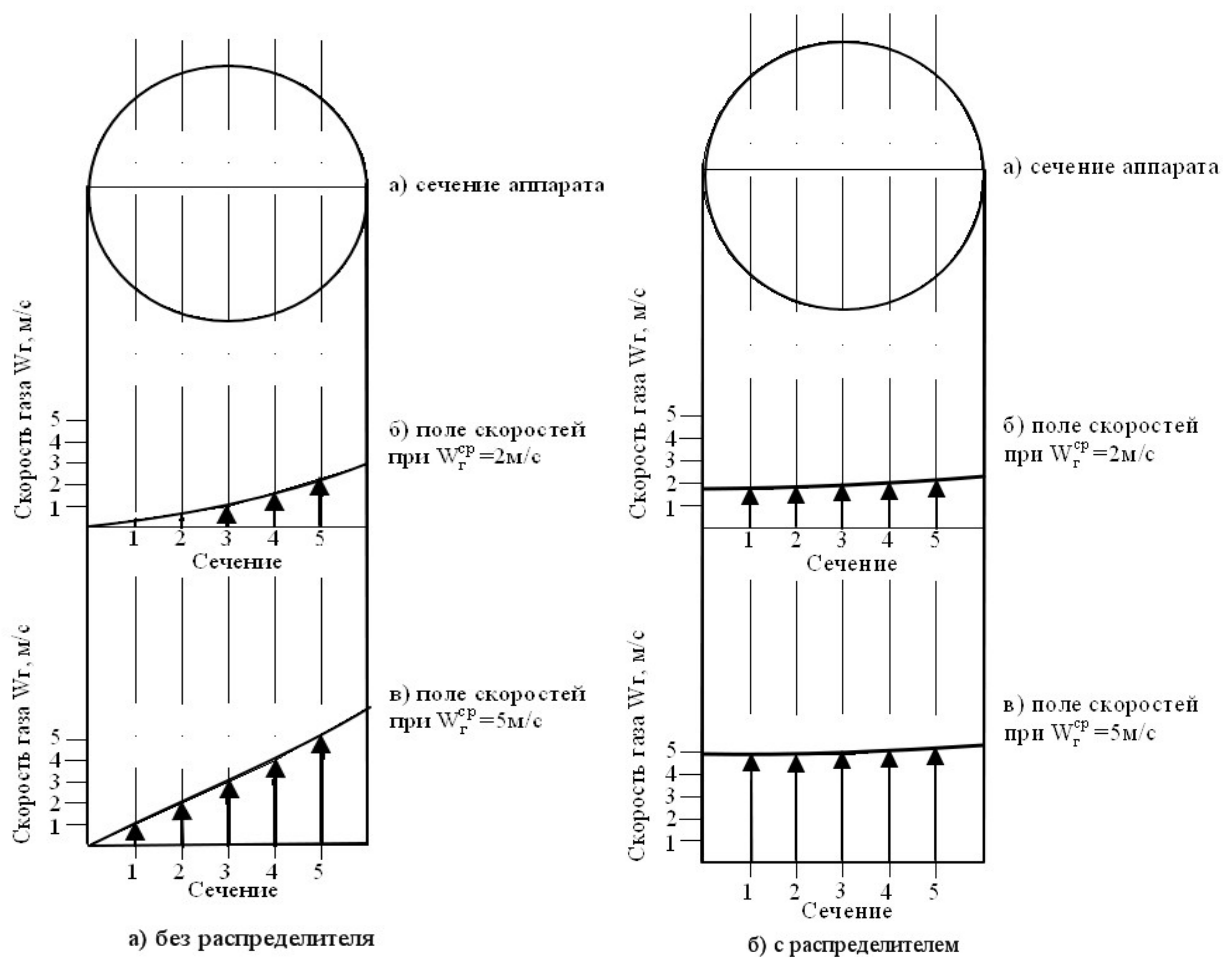


Рисунок 1 – Поле скоростей газового потока по сечению аппарата

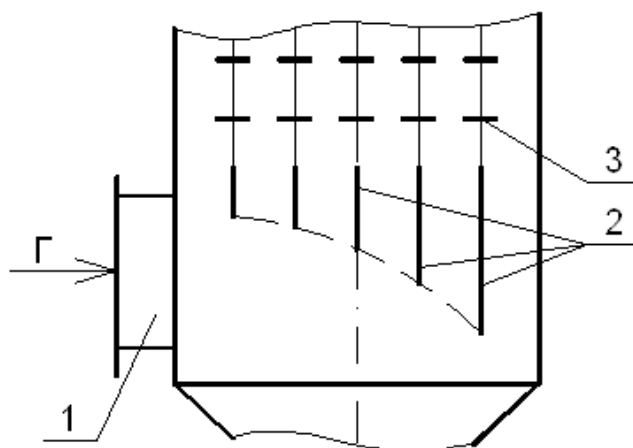


Рисунок 2 - Распределительное устройство

На рисунке 2 представлен распределитель газового потока, состоящий из вертикальных пластин 2, нижние кромки которых образуют дугу, вогнутостью расположенную навстречу газовому потоку. Высота вертикальных пластин увеличивается в сторону, противоположную от штуцера входа газа 1, а длина их равна длине горизонтального ряда насадочных элементов 3 соответствующей плоскости сечения[4].

Располагая вертикальные пластины таким образом, чтобы их нижние кромки образовали вогнутость, расположенную навстречу движению газового потока, можно добиться равномерного деления газового потока по сечению аппарата, особенно большого диаметра, и тем самым обеспечить высокую эффективность работы насадочной зоны аппарата.

Установка вертикальных пластин с высотой, увеличивающейся в сторону, противоположную от штуцера входа газа, обеспечивает равномерное деление цилиндрического потока газа условным диаметром, соответствующим диаметру входного патрубка. Длина вертикальных пластин должна быть равна длине горизонтального ряда насадочных элементов соответствующей плоскости сечения. Это позволяет равномерно распределить разделенный газовый поток в зазоре между вертикальными пластинами.

Результаты исследований подтвердили эффективность использования распределителя газового потока. В исследуемом диапазоне скоростей газа. Как видно из рисунка 1б, установка распределителя способствовала выравниванию потока газа по сечению аппарата, причем даже при малых скоростях. Замеры поля скоростей показали, что средние скорости газа по сечению аппарата выровнялись.

Неравномерности, вызванные дефектами монтажа.

К неравномерностям, вызванными дефектами монтажа, можно отнести несоблюдение шагов расположения насадочных элементов в вертикальном и радиальном направлениях и перекос элементов насадки.

Исследования показали, что несоблюдение рекомендуемых размеров шагов в вертикальном направлении может привести к нарушению синфазности во взаимодействии вихрей, в результате чего эффективность проводимых процессов (абсорбции, пылеулавливания и т.д.) будет снижаться. Как было отмечено выше, в расчетных уравнениях гидродинамики и массообмена степень взаимодействия вихрей учитывается параметром θ_v (степень взаимодействия вихрей в вертикальном направлении). Несоблюдение рекомендуемых размеров шагов в радиальном направлении может быть учтено параметром θ_r (степень взаимодействия вихрей в радиальном направлении)[5]. Реальное несоответствие оптимальному значению шагов в радиальном направлении сказывается при уменьшении шагов, тогда как увеличение их размеров влияет незначительно.

Исследования показали, что несоблюдение рекомендуемых размеров шагов в вертикальном и радиальном направлениях может привести к нарушению синфазности во взаимодействии вихрей, в результате чего эффективность проводимых процессов будет снижаться. Для аппаратов с регулярно подвижной насадкой цилиндрической и пластинчатой форм шаг расположения насадочных элементов в вертикальном направлении равен 2, а для шаровой формы равен 4,7. В радиальном направлении шаг расположения насадочных элементов для всех видов равен 2.

Тщательное проведение монтажа насадочных элементов исключает их перекося. Вместе с тем для трубчатой и пластинчатой насадок возможен перекося в горизонтальной плоскости, и, кроме того для шаровой и пластинчатой насадок возможна несоосность со струнами. Перекося элементов насадки влияет на толщину пленки жидкости и среднюю скорость ее стекания, а через них на гидродинамические характеристики и параметры массообмена. Влияние перекося элементов насадки может быть учтено через угол их наклона α . Тогда уравнения для определения толщины пленки жидкости и средней скорости ее стекания [6] примут вид:

$$\delta_{пл} = \frac{\rho_{ж} U_{жс}}{\rho_{и}} \frac{\psi_{жс}}{g} \frac{\psi_{жс}}{\psi} \frac{\psi^{1/3}}{\psi} \frac{\rho_{ж} \cos \alpha}{\rho_{и} (1 + \cos \alpha)} \frac{\psi^{2/3}}{\psi} \quad (1)$$

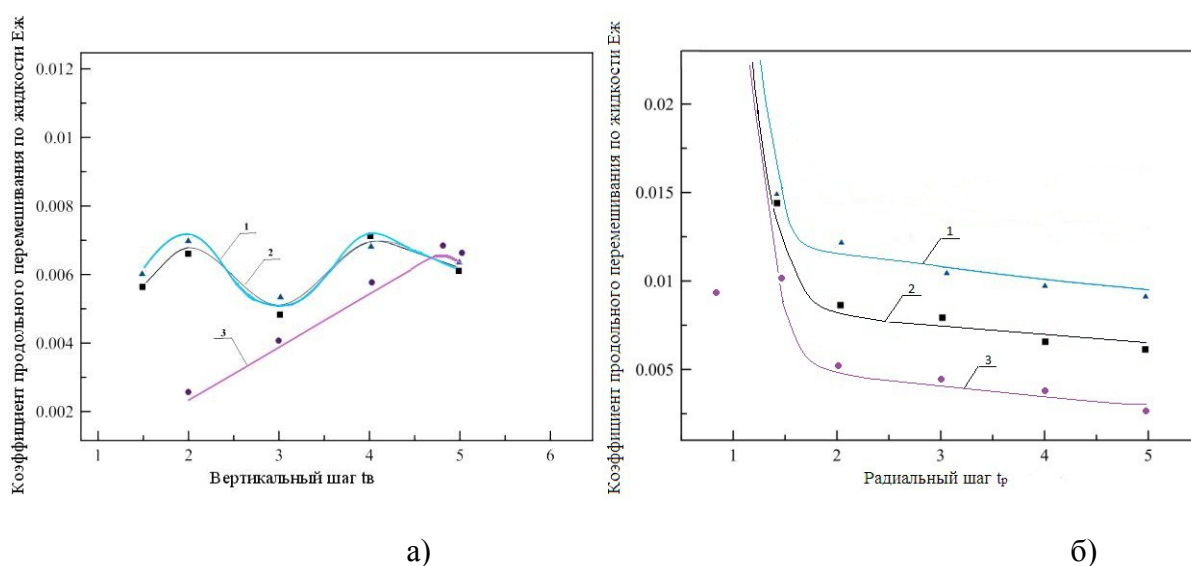
$$\bar{U}_{пл} = 0,12 \frac{\rho_{ж} g}{\rho_{и} \nu_{жс}} \frac{\psi^{1/3}}{\psi} \psi^{2/3} \psi^{2/3} \frac{\rho_{ж} \cos \alpha}{\rho_{и} (1 + \cos \alpha)} \frac{\psi^{2/3}}{\psi} \quad (2)$$

Неравномерности, вызванные внутренними закономерностями двухфазного течения (продольное перемешивание газа и жидкости).

Для определения параметров продольного перемешивания был выбран импульсный метод[7].

Исследования коэффициентов продольного перемешивания жидкой фазы $E_{ж}$ в зависимости от режимных параметров (скорости газа и плотности орошения) показали, что с увеличением скорости газового потока и плотности орошения коэффициенты $E_{ж}$ растут. Это очевидно, так как рост скоростей потоков приводит к возрастанию интенсивности перемешивания.

Результаты исследований коэффициентов продольного перемешивания в жидкой фазе $E_{ж}$ в зависимости от конструктивных параметров t_v и t_r представлены на рисунке 3а,б. Увеличивающаяся мощность взаимодействующих вихрей в режимах одновременного вихреобразования приводит к удерживанию большего количества жидкости и интенсивности перемешивания, тогда как нарушение синфазности ведет к потере мощности вихрей, уменьшению их числа, а, следовательно, и к удерживанию меньшего количества жидкости.



$$L = 25 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}; W_I = 4 \text{ м/с}; L = 25 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}; W_I = 4 \text{ м/с};$$

▲ – пластина при $t_p/v = 2$;

■ – цилиндр при $t_p/d_{и} = 2$.

● – шар при $t_p/d_{ш} = 2$;

▲ – пластина при $t_r/v = 2$;

■ – цилиндр при $t_r/d_{и} = 2$.

● – шар при $t_r/d_{ш} = 4,7$

Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов продольного перемешивания в жидкой фазе $E_{ж}$ от вертикального и радиального шагов

Результаты исследований коэффициентов продольного перемешивания по жидкости подтвердили экстремальные значения шагов расположения исследуемых насадок в вертикальном и радиальном направлениях.

Для расчета коэффициентов продольного перемешивания по жидкости исходили из интенсивности движения газового потока[7]. В результате получено уравнение для расчета коэффициентов продольного перемешивания по жидкости для аппарата с регулярной пластинчатой насадкой:

$$E_{жс} = B_{E_{жс}} (\xi_L d_{o.э.})^{1/3} \frac{\rho_{жс}}{\rho_{ж}} \frac{1}{\varepsilon - \varphi} \frac{W_2}{\varepsilon_0} \quad (3)$$

В процессе обработки экспериментальных данных получено значение опытного коэффициента $B_{E_{жс}} = 3,42(\varepsilon - \varphi)$. Уравнения для расчета коэффициента продольного перемешивания в потоке жидкости $E_{жс}$ нами использованы для расчета аппаратов с регулярной насадкой трубчатой и шаровой формы. В этом случае в уравнениях изменялись обозначения характерных размеров насадочных элементов, а значения опытных коэффициентов составили: для аппарата с трубчатой насадкой $B_{E_{жс}} = 2,85(\varepsilon - \varphi)$; для аппарата с шаровой насадкой $B_{E_{жс}} = 6,04(\varepsilon - \varphi)$.

Таким образом, для аппаратов с регулярно подвижной насадкой проведены исследования по выявлению неравномерностей (распределения потоков жидкости и газа на входе в аппарат, вызванные дефектами монтажа, вызванные внутренними закономерностями двухфазного течения) и предложены способы устранения неравномерностей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Балабеков О.С., Балтабаев Л.Ш. Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты. М.: Химия. 1991. 256 с.
- 2 Балабеков О.С. Физико-химическая гидродинамика и закон о синфазности вихреобразования. Шымкент 2001. 227 с.
- 3 Розен А. М. Масштабный переход в химической технологии М.: Химия, 1980. 24 с.
- 4 Инновационный патент РК № 25541 Волненко А.А., Серикулы Ж., Хусанов Ж.Е., Раматуллаева Л.И. Аппарат с насадкой для тепломассообмена и пылеулавливания // Оpubл. 17.02.2012г.
- 5 Волненко А.А., Серикулы Ж., Балабеков О.С., Хусанов Ж.Е., Бажиров Т.С. О едином подходе к расчету гидравлического сопротивления и количества удерживаемой жидкости в аппаратах с регулярной насадкой // Химический журнал Казахстана. 2012. №4 С.92-96

6 Волненко А.А., Бишимбаев В.К., Хусанов Ж.Е., Серикұлы Ж. Интенсификация процесса тепломассообмена в аппаратах с регулярной подвижной насадкой и методология их расчета //Химический журнал Казахстана.2011. №4.С.132-146

7 Волненко А.А., Балабеков О.С., Серикұлы Ж. Расчет коэффициентов продольного перемешивания в газовой и жидкой фазах в аппаратах с регулярно подвижной насадкой // Наука и образование Южного Казахстана.2012.№3/4. С.80-85

REFERENCES

1 Balabekov O.S., Baltabaev L.Sh. *Ochistka gazov v himicheskoj promyshlennosti. Processy i apparaty*. М.: Himija, **1991**, 256 (in Russ.)

2 Balabekov O.S. *Fiziko-himicheskaja gidrodinamika zakonosinfaznostiv hreobrazovanija*. Shymkent **2001**, 227. (in Russ.)

3 Rozen A.M. *Masshtabnyj perehod v himicheskoj tehnologii* М.: Himija, **1980**, 24 (in Russ.)

4 Innovacionnyj patent RK № 25541 Volnenko A.A., Serikuly Zh., Husanov Zh.E., Ramatullaeva L.I. *Apparat s nasadkoj dlja teplo massoobmena i pyleulavlivanija*. Opubl. 17.02. **2012**. (in Russ.)

5 Volnenko A.A., Serikuly Zh., Balabekov O.S., Husanov Zh.E., Bazhirov T.S. *Himicheskij zhurnal Kazahstana*, **2012**, №4, 92-96 (in Russ.)

6 Volnenko A.A., Bishimbaev V.K., Husanov Zh.E., Serikuly Zh. *Himicheskij zhurnal Kazahstana*, **2011**, №4, 132-146 (in Russ.)

7 Volnenko A.A., Balabekov O.S., Serikuly Zh. *Nauka i obrazovanie Juzhnogo Kazahstana*, **2012**, №3/4, 80-85 (in Russ.)

Волненко А.А., Балабеков О.С., Кениг Е.Я., Серікұлы Ж.

(«М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті», Шымкент қ.)

ҚОЗҒАЛМАЛЫ САПТАМАЛЫ ЖЫЛУМАССААЛМАСТЫРҒЫШ АППАРАТТАРЫН
ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ҮЛГІЛЕУ ӘДІСІ

Резюме

Жұмыста қозғалмалы саптамалы жылумассаалмастырғыш аппараттарын гидродинамикалық үлгілеу әдісі көрсетілген. Өркелкіліктерді анықтауға зерттеу жұмыстары жүргізілді. Келесідей өркелкіліктер зерттелді: аппаратқа кіре берісте сұйық және газ ағындарының таратылуы, құрастыру ақаулары салдарынан пайда болатын, екіфазалық ағынның ішкі заңдылықтар нәтижесінде пайда болатын (сұйық пен газдың бойлай араласуы). Өркелкіліктерді жою үшін төмендегі шешімдер ұсынылып отыр: газ ағынын бөлу құрылғысы, тік және көлденең бағыттардағы саптамалы элементтердің орналасу қадамы, сұйық фазадағы бойлай араласу коэффициенттерін есептеу үшін тәжірибелік коэффициенттер B_{E_a} анықталды.

Тірек сөздер: жылумассаалмастырғыш аппараттары, жүйелі қозғалмалы саптамалар, гидродинамикалық үлгілеу.

Volnenko A.A., Balabekov O.S., Kenig E.Y., Serikuly Zh.

HYDRODYNAMIC MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER WITH REGULAR MOBILE DEVICES NOZZLE INCLUDED

Summary

This paper presents a method of hydrodynamic modeling heat and mass transfer devices with mobile attachment. Studies on the identification of irregularities: the distribution of liquid and gas flow at the inlet to the unit caused by defective installation caused by intrinsic mechanisms of two-phase flow (longitudinal mixing of the liquid and gas). To eliminate the unevenness provides: gas flow distribution device, recommended drive steps packing elements in the vertical and radial directions, the coefficients determined experimentally B_{E_a} for calculating coefficients of longitudinal mixing in the liquid phase.

Keywords: heat and mass transfer devices, regularly moving nozzle, hydrodynamic modeling.

Поступила 22.09.2013 г.