

ГИДРОДИНАМИКА НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

*Худойбердиева Назора Шарофовна - НГГИ,
доцент кафедры «Химическая технология»,
knazora@mail.ru.*

*Хамидова Гавхар Ойбек қизи- НГГИ,
лаборантка кафедры «Химическая
технология», Gavhar@mail.ru.*

*Исроилов Мустафо Зафарбек ўғли – НГГИ,
студент «Химико-металлургического
факультета», mustafo.israilov@mail.ru.*

Аннотация. В настоящее время одним из самых дорогих видов энергии является, тепловая. Ее высокая стоимость определяется как самим производством, так и эффективностью ее передачи и использования. В энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности широко применяются кожухотрубчатые теплообменные аппараты, имеющие значительные размеры, высокую степень загрязнения и малый срок службы трубного пучка. Хорошо известно, что наиболее перспективным путем решения проблемы уменьшения массы и габаритов, или увеличения теплопроизводительности при одном и том же размерах теплообменных аппаратов является интенсификация теплообмена.

Ключевые слова: энергия, тепло, эффективность, химический, нефтеперерабатывающий, пищевой, промышленность, кожухотрубчатый, теплообмены, аппарат, малый срок, труба, теплопроизводительность.

Аннотация. Ҳозирги вақтда энергиянинг энг қиммат тури – бу иссиқлик. Иссиқликнинг таннари ишлаб чиқариш билан аниқланади, шу билан биргаликда самарадорлиги иссиқликнинг узатилиши ва қўлланилишига боғлиқ. Энергетика, кимё, нефтни қайта ишлаш, енгил саноат ва бошқа барча ишлаб чиқариш корхоналарида катта ўлчамли, юқори ифлосланиш кўрсаткичли ва трубалар дастасининг ишлаш муддати қисқа бўлган кожух трубали иссиқлик алмашилиш аппаратлари қўлланилади.

Маълумки, муаммони ечишнинг истиқболли йўли, яъни иссиқлик алмашилиш аппаратларининг ўлчамини ўзгартириш, юқори ифлосланишни олдини олиш ва ўлчамни ўзгартирмаган ҳолда иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш билан аппаратларининг самарадорлигини ошириш мумкин.

Таянч сўзлар: энергия, иссиқлик, самарадорлик, кимёвий, нефтни қайта ишлаш, озиқ-овқат саноати, ишлаб чиқариш, кожух трубали, иссиқлик алмаштиргичлар, аппарат, кичик муддат, труба, иссиқлик ишлаб чиқариш.

Abstract. Currently, one of the most expensive types of energy is thermal. Its high cost is determined both by the production itself and by the efficiency of its transmission and use. In power engineering, chemical, oil refining, food and other industries, shell-and-tube heat exchangers which have significant dimensions, a high degree of pollution and a short service life of the tube bundle are widely used.

It is well known that the most promising way to solve the problem of reducing the mass and dimensions, or increasing the heat output with the same size of heat exchangers, is the intensification of heat transfer.

Keywords: energy, heat, efficiency, chemical, oil refining, food, industry, shell and tube heat exchanger, apparatus, small term, pipe, heating capacity.



ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных методов интенсификации теплообмена является использование в качестве промежуточного теплоносителя псевдооживленного слоя твердого зернистого материала. Основными достоинствами данного метода являются: высокие значения коэффициентов теплообмена за счет турбулизации потока теплоносителя интенсивным перемешиванием твердой фазы, развитая удельная поверхность контакта фаз, подвижность взвешенного слоя и возможность непрерывной циркуляции твердой фазы, небольшое гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя, сравнительно простое устройство аппаратов и доступность их автоматизации, а также возможность применения данного метода в действующих аппаратах[1,2].

Наибольший интерес представляют такие методы интенсификации, которые значительно увеличивают теплосъем при умеренном росте гидравлического сопротивления. Из условия аддитивности термических сопротивлений следует, что для интенсификации процесса теплопередачи необходимо увеличить коэффициент теплоотдачи с той стороны, с которой она является наименьшим. Так как коэффициент теплопередачи всегда меньше любого из коэффициентов теплоотдачи.

ОСНОВНОЕ ЗАДАЧА

Выбранный интенсификатор должен воздействовать на пограничный слой, обладающий наибольшим термическим сопротивлением, разрушая его с последующей турбулизацией потока в пристенном слое. Воздействие только на пристенный слой не вызывает существенного роста гидравлического сопротивления. Существенно увеличивается эффективность метода интенсификации теплообмена, если он способствует также уменьшению загрязнения поверхности.

Интенсивность переноса тепла в псевдооживленных системах зависит от гидродинамики и структуры слоя, проведены также исследования основных технологических параметров, такие как гидравлическое сопротивление неподвижного и взвешенного слоев полидисперсного зернистого материала, скорость начала псевдооживления, расширение слоя и унос твердых частиц из аппарата[10,12].

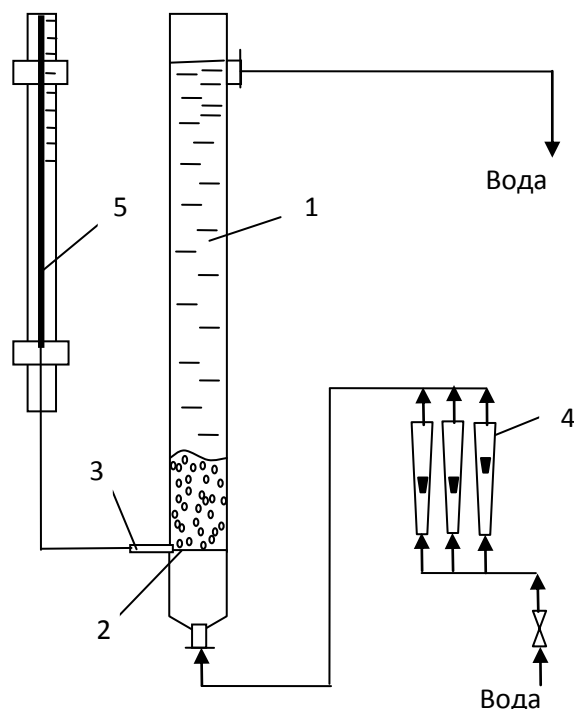
При проектировании аппаратов с кипящим слоем важно знать степень расширения R псевдооживленного слоя при разных скоростях оживающего агента, которая равна[3,5,14]:

$$R = H/H_0 = (1 - \varepsilon_0) / (1 - \varepsilon) \quad (1)$$

Величина R не только диктует рабочую высоту аппаратов, но является также одной из важнейших характеристик состояния псевдооживленных систем. Так, она характеризует интенсивность перемешивания в псевдооживленном слое и эффективность выравнивания свойств по объему слоя в результате этого перемешивания. Степень расширения и порозность, будучи связаны со структурой слоя, оказывают существенное, а часто и определяющее влияние на протекание тепло- и массообменных процессов, на ход химических превращений в псевдооживленном слое [4,6,16].

При скорости потока w , превышающей критическую скорость псевдооживления w_1 , кипящий слой начинает расширяться и его порозность ε возрастает по сравнению с первоначальной ε_0 . Одновременно растет, и высота слоя H . Общий вес слоя на единицу площади будет оставаться постоянным и равным полной потере давления Δp .

Проведены экспериментальные исследования гидродинамики неподвижного слоя полидисперсных твердых частиц, восходящим потоком жидкости опытной установке, схема которой представлена на рис. 1.



1 – аппарат; 2 – распределительная решетка; 3 – импульсная трубка отбора давления; 4 – ротаметры; 5 – пьезометр.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Основным элементом установки, т. е. рабочим аппаратом являются цилиндрические, стеклянные трубки с внутренним диаметром 20, 22; 36; и 45,1 мм и высотой 1,2 м. Диаметр стеклянных трубок проверяли по объему воды в мерном цилиндре. В качестве рабочего зернистого материала исследованы слои частиц неправильной формы (многие частицы имеют почти овальные формы) гравия, округлых стеклянных частиц, катионита КУ-2-8, и свинцовую дробь. Объем занимаемой твердыми частицами слоя зернистого материала определяли вытесненной в мерном цилиндре воды. Плотность частиц находили взвешиванием отсчитанных количеств зерен определенного объема и размера.

Распределительная решетка основного аппарата имела щели длиной 4 и шириной 0,2 мм и свободное сечение 5 %. Исследования проведены при фильтрации через слой сыпучего материала водопроводной воды, с температурой 20-25°C. Температуру воды на выходе из аппарата измеряли стеклянным термометром с ценой деления 0,1°C.

Высоту слоя полидисперсных твёрдых частиц измеряли с помощью шкалы с делением в 1 мм, закрепленной на рабочей трубке. При проведении опытов расход жидкости измеряли ротаметрами, а перепад давления в слое – пьезометрической трубкой и микроманометром. Ротаметров оттарировали измерением количества жидкости, вытекающей из верхнего конца аппарата в мерный сосуд известной емкости с отсчетом по секундомеру времени, необходимой для заполнения последнего. Импульсная трубка для измерения перепада давления в слое располагалась на уровне распределительной решетки под слоем сыпучего материала.

В рабочую трубку на распределительную решетку сначала засыпали сухих частиц полидисперсного зернистого материала определенным объемом и измеряли высоту неподвижного слоя зернистого материала для определения порозности слоя. Объем занимаемый частицами определенной порции заранее определяли по увеличению объема воды в мерном цилиндре. Потом аппарат медленно заполняли водой и повторно проверяли высоту неподвижного слоя, находящегося в покоящейся



жидкости. Перепад давление в слое полидисперсного зернистого материала замерялось пьезометрической трубкой как при увеличении скорости оживающего потока, так и при её уменьшении. Скорости оживающей среды в аппаратах изменяли от 0 до 1,0 м/с, а высоту неподвижного слоя зернистого материала от 50 до 250 мм[1,3,6].

Обработка опытных данных и определение необходимых параметров проведены в следующей порядке.

1. Эквивалентный диаметр частиц определяли по данным рассева материалов на фракции следующим образом. Если смесь сыпучего материала представляет собой узкую фракцию (например, проходящую через сито с размером ячейки d_1 , но остающуюся на сите с ячейкой d_2 , близкой по величине к d_1), то определяющий размер частиц – их эквивалентный диаметр $d_э$ (равный в данном случае, диаметру узкой фракции смеси d_1), приняли равным среднему геометрическому из размеров ячеек смежных сит[7,8,9]:

$$d_э = (d_1 \cdot d_2)^{0,5}, \text{ м} \quad (2)$$

2. Порозность (доля свободного объема) неподвижного слоя полидисперсного зернистого материала определяли по формуле

$$\varepsilon_0 = (V_{сл} - V_ч) / V_{сл} \quad (3)$$

где $V_{сл}$ – объем слоя зернистого материала, м^3 ;

$V_ч$ – объем, занимаемый твердыми частицами, м^3 .

3. Фиктивную (отнесенная к полному поперечному сечению аппарата) скорость оживающего агента (воды) вычисляли из уравнения расхода[11,13].

$$w = V_c / S, \text{ м/с} \quad (4)$$

где V_c – объемный расход оживающего агента, $\text{м}^3/\text{с}$;

S – площадь поперечного сечения аппарата (трубки), м^2 ;

4. Экспериментальное значение гидравлического сопротивления слоя

$$\Delta p_э = 9,81 \cdot h_{пз}, \text{ Па} \quad (5)$$

где $h_{пз}$ уровень оживающего агента в пьезометрической трубке, м.

5. Порозность псевдооживленного слоя полидисперсного зернистого материала[4]

$$\varepsilon = 1 - (H_0 / H)(1 - \varepsilon_0) \quad (6)$$

где H_0 и H – соответственно, высота неподвижного и псевдооживленного слоев, м;

ε_0 – порозность неподвижного слоя зернистого материала.

6. Расчетное значение гидравлического сопротивления псевдооживленного слоя[1,15].

$$\Delta p = Hg(\rho_ч - \rho)(1 - \varepsilon) \quad (7)$$

где H – высота псевдооживленного слоя, м;

$\rho_ч$ – плотность частиц, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ε_0 – порозность слоя зернистого материала.

7. Эквивалентный критерий Рейнольдса, с учетом влияния поверхности стенки колонны

$$\text{при } D/d > 6 \quad Re_э = 4Re\Phi / [(6(1 - \varepsilon_0))] \quad (8)$$

$$\text{при } D/d < 6 \quad Re_э = 4Re\Phi / [(6(1 - \varepsilon_0) + (3/D)\Phi d)] \quad (9)$$

где Φ – фактор формы;

Re – модифицированный критерий Рейнольдса, выраженный через фиктивную скорость жидкости и размер (диаметр) частиц слоя – d ;

D – диаметр аппарата, м.

$$Re = w d \rho / \mu \quad (10)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости оживающего агента, $\text{Па} \cdot \text{с}$.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате при обработке опытных данных по гидравлическому сопротивлению слоя в логарифмической системе координат позволяла четко выявить особенности поведения полидисперсного слоя при его оживлении жидкостью.

При псевдооживлении полидисперсных слоев наиболее мелкие фракции начинают выдуваться в основном из центральной части колонки, т.е. из поровых каналов между крупными частицами и соответственно пристеночное трение будет ничтожно малым. Кроме того, для полидисперсного материала сил сцепления между частицами, меньше, чем монодисперсного слоя. В связи с этим при псевдооживлении полидисперсного слоя зернистого материала пик давления на кривой псевдооживления будет не заметным.

Анализ полученных результатов позволяла выявить наиболее характерные особенности полидисперсного слоя и его отличие от монодисперсного слоя:

а) существование переходного режима между областями фильтрации и псевдооживления (в монодисперсном слое такой области не существует;

б) наличие двух характерных скоростей: w_n - начальной скорости переходного режима и w_k - критической скорости псевдооживления.

Из анализа кривых сопротивления монодисперсного и полидисперсного слоев очевидно неподобие законов сопротивления в этих двух случаях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Псевдооживление. / В.Г. Айнштейн, А.П. Баскаков и др.; под ред. В.Г. Айнштейна. - М.: Химия, 1991. - 440 с.
- [2]. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. В 2-х кн. / Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. и др.; под ред. В.Г. Айнштейна. - М.: Высшая школа, 2003. - 912 с.
- [3]. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - 512 с.
- [4]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Суярова Х.Х. Расширение псевдооживленного слоя полидисперсного зернистого материала. Химия и химическая технология. – Ташкент, 2017. - №4, - С. 55-58
- [5]. Bakhronov Kh. Sh., Khudoyberdiyeva N.Sh. Intensity of Heat Transfer in a tube with a Fluidized layer of a Polydisperse Granular material // International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 1, January-2017, ISSN 2229-55181482-1485 pages.(Journal info IF-3,8).
- [6]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Туйбоев О.В. Исследование теплоотдачи от внутренней стенки трубы к псевдооживленному водой слою полидисперсного зернистого материала. Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2016. - №4- С. 15-18.
- [7]. Khudoyberdiyeva N.Sh. Bakhronov Kh. Sh. Investigation of Heat exchange between. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 1, January-2017, 1178-1180 pages. ISSN 2229-5518, India.
- [8]. Khudoyberdiyeva N.Sh., Bakhronov Kh. Sh. Intensity of Heat Transfer in a tube with a Fluidized layer of a Polydisperse Granular material. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 1, January-2017, ISSN 2229-55181482-1485 pages
- [9]. 153. Bakhronov Kh. Sh., Tuyboyov O.V., Khudoyberdiyeva N.Sh. Enhancement of Heat exchange from the Gas to the Pipe surface of a Helical coil.
- [10]. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 1, January-2017, ISSN 2229-55181204-1208 pages.
- [11]. Худойбердиева Н.Ш. Бахронов Х.Ш., Абдахатова Р.М. Интенсификация теплоотдачи путём организации псевдооживления. Журнал "Интернаука". –г. Москва, 2019. -№47(129), част 1, стр. 70-71.
- [12]. Худойбердиева Н.Ш., Каримов М. Исследование влияние параметров на гидродинамику вихревого аппарата. Журнал "Вопросы науки и образования". г. Москва, 2020.-№30 (114), стр.4-12.
- [13]. Bakhronov X.Sh., Xudoyberdiyeva N.Sh., Yunusova S.T. Liquefaction of solid particles of polydispersed grained material. International Journal of integrated education ISSN:2620-3502 (E)/2615-3785(R). Vol.3 №10, Oct. 2020, Indonesia



- [14]. Baxronov X.Sh., Xudoyberdieva N.Sh., Axmatov A.A., Jalilov R.S., Juraev D.D. Research of chemisorption process of gathering hydrogen cyanide of gold-extraction production. Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology 17(6), ISSN: 1567-214x. <https://archives.palarch.n1/index.php/article/view/4187>
- [15]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Турдиева О.Д., Файзуллоева С.С. Исследование эффективности вихревых аппаратов с закрученным потоком теплоносителей. Журнал "Универсум: технические науки" 2(83)-г. Москва, 26.02.2021г. стр.5-9.
- [16]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Суярова Х.Х., Файзуллоева С.С. Интенсивность теплообмена в вихревой сушилке. Журнал "Универсум: технические науки" 6(87)-г. Москва, 2021г, июнь.