

Кафедра «Химическая технология и промышленная экология»

В.В. ФИЛИППОВ

ГИДРОДИНАМИКА НАСАДОЧНОЙ КОЛОННЫ

Методические указания к лабораторной работе



Самара

Самарский государственный технический университет

2022

Печатается по решению методического совета института нефтегазовых технологий (протокол № 11 от 15.11.2021 г.).

УДК 66.048.3(07)

ББК 35.11я73

Ф 53

Филиппов В.В.

Гидродинамика насадочной колонны: методические указания к лабораторной работе / *В.В. Филиппов.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2022. – 23 с.

Предназначены для использования студентами при выполнении лабораторной работы «Гидродинамика насадочной колонны» в лаборатории «Процессы и аппараты химической технологии».

Рецензенты: канд. хим. наук, доцент *Б.Ю. Смирнов*,
канд. тех. наук, доцент *Н.Г. Кац*

УДК 66.048.3(07)

ББК 35.11я73

Ф 53

© В.В. Филиппов, 2022

© Самарский государственный

технический университет, 2022

ВВЕДЕНИЕ

1. Насадка и её параметры

Для реализации процессов абсорбции и ректификации возникает задача – как организовать контакт поднимающегося по колонне пара или газа со стекающей сверху жидкостью. Было придумано много различных вариантов. Какие-то остались и стали совершенствоваться, какие-то ушли в прошлое.

Контакт фаз в колоннах можно организовать двумя способами – **непрерывно** и **ступенчато**. В первом случае это будут **насадочные** колонны, во втором – **тарельчатые**. Здесь мы говорим только о насадочных колоннах.

Что такое насадка? Это тела правильной геометрической формы небольшого размера из различных материалов – металла, керамики, пластмасс. Насадку засыпают в колонну ярусами на специальные опорные решётки (колосники). Сверху насадка орошается жидкостью, снизу подаётся газ или пар. Такой способ заполнения колонны насадкой называется «внавал». Иногда используют регулярную укладку элементов насадки.

К основным типам насадок относятся кольца Рашига (рис. 1), кольца Палля (рис. 2), седла Берля (рис. 3), кольца Хейлекс (рис. 4).

Можно сформулировать основные требования, которым должна соответствовать насадка:

- высокая эффективность;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- высокая пропускная способность;
- хорошая смачиваемость жидкостью;
- химическая стойкость;
- по возможности невысокая стоимость.

Под **эффективностью работы** насадки мы понимаем степень приближения составов контактирующих фаз к состоянию равновесия.

Чем эффективнее работает насадка, тем меньшая высота её слоя требуется. Тем ниже будет колонна и, соответственно, ниже её стоимость. На величину эффективности насадки влияют следующие параметры: *удельная поверхность, порозность, фактор формы* (эти параметра будут рассмотрены ниже).



Рис. 1. Кольца Рашига, керамика

Гидравлическое сопротивление насадки определяет энергетические затраты на прохождение газа или пара через слой насадки. Понятно, что чем меньше величина гидравлического сопротивления, тем меньше потребуется электроэнергии на прохождение газа (пара) через колонну.



Рис. 2. Кольца Палля. На переднем плане развёрнутое металлическое кольцо



Рис. 3. Сёдла Берля, керамика

Введём параметры, характеризующие насадку.

1. **Удельная поверхность насадки a , $\text{м}^2/\text{м}^3$.** Это суммарная поверхность элементов насадки (насадочных тел) в единице объема, занятого этой насадкой. Чем больше эта величина, тем эффективнее будет работать насадка. Но при этом будет возрастать гидравлическое сопротивление насадки.



Рис. 4. Кольца Хейлекс, полимер

При орошении насадки жидкостью не вся поверхность элементов будет, увы, смочена. Частицы насадки перекрывают друг друга, создают труднодоступные для жидкости места, своего рода «карманы». Поэтому при расчёте насадочной колонны вводится коэффициент смоченности насадки φ , который всегда меньше 1.

2. **Доля свободного объёма** или **порозность**, ε . Эта величина показывает долю пустот или, так сказать, «воздушность» слоя насадки. Обозначим: V – общий объём (насадка + пустоты), V_0 – объём пустот, а $V_{\text{ч}}$ – объём материала частиц насадки. Тогда формула для расчёта порозности будет иметь вид

$$\varepsilon = \frac{V - V_{\text{ч}}}{V} = \frac{V_0}{V}. \quad (1)$$

Доля свободного объёма – величина безразмерная.

3. **Эквивалентный диаметр элементов насадки**, $d_{\text{э}}$. Необходим для расчёта гидравлического сопротивления слоя. Находится по классической формуле

$$d_{\text{э}} = \frac{4S_{\text{к}}}{\Pi_{\text{к}}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{к}}$ – усреднённая площадь сечения канала, образованного частицами насадки; $\Pi_{\text{к}}$ – смоченный периметр канала.

Можно строго доказать, что

$$d_{\text{э}} = \frac{4\varepsilon}{a}. \quad (3)$$

4. **Фактор формы** Φ . Это отношение поверхности шара к поверхности элемента насадки при условии равенства их объёмов. Очень важная величина. Она позволяет оценить сложность формы насадки. Например, мы уверенно можем сказать, что кольцо Палля (см. рис. 2) имеет более сложную форму, чем кольцо Рашига (см. рис. 1). Но как это доказать? Как оценить различие количественно? Для этого и используется фактор формы. Представьте себе, что частица насадки сделана из пластилина. Эта частица имеет поверхность $F_{\text{част}}$ и объём $V_{\text{част}}$. А теперь давайте из этой частицы скатаем шарик. Он будет иметь поверхность $F_{\text{шар}}$ и тот же объём $V_{\text{шар}}$. Так, фактор формы можно выразить следующим образом:

$$\Phi = \frac{F_{\text{шар}}}{F_{\text{част}}} \text{ при условии, что } V_{\text{шар}} = V_{\text{част}}. \quad (4)$$

Из геометрии известно, что шар имеет минимально возможную поверхность. Поэтому фактор формы всегда меньше 1. И чем меньше значение Φ , тем сложнее будет частица, тем большей поверхностью она обладает.

При засыпке насадки в колонну плотность упаковки частиц получается различной: в центре насадка упаковывается более плотно, чем у стенок. Вследствие этого возникает так называемый *пристеночный эффект*: проходное сечение у стенок оказывается больше, чем в центре, и жидкость скатывается к стенке колонны и стекает по ней. Это нарушает равномерность орошения насадки. Что делать? Приходится создавать ярусы в колонне – секционировать насадку. А внизу каждой секции устанавливать распределитель, который отводит жидкость от стенки и возвращает её в центр (рис. 5).

2. Гидродинамические режимы в насадочной колонне

Обычно гидродинамические режимы изучают при постоянной *плотности орошения* и изменяемой скорости газа.

Плотность орошения l – это количество жидкости, проходящей через единицу площади сечения колонны в единицу времени. Она может быть как массовой, так и объёмной. Следовательно, её единицы измерения будут такими

$$\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \times \text{с}} \right] \text{ или } \left[\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \times \text{с}} \right].$$

В зависимости от расходов газа и жидкости в насадочной колонне возможно несколько режимов [1, 2]. Для их иллюстрации воспользуемся графической зависимостью потери давления ΔP в колонне от средней скорости газа в каналах между частицами насадки w (рис. 6).

Даже если жидкость на орошение не подаётся, то *сухая* насадка всё равно оказывает сопротивление потоку газа. Рассчитать потерю давления для этого случая очень просто. Для этого используют формулы (5). На графике (см. рис. 6) зависимость потери давления на сухой насадке от скорости газа будет линейной.

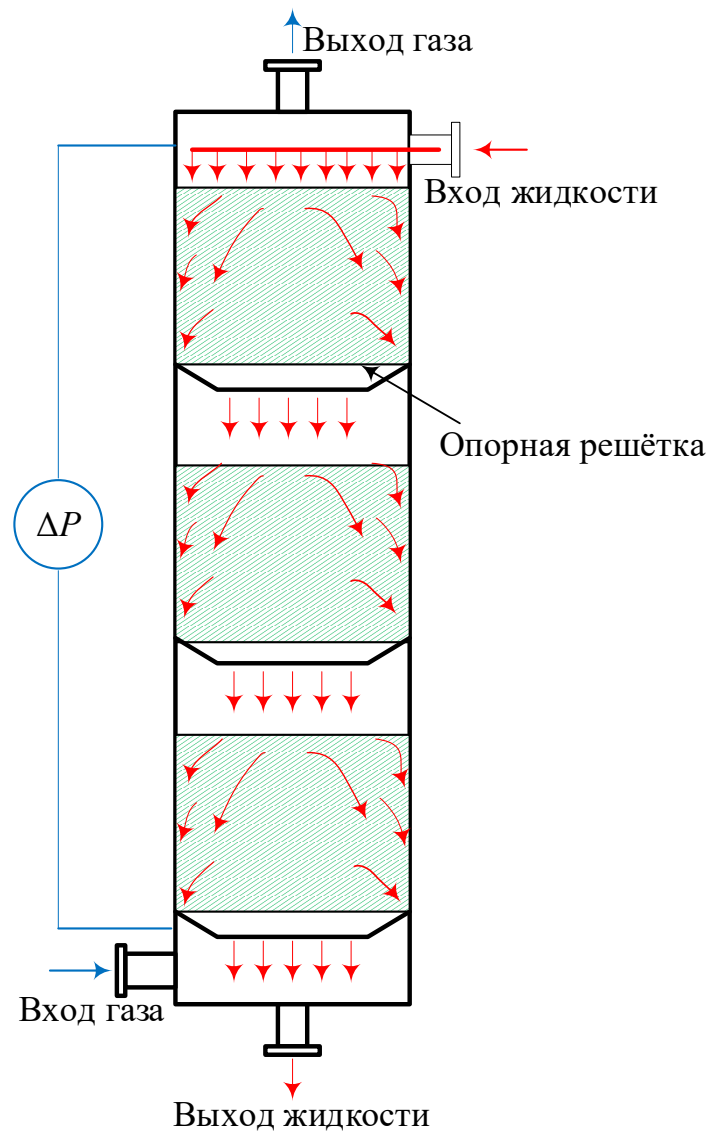


Рис. 5. Секционирование насадки в колонне и перепад давления в ней

Теперь перейдём к орошаемой насадке. Установим постоянный расход жидкости L , а расход газа будем изменять. Начнём наблюдение за поведением жидкости на элементах насадки. Одновременно будем измерять потерю давления на насадке и начнём строить график

зависимости ΔP от скорости газа w , но в логарифмических координатах (см. рис. 6).

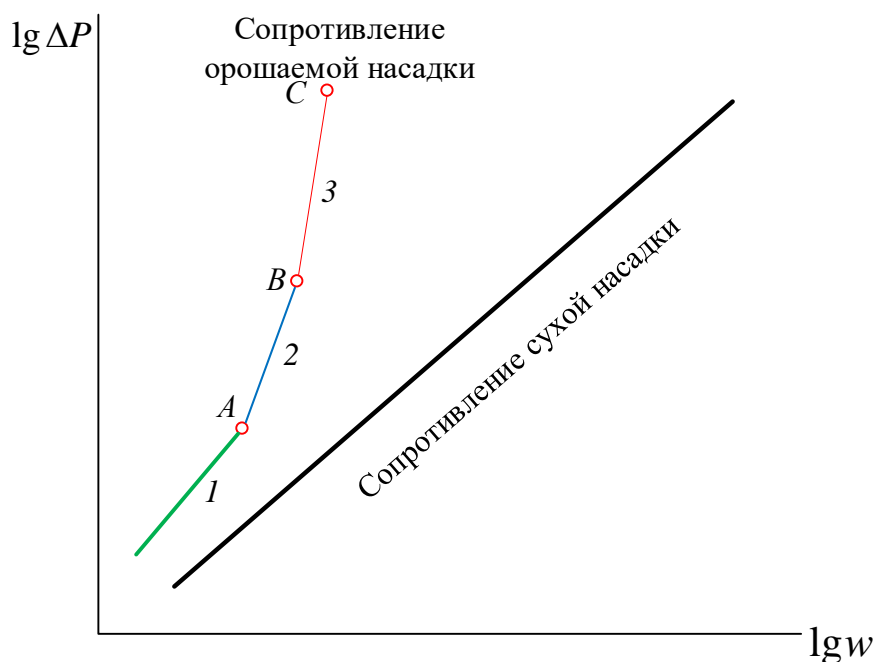


Рис. 6. Зависимость гидравлического сопротивления насадки от скорости газа в колонне:

1 – плёночный режим; 2 – режим подвисяния; 3 – режим эмульгирования.
C – точка захлёбывания

При небольшой скорости газ не оказывает влияния на движение жидкости. Её количество в колонне не изменяется – сколько вошло, столько и вышло. Это так называемый *плёночный* режим. Он заканчивается в точке *A* (см. рис. 6). Для нас он интереса не представляет – интенсивность массопередачи при плёночном режиме невысокая.

Второй режим – режим *подвисяния*. После точки *A* повышение скорости газа приводит к увеличению сил трения о жидкость на поверхности контакта фаз и подтормаживанию жидкости газовым потоком. Скорость течения плёнки жидкости уменьшается, а её толщина и количество удерживаемой жидкости в насадке увеличиваются. В режиме подвисяния спокойное ламинарное течение плёнки нарушается, появляются завихрения, брызги, увеличивается смоченная поверхность насадки. Процесс массопередачи интенсифицируется. Режим подвисяния заканчивается в точке *B*.

Третий режим – *режим эмульгирования* – возникает при дальнейшем увеличении скорости. В результате происходит накопление жидкости в свободном объёме насадки. Это накопление продолжается до тех пор, пока сила тяжести задержанной жидкости не уравнивается подъёмной силой газа. Как только это равновесие возникнет, происходит *обращение* или *инверсия* фаз: жидкость становится сплошной средой, а газ – дисперсной. Образуется газожидкостная дисперсная смесь, по внешнему виду напоминающая пену (барботажный слой). В этом режиме эффективность насадочных колонн максимальная. Но за это придётся заплатить резким увеличением гидравлического сопротивления (участок ВС на рис. 6). Кроме того, режим эмульгирования сложно поддерживать по всей высоте колонны.

В режимах подвисяния и эмульгирования целесообразно работать, если повышение гидравлического сопротивления не имеет принципиального значения. Но, например, при проведении абсорбции при атмосферном давлении перепад давления по колонне может оказаться недопустимо большим, что увеличит затраты на прокачку газа по колонне. Тогда приходится снижать скорость газа и работать в плёночном режиме. Поэтому наиболее эффективный гидродинамический режим в колонне находится путём технико-экономического расчёта.

Если продолжать увеличивать скорость газа, то жидкость не сможет стекать вниз. Теперь поток газа потянет её за собой. Нормальная работа колонны нарушается, наступает аварийный режим *захлёбывания* (точка С на рис. 6).

В технологической практике принято принимать рабочие параметры по жидкости и газу (пару) на 20 % ниже точки захлёбывания.

3. Расчёт гидравлического сопротивления насадочных колонн

Различают сопротивление сухой насадки и сопротивление орошаемой насадки. Понятно, что проще всего рассчитать сопротивление сухой насадки. Расчёт проводится по формулам:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \frac{H}{d_3} \frac{w^2 \rho_r}{2},$$

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \frac{Ha}{4\varepsilon} \frac{w_\phi^2 \rho}{2},$$
(5)

где H – высота насадки; d_3 – эквивалентный диаметр насадки, находится по формуле (3); a – удельная поверхность насадки, ρ – плотность газа в колонне при рабочих условиях; w – истинная скорость газа между элементами насадки, w_ϕ – фиктивная скорость газа в колонне; ε – порозность (доля свободного объёма) насадки.

Фиктивная скорость газа в колонне – это скорость, рассчитанная в предположении, что колонна пустая (без насадки).

Фиктивная скорость связана с действительной соотношением

$$w_\phi = \varepsilon w. \quad (6)$$

Плотность газа при рабочих условиях находится по классической формуле

$$\rho = \frac{M}{22,4} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T}, \quad (7)$$

где M – мольная масса газа, P и T – рабочие давление и температура, P_0 и T_0 – стандартные давление и температура, $P_0 = 10^5$ Па, $T_0 = 273$ К.

В формулах (5) коэффициент сопротивления λ зависит от режима движения газа, который мы оцениваем по величине критерия Рейнольдса. Численное значение критерия Рейнольдса находится по формуле

$$\text{Re} = \frac{w d_3 \rho}{\mu} = \frac{4 w_\phi \rho}{a \mu}. \quad (8)$$

В зависимости от численных значений критерия Рейнольдса расчётные формулы для нахождения коэффициента сопротивления λ имеют следующий вид:

при $\text{Re} < 40$

$$\lambda = \frac{140}{\text{Re}}; \quad (9)$$

$$\text{при } Re > 4 \quad \lambda = \frac{16}{Re}; \quad (10)$$

$$\text{при } 80 < Re < 400 \quad \lambda = \frac{70}{Re^{0,45}}; \quad (11)$$

$$\text{при } Re > 400 \quad \lambda = \frac{16,5}{Re^{0,2}}. \quad (12)$$

Определить потери давления через орошаемую насадку гораздо сложнее. В литературе предложено несколько методов расчёта, но все они не дают надёжных результатов. Наиболее просто рассчитать сопротивление орошаемой насадки по формуле (13), приведённой в [1, с. 201]:

$$\Delta P_{\text{ор}} = \Delta P_{\text{сух}} \cdot 10^{bL}, \quad (13)$$

где $\Delta P_{\text{сух}}$ – гидравлическое сопротивление сухой насадки; l – объёмная плотность орошения; b – коэффициент, зависящий от вида насадки (кольца Рашига, кольца Палля) и способа её укладки (регулярно или навал).

Для колец Рашига $15 \times 15 \times 3$, которые используются в лабораторной работе, $b = 200$.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Визуальное наблюдение за различными гидродинамическими режимами в насадочной колонне.

2. Экспериментальное нахождение зависимости гидравлического сопротивления сухой насадки от скорости газа в колонне.

3. Нахождение экспериментальной зависимости гидравлического сопротивления орошаемой насадки от скорости газа при различных плотностях орошения.

4. Расчёт сопротивления сухой насадки при различных скоростях газа по формулам (5) и сравнение полученных результатов с экспериментальными.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Основными элементами лабораторной установки (рис. 7) являются колонна, состоящая из двух стеклянных царг¹ и заполненная насадкой из колец Рашига; воздуходувка, управляемая лабораторным автотрансформатором (ЛАТР); мерная диафрагма с дифференциальным манометром для измерения расхода воздуха; вентиль регулировки расхода воды, ротаметр для измерения расхода воды, дифференциальный манометр для измерения перепада давления по колонне.

Для предотвращения попадания воздуха в сливную трубу внизу колонны установлен гидрозатвор.

Насадка в колонне засыпана двумя секциями. Для предотвращения пристеночного эффекта внизу яруса установлен перераспределительный конус.

Воздух подаётся в колонну снизу. Производительность воздуходувки регулируется изменением подаваемого напряжения. Расход воздуха измеряется с помощью мерной диафрагмы, перепад давления на которой измеряется дифференциальным манометром. Калибровочный график диафрагмы приведён на рис. 8.

Расход воды, подаваемой на верх колонны, измеряется с помощью поплавкового **ротаметра**. Ротаметр – это стеклянная **коническая** трубка, внутри которой помещён поплавок. Этот поплавок под действием потока жидкости поднимается. Чем выше он поднимется, тем больше будет проходное сечение потока. Зависимость высоты поднятия поплавка от расхода воды линейная и показана на рис. 9.

¹ Царга – от нем. die Zarge: **обечайка**, фланец, боковая поверхность.

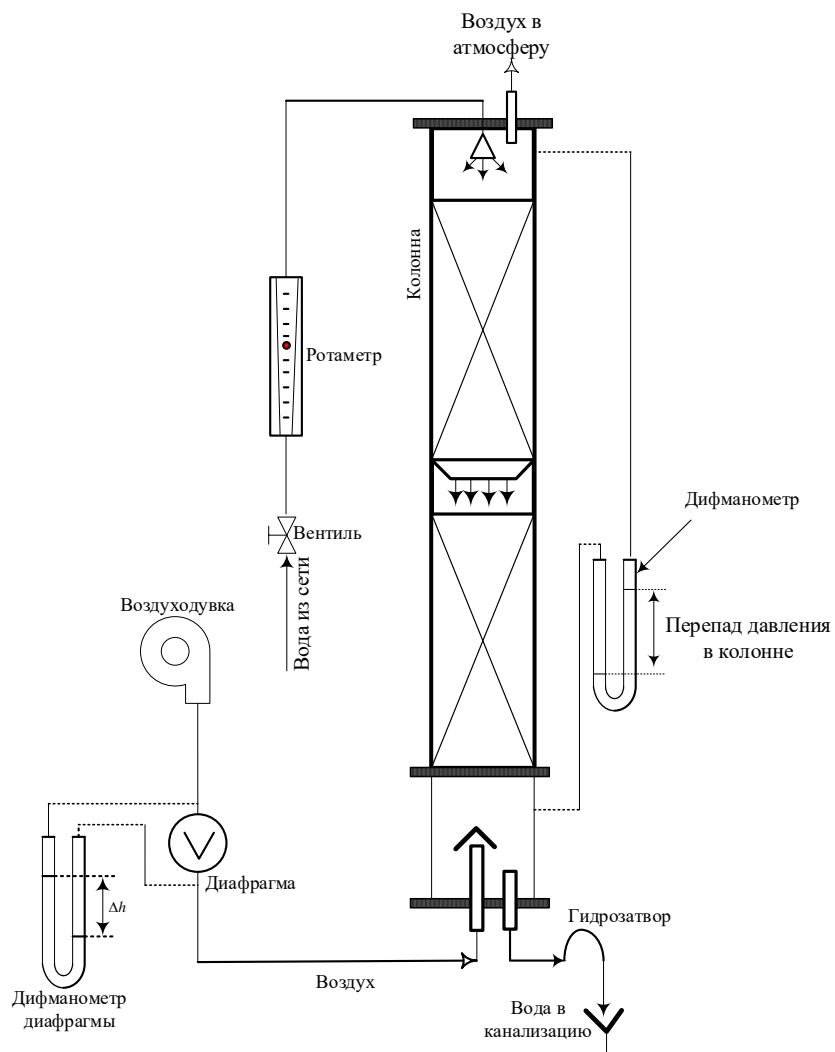


Рис. 7. Схема лабораторной установки

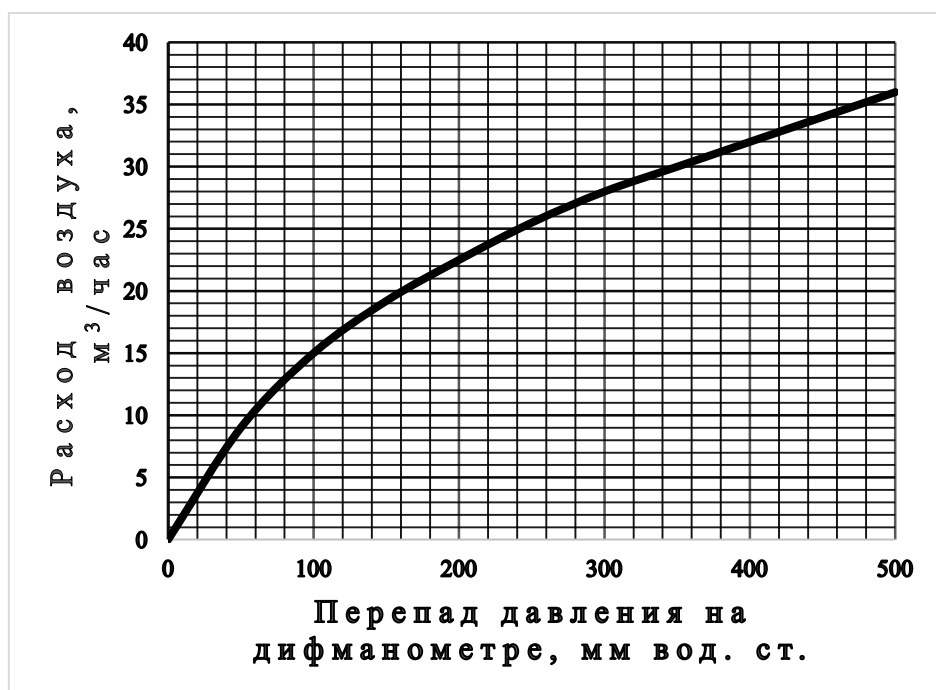


Рис. 8. Калибровочный график диафрагмы

ПАРАМЕТРЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Общая высота колонны	2000 мм.
Суммарная высота слоя насадки	1200 мм.
Внутренний диаметр колонны	150 мм.
Площадь сечения колонны	$1,766 \times 10^{-2} \text{ м}^2$.
Размер колец Рашига	15×15×3 мм.
Доля свободного объёма насадки, ε	0,621.
Эквивалентный диаметр насадки, d_3	0,0058 м.
Удельная поверхность насадки, a	$430 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

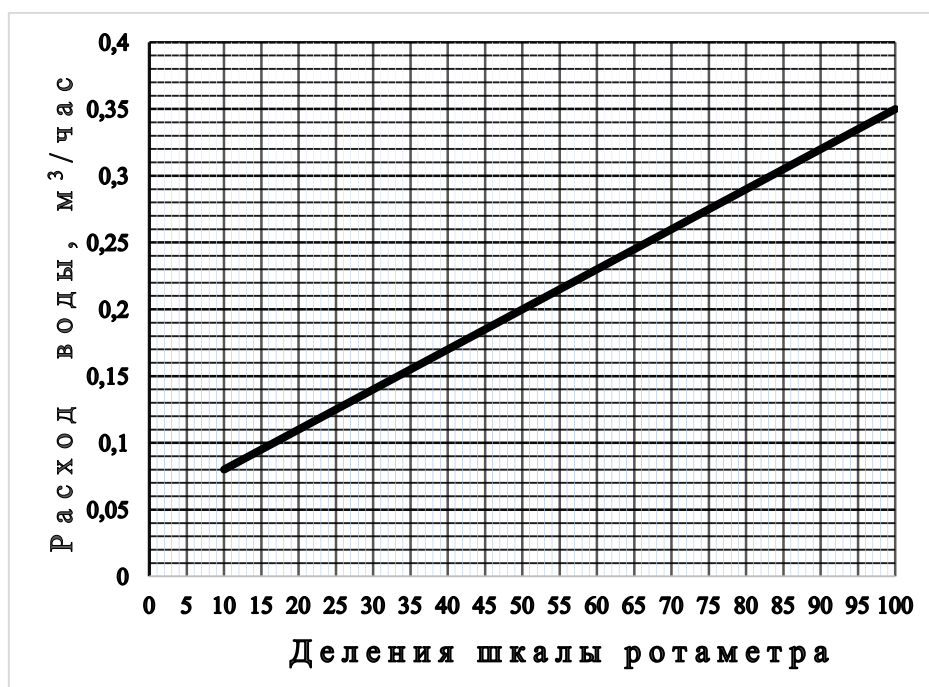


Рис. 9. Калибровочный график ротаметра

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Этап 1. Визуальное наблюдение за гидродинамическими режимами в колонне

Подаём с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) на воздуходувку напряжение 100 В. Теперь открываем вентиль пода-

чи воды и устанавливаем поплавков ротаметра на 15 делений. Наблюдаем за движением жидкости через элементы насадки.

Увеличиваем напряжение до 220 В с шагом 20 В и продолжаем наблюдение.

Уменьшаем напряжение до 100 В и увеличиваем подачу воды до 30 делений шкалы ротаметра. Этим мы увеличиваем плотность орошения l . Снова начинаем увеличивать подачу воздуха, напряжение до 220 В.

Повторяем описанный эксперимент для 45 и 60 делений шкалы ротаметра.

В результате выполнения этой части работы мы должны увидеть все описанные выше гидродинамические режимы: плёночный, подвигания, эмульгирования. Следует записать расходы воздуха и воды, которые соответствуют этим режимам.

Если в режиме эмульгирования увеличить расход хотя бы одной из фаз – воды или воздуха, то мы получим *аварийный режим захлёбывания*. Подачу воды необходимо быстро уменьшить.

Приветствуется фотографирование режимов в колонне с последующей вставкой фотографий в отчёт. Кроме того, в отчёте необходимо коротко описать наблюдаемые режимы и указать расходы воздуха и воды, при которых они наблюдались.

Этап 2. Экспериментальное нахождение зависимости сопротивления сухой насадки от расхода газа

В этой части работы необходимо изменять скорость газа в неорошаемой колонне. Для этого изменяем напряжение на воздуходувке от 100 до 220 В с шагом 20–25 В. При увеличении расхода газа сопротивление насадки, измеряемой дифманометром, будет увеличиваться. Результаты опытов заносим в табл. 1. Помним, что 1 мм вод. ст. равен 9,81 Па.

Этап 3. Экспериментальное нахождение зависимости сопротивления орошаемой насадки от расхода газа и плотности орошения

Этот этап фактически повторяет предыдущий, но при условии, что теперь насадка орошается. Рекомендуемые расходы воды 15, 30, 45 и 60 делений шкалы ротаметра, т. е. делается четыре серии опытов с четырьмя расходами воды. Для каждого расхода воды подачу воздуха увеличивать до наступления режима захлёбывания. Результаты опытов заносим в табл. 2.

Таблица 1

Результаты опытов по измерению сопротивления сухой насадки

№ опыта	Показания ЛАТРа, В	Перепад давления на диафрагме, мм вод. ст.	Расход воздуха, V , м ³ /час	Сопротивление насадки,	
				мм вод. ст.	Па
1					
2					

Таблица 2

Результаты опытов по измерению сопротивления орошаемой насадки

№ опыта	Деления шкалы ротаметра	Расход воды, L , м ³ /час	Показания ЛАТРа	Перепад давления на дифманометре, мм вод. ст.	Расход воздуха, V , м ³ /час	Сопротивление насадки	
						мм вод. ст.	Па
1							
2							

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЁТА

1. Расчёт сопротивления сухой насадки

1. Для каждого опыта находим фиктивную скорость воздуха в колонне w_{ϕ} :

$$w_{\phi} = \frac{V}{S}, \quad (14)$$

где V – объёмный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь сечения колонны, $S = 1,766 \times 10^{-2} \text{ м}^2$.

2. Используя формулу (6), вычисляем действительную скорость воздуха между элементами насадки:

$$w = \frac{w_{\phi}}{\varepsilon}, \quad (15)$$

где ε – доля свободного объёма, в нашем случае $\varepsilon = 0,621$.

3. Для каждого расхода газа по формуле (8) вычисляем критерий Рейнольдса. Необходимый для этого динамический коэффициент вязкости воздуха находим по эмпирическому уравнению (16). Результат будет в $\text{Па} \times \text{с}$.

$$\mu = 1,717 \cdot 10^{-5} \left(\frac{T}{273} \right)^{0,683}, \quad (16)$$

где T – абсолютная температура воздуха, K .

4. По формулам (9)–(12), учитывая полученное значение критерия Рейнольдса, вычисляем коэффициент сопротивления сухой насадки λ . Необходимые для расчёта параметры колонны приведены на с. 17. Плотность воздуха при рабочих условиях находим по уравнению (7).

5. По любому из уравнений (5) вычисляем расчётное значение сопротивления сухой насадки. Ответ будет в паскалях.

6. Сравниваем расчётные и экспериментальные значения сопротивления сухой насадки. Определяем процент расхождения между этими величинами:

$$\Delta = \frac{\Delta P_{\text{эксп}} - \Delta P_{\text{расч}}}{\Delta P_{\text{эксп}}} \times 100 \%. \quad (17)$$

7. Результаты расчёта сводим в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчётов и экспериментальные данные

№ опыта	Скорость воздуха		Re	λ	$\Delta P_{\text{эксп}}$ Па	$\Delta P_{\text{расч}}$ Па	$\Delta, \%$
	$w_{\text{ф}}$	w					
1							
2							

8. Строим график зависимости сопротивления насадки от скорости воздуха в колонне $\Delta P_{\text{сух}} = f(w)$.

2. Обработка результатов эксперимента на орошаемой насадке

1. Находим объёмную плотность орошения l :

$$l = \frac{L}{S}, \quad (18)$$

где L – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$, S – площадь сечения колонны, $S = 1,766 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

2. По эмпирическому уравнению (13) рассчитываем сопротивление орошаемой насадки.

3. Сравниваем расчётные значения гидравлического сопротивления орошаемой насадки с полученными экспериментально. По формуле (17) находим процент расхождения.

4. Построим график зависимости сопротивления орошаемой насадки при постоянной плотности орошения в зависимости от скорости газа

$$\Delta P_{\text{оп}} = f(w) \text{ при } l = \text{const.}$$

3. Составление отчёта

Каждый студент должен оформить свой индивидуальный отчёт. В отчёте должны быть приведены следующие пункты:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблицы опытных и расчётных величин (см. табл. 1, 2 и 3).
5. Графики: сопротивление сухой насадки от скорости воздуха и сопротивление орошаемой насадки при различных плотностях орошения.
6. Приветствуются фотографии режимов в колонне (не обязательно).
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель и порядок выполнения работы. Пуск и выключение установки.
2. Насадочные колонны, основные сведения об их устройстве. Параметры насадки.
3. Гидродинамические режимы в насадочных колоннах.
4. Уравнение расхода. Фиктивная и истинная скорости газа в колонне.
5. Способы определения расходов воды и воздуха, которые использовались в работе. Принципы работы мерной диафрагмы и ротаметра.
6. Гидравлическое сопротивление сухой и орошаемой насадки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с. – ISBN 5-7245-10006-5.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. – 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с. – ISBN 5-98535-004-5.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Цель работы	12
Описание лабораторной установки	13
Порядок выполнения работы	15
Параметры лабораторной установки.....	15
Обработка экспериментальных данных и составление отчёта.....	18
Контрольные вопросы.....	21
Библиографический список.....	21

Учебное издание

ФИЛИППОВ Вячеслав Васильевич

Гидродинамика насадочной колонны

В авторской редакции
Компьютерная вёрстка В.В. Филиппов

Подп. в печать 24.01.22
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Усл. п. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,25
Тираж 50 экз. Рег. № М1/22

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус № 8