

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов

ТЕПЛОМАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ
Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по процессам и аппаратам пищевых производств
для студентов направления (специальности)
260600 (260601)

Курган 2006

Кафедра "Теоретическая механика и сопротивление материалов"

Дисциплина "Процессы и аппараты пищевых производств"
(направление 260600, специальность 260601)

Составил канд. техн. наук, доцент Тютрин С.Г.

Утверждены на заседании кафедры 16 февраля 2006 г.

Рекомендованы методическим советом
университета

"17" февраля 2006 г.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с процессом адсорбции и способами контроля цветности.
2. Построить кинетическую кривую цветности раствора при адсорбции красителя.

Применяемые материалы и оборудование: спиртовой раствор бис-трифенилангидрокарбинола оксалата (5 мл), уголь активированный (2,5 г), ступа, пробирка со штативом, шкала цветности, лист белой бумаги, ножницы.

Основные теоретические положения

Под адсорбцией понимают процесс поглощения одного или нескольких компонентов из раствора или газовой смеси твердым веществом - адсорбентом. Процесс адсорбции является избирательным: различные вещества в разной степени поглощаются тем или иным адсорбентом.

В качестве адсорбентов широко используют активированные угли. Их получают при нагреве без доступа кислорода (до 900°C и более) березы, бука, торфа, костей или другого органического сырья. Удельная поверхность активных углей составляет $600...1700 \text{ м}^2/\text{г}$. Объем микропор - $0,23...0,6 \text{ см}^3/\text{г}$. При нормальных условиях активный уголь плохо поглощает пары воды (т.е. является гидрофобным адсорбентом) и очень хорошо - углеводороды.

Нередко процесс адсорбции мы проводим и в быту - при пользовании фильтрами для очистки питьевой воды. В пищевой промышленности широко распространена жидкостная адсорбция, например адсорбция активированным углем красящих веществ сиропа в сахарно-рафинадном производстве. При этом цветность сиропа оценивается в градусах Штаммера или по оптической плотности.

Заметим, что задача измерения и контроля цвета является весьма важной в полиграфии, телевидении, текстильной промышленности, а для ее решения могут быть использованы различные подходы. Например, по способу визуальной колориметрии из набора цветов сравнения с известными параметрами подбирается цвет, зрительно равный цвету испытываемого образца. Образцы обычно изготавливаются в виде накресок на бумаге. Наборы образцов, систематизированных определенным образом, образуют атлас цветов. В нашей стране применяются атлас Е.Б.Рабкина, состоящий из 37 таблиц по 55 выкрасок, атлас цветов ВНИИМ, таблицы Пантона и др.

Работа адсорбента разделяется на четыре стадии: адсорбция, десорбция поглощенного компонента водяным паром, сушка адсорбента горячим возду-

хом, охлаждение адсорбента. Процесс адсорбции может быть как периодическим, так и непрерывным.

В адсорберах периодического действия все четыре стадии процесса осуществляются в одном аппарате последовательно, циклически повторяясь. Первая стадия - собственно адсорбция, т.е. насыщение адсорбента адсорбируемым компонентом. При этом исходная жидкая или парогазовая смесь проходит через слой адсорбента, контактируя с ним. Первая стадия длится до тех пор, пока поглощательная способность адсорбента не снизится до минимально допустимой величины.

✓ Вторая стадия - десорбция. При этом решается задача извлечь адсорбированное вещество из адсорбента. Основным методом десорбции - вытеснение адсорбтивов с помощью насыщенного водяного пара (для увеличения скорости десорбции процесс проводят при повышенных температурах).

✓ Третья стадия - сушка поглотителя - производится обдувкой горячим воздухом для удаления из микропор адсорбента влаги, появившейся там при десорбции.

✓ Четвертая стадия - охлаждение адсорбента - производится путем его продувки холодным воздухом. (С понижением температуры скорость адсорбции увеличивается.)

В результате выполнения второй, третьей и четвертой стадий процесса обеспечивается регенерация адсорбента, т.е. восстановление его первоначальных свойств. После этого можно вновь начать первую стадию процесса.

Вертикальный цилиндрический адсорбер - наиболее распространенная конструкция адсорберов периодического действия (рис. 1). Он состоит из корпуса 1 с отверстиями для загрузки-выгрузки, снабжен колосниковой решеткой 2 и кольцевой трубой 3. На решетке 2 находится слой гранулированного адсорбента 4. Такие адсорберы используют для очистки парогазовых смесей и жидких растворов. Исходная парогазовая смесь подается сверху, проходит через слой адсорбента, где и осуществляется очистка, а очищенная парогазовая смесь выводится из аппарата через нижний патрубок (показано обычными стрелками). Для десорбции в кольцевую трубу 3 подают острый пар, который проходит через слой адсорбента, увлекает за собой адсорбтив и выводит его из аппарата через верхний патрубок (на рис. 1 показано волнистыми стрелками). Конденсат пара отводится из аппарата после десорбции через нижний патрубок. При необходимости заменить адсорбент используются верхний и боковой люки (показано пунктирными стрелками).

Вертикальный адсорбер с неподвижным кольцевым слоем адсорбента предназначен для поглощения компонентов из парогазовой смеси (рис. 2). Адсорбер представляет собой вертикальный корпус 1, внутри которого между перфорированными цилиндрическими стенками 2 и 3 расположен слой адсор-

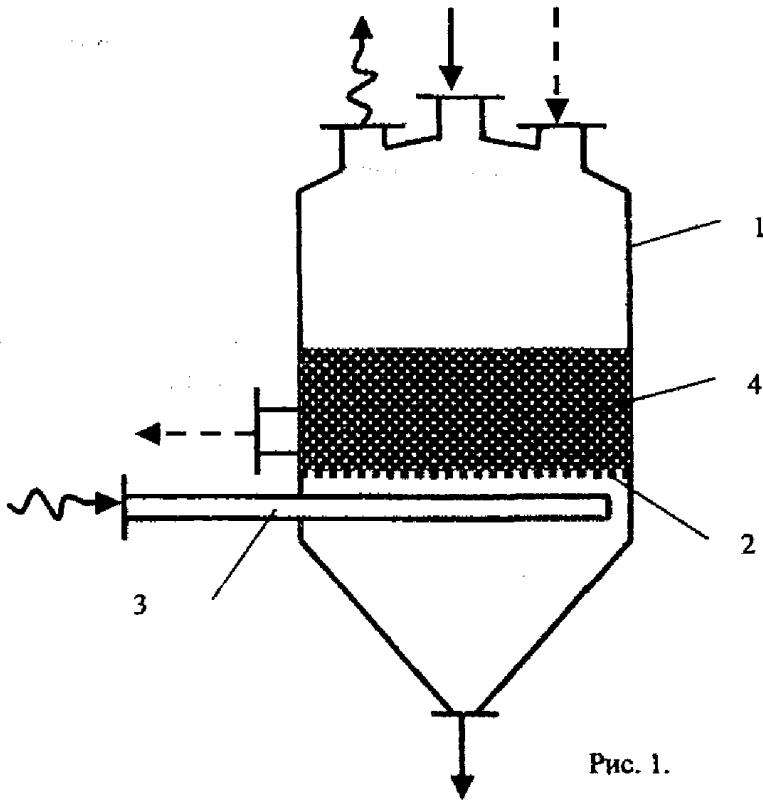


Рис. 1.

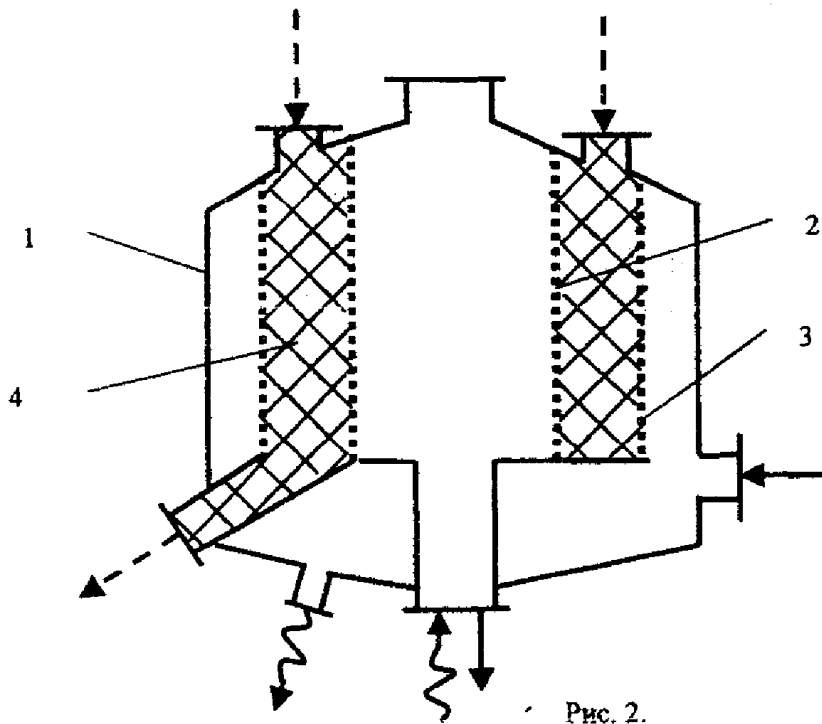


Рис. 2.

бента 4. На стадии адсорбции парогазовая смесь подается в нижнюю часть адсорбера через боковой патрубок и распределяется по кольцевому пространству между корпусом 1 и стенкой 3. Пройдя через слой адсорбента, очищенная парогазовая смесь выходит через центральный патрубок (показано простыми стрелками). На стадии десорбции водяной пар подается через центральный патрубок, а конденсат и пар с адсорбтивом выводятся через патрубок в нижней части аппарата (на рис. 2 показано волнистыми стрелками). Замена адсорбента производится через верхние и боковой люки (показано пунктирными стрелками).

Адсорбер с псевдооживленным слоем имеет корпус 1, распределительную решетку 2 и сепаратор 3 (рис. 3). Адсорбер заполнен мелкозернистым адсорбентом 4. Исходная парогазовая смесь подается снизу под распределительную решетку с большой скоростью, что приводит слой адсорбента в подвижное состояние. Очищенная смесь выводится через верхний патрубок (показано обычными стрелками). Сепаратор 3 препятствует уносу частиц адсорбента из аппарата с очищенной смесью газов. Проведение адсорбции в псевдооживленном слое значительно интенсифицирует процесс массообмена и сокращает его про-

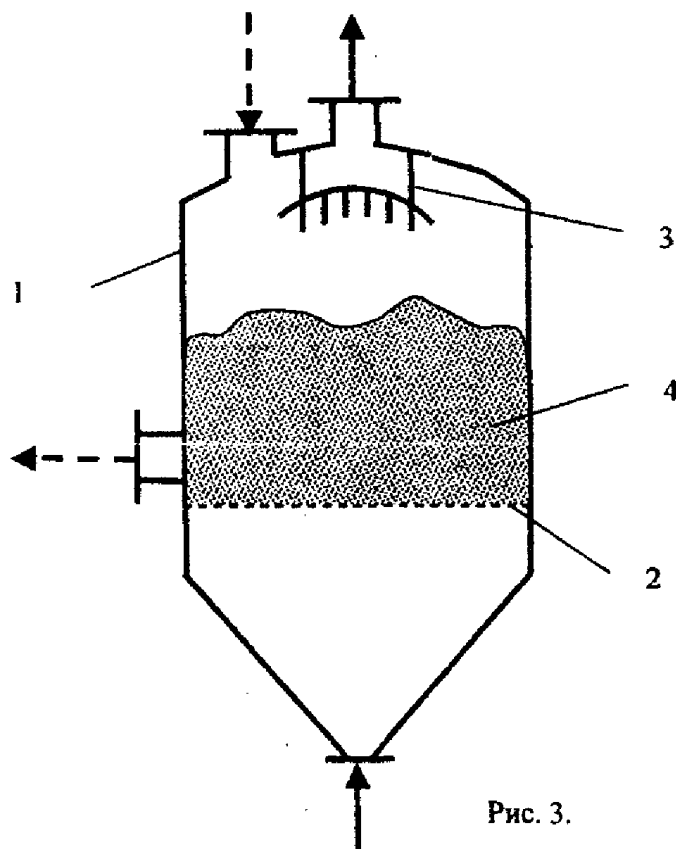


Рис. 3.

должительность. При необходимости заменить адсорбент пользуются люками (на рис. 3 показано пунктирными стрелками).

Обычно адсорбционные установки с адсорберами периодического действия состоят из нескольких аппаратов, работающих попеременно. Когда одни аппараты осуществляют адсорбцию, другие - десорбцию, сушку, охлаждение. Это позволяет "вписать" их в непрерывный технологический процесс.

В лабораторной работе используется 1%-ный спиртовой раствор бис-(пара диэтиламино)-три-фенилангидрокарбинола оксалата ($C_{29}H_{34}O_4N_2$). Это краситель и наиболее активный антисептик из группы красителей, широко известный как бриллиантовый зеленый.

Для контроля цвета используемого раствора изготовлены шкалы цветности. Шкалы цветности были подготовлены с помощью программного пакета WordArt и цветного принтера. На каждой шкале меняется только один параметр - яркость, она составляет 5, 15, ... 255 единиц. При этом под яркостью (или светлотой) понимается степень близости цвета к белому. Насыщение равно максимальному (255 единиц). Оттенок для каждой шкалы также оставался постоянным, но изготовлено несколько шкал (с учетом субъективности метода оценки), в которых оттенок равен 113, 114, ... 126 единицам.

Порядок выполнения работы

1. Залить в пробирку (примерно до половины) исследуемый окрашенный раствор, обмакнуть в него край полоски белой бумаги (для определения яркости исходного раствора). Надписать на полоске "0 мин" и положить ее для сушки.

2. Растолочь 8..14 таблеток активированного угля, высыпать в пробирку, перемешать, добавить при необходимости исследуемого раствора, закрыть пробирку и начать отсчет времени.

3. Через 5 минут обмакнуть в пробирку край полоски белой бумаги, надписать на ней время от начала опыта, положить ее для сушки, перемешать содержимое пробирки и закрыть ее.

4. Повторить пункт 3 пять-восемь раз.

5. Накраски после просушки сравнить со шкалой цветности и определить яркость (светлоту) J каждой пробы. Результаты занести в табл. 1.

6. По результатам опыта построить график зависимости яркости окраски (светлоты) J раствора от продолжительности процесса адсорбции t .

Контрольные вопросы

1. Что такое адсорбция? Какими свойствами она обладает?
2. Что собой представляет активированный уголь (его свойства, параметры)?
3. Приведите примеры применения жидкостной адсорбции в пищевой промышленности и в быту.
4. Какие существуют способы оценки цветности раствора?
5. Перечислите и поясните стадии работы адсорбента.
6. Что такое регенерация адсорбента, с какой целью и как она выполняется?
7. Поясните устройство и принцип действия вертикального цилиндрического адсорбера.
8. Поясните устройство и принцип действия вертикального адсорбера с неподвижным кольцевым слоем адсорбента.
9. Поясните устройство и принцип действия адсорбера с псевдооживленным слоем.
10. Поясните порядок выполнения лабораторной работы и примененный способ оценки цветности раствора.

Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Результаты опыта.

Таблица 1

Суммарная продолжительность адсорбции τ , мин	0	5	10						
Яркость окраски раствора J									

3. График зависимости яркости окраски (светлоты) J раствора от продолжительности процесса адсорбции τ .
4. Выводы.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

Цель работы

1. Ознакомиться с процессом псевдооживления сыпучего материала.
2. Определить основные гидродинамические характеристики и построить кривую псевдооживления исследуемого сыпучего материала.

Применяемые материалы и приспособления: сыпучий пищевой материал (макаронные изделия - 100 г), лабораторная установка (вентилятор, аэрокамера, труба Вентури), микроманометр, весы, мерный цилиндр (10 мл), термометр, штангенциркуль, вода (10 мл).

Основные теоретические положения

Широкое применение в промышленности нашли процессы взаимодействия газов и жидкостей с твердыми зернистыми материалами, когда твердые частицы приобретают подвижность за счет обмена энергией со взвешивающим потоком. Такое состояние зернистого материала получило название «псевдооживленный слой» из-за внешнего сходства с поведением обычной капельной жидкости: псевдооживленный слой принимает форму вмещающего его аппарата, поверхность псевдооживленного слоя (без учета всплесков) – горизонтальная. Одновременно обнаруживаются и другие свойства, аналогичные свойствам жидкости, – текучесть и поверхностное натяжение. Тела, имеющие меньшую плотность, чем псевдооживленный слой, всплывают в нем, а большую – тонут.

Широкое внедрение процесса псевдооживления в промышленную практику обусловлено рядом его преимуществ. Так, твердый зернистый материал можно перемещать по трубам в любом направлении (а не только вниз). Становится возможным заменить многие периодические процессы непрерывными. Особенно выгодно применять псевдооживленный слой для тепломассообменных процессов, скорость которых определяется термическим или диффузионным сопротивлением в газовой фазе. Эти сопротивления в условиях псевдооживления уменьшаются в десятки, а иногда в сотни раз, а скорость процессов соответственно увеличивается. Благодаря интенсивному перемешиванию твердых частиц, в псевдооживленном слое практически выравнивается поле температур, устраняется возможность значительных локальных перегревов и связанных с этим нарушений в ходе ряда технологических процессов.

Наряду с достоинствами, псевдооживленному слою свойственны и некоторые недостатки. Так, вызванное интенсивным перемешиванием твердых частиц выравнивание температур и концентраций в слое приводит к уменьшению движущей силы процесса. Возможность проскока значительного количества газа без достаточного контакта с твердым зернистым материалом также снижает вы-

ход целевого продукта. Отрицательным следует считать износ самих твердых частиц, эррозию аппаратуры, возникновение значительных зарядов статического электричества, необходимость установки мощных газоочистительных устройств.

Гидродинамическая сущность процесса псевдооживления заключается в следующем. Если через слой зернистого материала, расположенного на поддерживающей перфорированной решетке аппарата, проходит поток псевдооживляющего газа, то состояние слоя зернистого материала оказывается разным в зависимости от скорости потока (рис. 4).

При плавном увеличении скорости потока от нуля до некоторого первого критического значения происходит обычный процесс фильтрования, при котором твердые частицы неподвижны. На графике зависимости перепада статического давления в слое зернистого материала от скорости фильтрации псевдооживляющего агента процессу фильтрования соответствует восходящая ветвь ОА (рис. 5 а). В случае малых размеров частиц и невысоких скоростей фильтрации псевдооживляющего агента режим движения последнего в слое материала ламинарный, а ветвь ОА прямолинейна. В слое крупных частиц при достаточно высоких скоростях псевдооживляющего агента перепад давления может расти нелинейно с увеличением скорости (переходный и турбулентный режимы).

Переход от режима фильтрования к состоянию псевдооживления соответствует на кривой псевдооживления критической скорости псевдооживляющего агента $v_{кр}$, называемой критической скоростью начала псевдооживления (точка А на рис. 5 а).

В момент начала псевдооживления вес зернистого материала G , приходящийся на единицу площади F поперечного сечения канала аппарата, уравновешивается гидростатическим давлением агента:

$$\Delta p_c = G/F, \quad (1)$$

где Δp_c - перепад статического давления в слое зернистого материала.

С учетом архимедовых сил, действующих на частицы слоя, перепад статического давления можно представить в виде:

$$\Delta p_c = (\rho_{ч} - \rho_{в}) g (1 - \epsilon_0) h_0, \quad (2)$$

где $\rho_{ч}$ - плотность твердых частиц;

$\rho_{в}$ - плотность псевдооживляющего агента (воздуха);

ϵ_0 - порозность неподвижного слоя;

h_0 - высота неподвижного слоя.

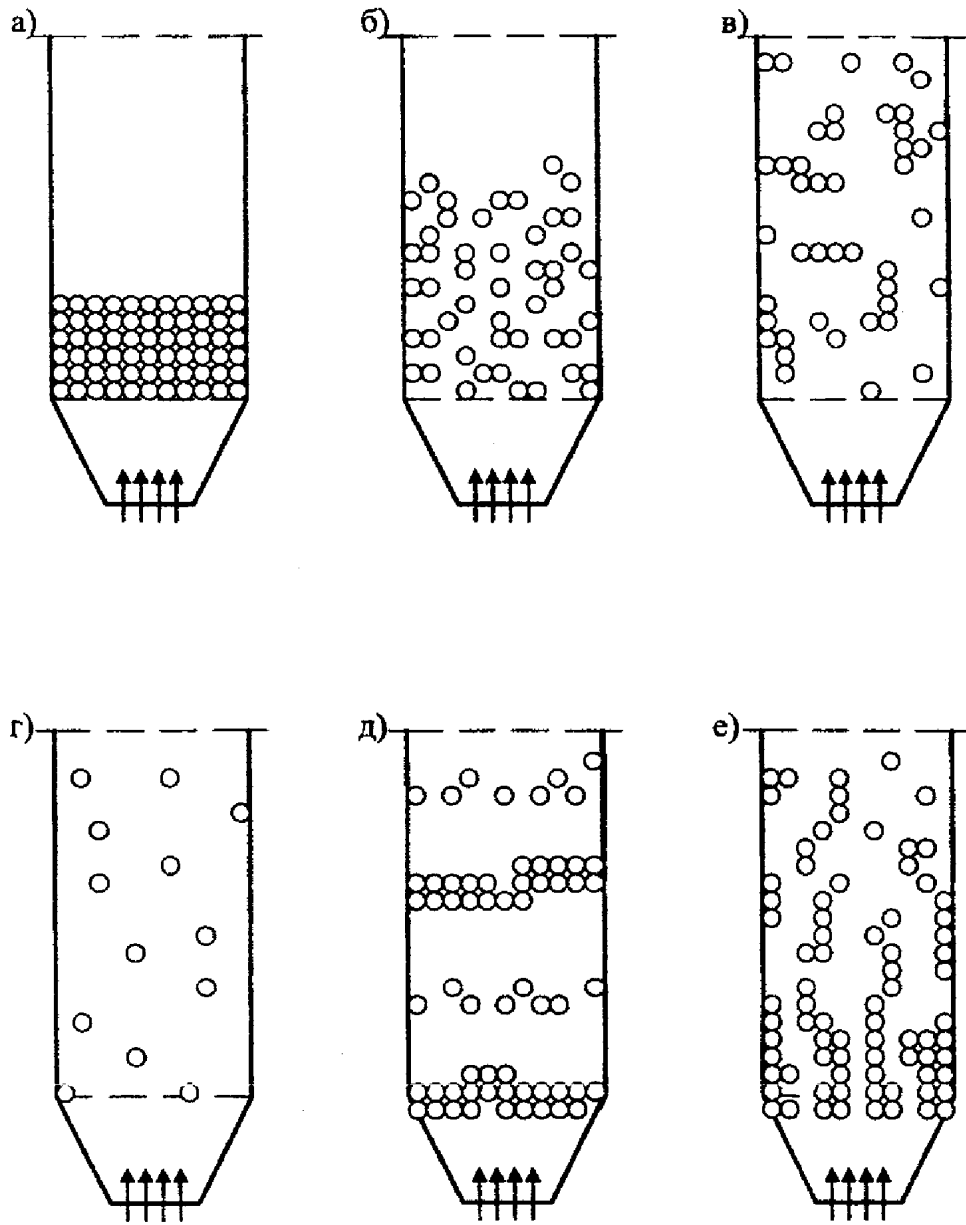


Рис. 4

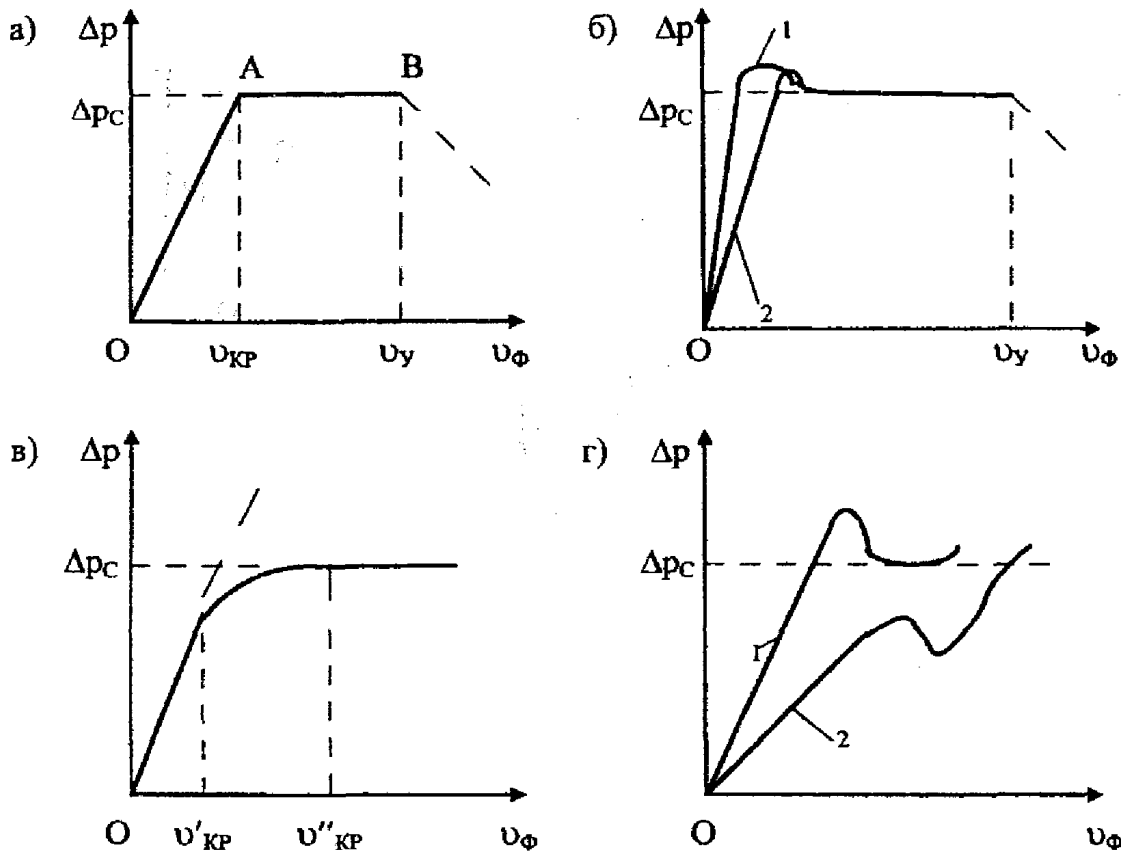


Рис. 5

Порозность неподвижного слоя представляет собой относительный объем пустот в нем:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_ч}, \quad (3)$$

где V_0 , ρ_0 — соответственно объем неподвижного слоя и его плотность (средняя: включает и пустоты между частицами материала);

V — суммарный объем частиц.

Начиная с критической скорости начала псевдооживления $v_{кр}$ и выше, сопротивление слоя сохраняет практически постоянное значение, а зависимость $\Delta p_c = f(v_\phi)$ выражается прямой АВ, параллельной оси абсцисс (рис. 5 а). Это

объясняется тем, что с ростом скорости псевдоожигающего агента контакт между частицами уменьшается и они получают большую возможность хаотического перемещения по всем направлениям. При этом возрастает среднее расстояние (просветы) между частицами, т.е. увеличивается порозность слоя ϵ и, следовательно, его высота h .

В зависимости от свойств псевдоожигающего потока и его скорости можно наблюдать несколько стадий процесса псевдоожигания. При скорости псевдоожигающего агента, незначительно превышающей $v_{кр}$, наблюдается однородное («спокойное») псевдоожигание (рис. 4 б). По мере роста скорости псевдоожигающего газа в слое возникают компактные массы газа («пузыри», «каверны»), интенсивно турбулизирующие твердые частицы и образующие всплески зернистого материала на поверхности. При этом наблюдаются значительные пульсации статического и динамического напоров псевдоожигающего агента. Такой характер гидродинамики слоя называется неоднородным псевдоожиганием (рис. 4 в). Наконец, при достижении второго критического значения скорости, называемой скоростью уноса v_y , твердые частицы начинают уноситься из слоя (рис. 4 г) и их количество в аппарате уменьшается. Порозность такого слоя стремится к единице, а сопротивление слоя падает.

Явление массового уноса твердых частиц потоком газа называется *пневмотранспортом* и используется в промышленности для перемещения сыпучих материалов. При этом скорость потока газа больше или равна скорости уноса v_y .

Изображенная на рис. 5 а кривая ОАВ называется кривой идеального псевдоожигания. Получаемая на практике кривая псевдоожигания (рис. 5 б) отличается от идеальной кривой. Крутизна восходящей ветви реальной кривой псевдоожигания определяется плотностью первоначальной упаковки (засыпки) твердых частиц. При более плотной упаковке сопротивление слоя несколько выше и восходящая ветвь идет круче (кривая 1), при более рыхлой – полого (кривая 2). В момент перехода слоя в псевдоожиганное состояние наблюдается пик давления, обусловленный необходимостью затраты дополнительной энергии на преодоление сил сцепления. Величина пика давления определяется плотностью первоначальной упаковки частиц, их формой и состоянием их поверхности.

Для полидисперсных материалов, как правило, наблюдается переходный диапазон скоростей между режимами фильтрования и псевдоожигания (рис. 5 в). Сначала при некоторой скорости $v'_{кр}$ приходят в движение более мелкие частицы. По мере приближения к скорости $v''_{кр}$ все большая доля частиц переходит во взвешенное состояние и наступает полное псевдоожигание.

В реальных условиях поведение слоя во многом зависит и от конструктивных особенностей аппаратов. Так, в аппаратах с большим отношением h/D (т. е. в узких и высоких аппаратах) пузыри газа, сливаясь по мере подъема, могут образовывать сплошные газовые «пробки», перемещающиеся движущимися «поршнями» псевдооживленного зернистого материала (рис. 4 д). Сопротивление слоя при этом начинает превышать расчетную величину Δp_c (кривая 1 на рис. 5 г).

Напротив, при малых отношениях h/D и больших скоростях псевдооживляющего агента в аппаратах с перфорированными газораспределительными решетками могут возникать сквозные каналы, по которым устремляется основная часть газового потока – слой с каналобразованием (рис. 4 е). При этом в зернистом материале образуются застойные зоны и общее сопротивление слоя оказывается меньше его веса, т. е. меньше расчетной величины (кривая 2 на рис. 5 г).

При проведении расчетов процесса псевдооживления частицы материала представляются в виде идеальных шаров. Критическая скорость начала псевдооживления может быть определена по формуле Лева:

$$v_{кр} = \frac{0,00935 \cdot d_3^{1,82}}{v^{0,88}} \left(\frac{\rho_{ч} - \rho_B}{\rho_B} \right)^{0,94}, \quad (4)$$

где d_3 – эквивалентный диаметр частиц, м;

v – кинематический коэффициент вязкости воздуха, m^2/c (определяют по табл. 2 в зависимости от температуре воздуха);

$\rho_{ч}$ – плотность твердых частиц, kg/m^3 ;

ρ_B – плотность воздуха, kg/m^3 (определяют по табл. 2 в зависимости от температуры воздуха).

При этом эквивалентный диаметр частиц определяется так:

$$d_3 = \Phi d_ч, \quad (5)$$

где $d_ч$ – диаметр шара, объем которого равен объему частицы материала;

Φ – фактор формы частицы.

Фактор формы частицы учитывает отличие формы реальных частиц материала от сферической и определяется экспериментально. Приближенно его величину можно оценить как отношение площади поверхности шара, объем которого равен объему частицы, к площади поверхности частицы материала S :

$$\Phi = \pi d_ч^2 / S. \quad (6)$$

Например, для куба $\Phi=0,806$; для диска, высота которого в 5 раз меньше диаметра, $\Phi=0,32$.

Таблица 2

Свойства воздуха при нормальном давлении (760 мм рт. ст.)

Температура, °С	Плотность ρ_v , кг/м ³	Коэффициент кинематической вязкости ν , м ² /с
0	1,293	$13,28 \cdot 10^{-6}$
10	1,247	$14,16 \cdot 10^{-6}$
20	1,205	$15,06 \cdot 10^{-6}$
30	1,165	$16,00 \cdot 10^{-6}$
40	1,128	$16,96 \cdot 10^{-6}$
50	1,093	$17,95 \cdot 10^{-6}$
60	1,060	$18,97 \cdot 10^{-6}$
70	1,029	$20,02 \cdot 10^{-6}$
80	1,000	$21,09 \cdot 10^{-6}$
90	0,972	$22,10 \cdot 10^{-6}$
100	0,946	$23,13 \cdot 10^{-6}$
120	0,898	$25,45 \cdot 10^{-6}$
140	0,854	$27,80 \cdot 10^{-6}$

Схема установки для выполнения работы приведена на рис. 6. Установка содержит центробежный вентилятор 1 с заслонкой 2, конфузор 3, воздуховод 4, аэрокамеру 5, трубу Вентури 6. Аэрокамера выполнена прозрачной и закрыта сетками 7 и 8. На сетке 7 помещается слой сыпучего материала. Сетка 8 служит для предотвращения уноса частиц из аэрокамеры.

Определение аэродинамического сопротивления слоя исследуемого материала и скорости движения воздуха в установке производится с помощью микроманометра. В первом случае микроманометр необходимо подключить к патрубкам 9 и 10, во втором - к патрубкам 10 и 11.

Порядок проведения работы

1. Определить характеристики частиц сыпучего материала: плотность, фактор формы, эквивалентный диаметр частиц.

Для этого при помощи штангенциркуля измерить размеры частицы материала и вычислить площадь ее поверхности S .

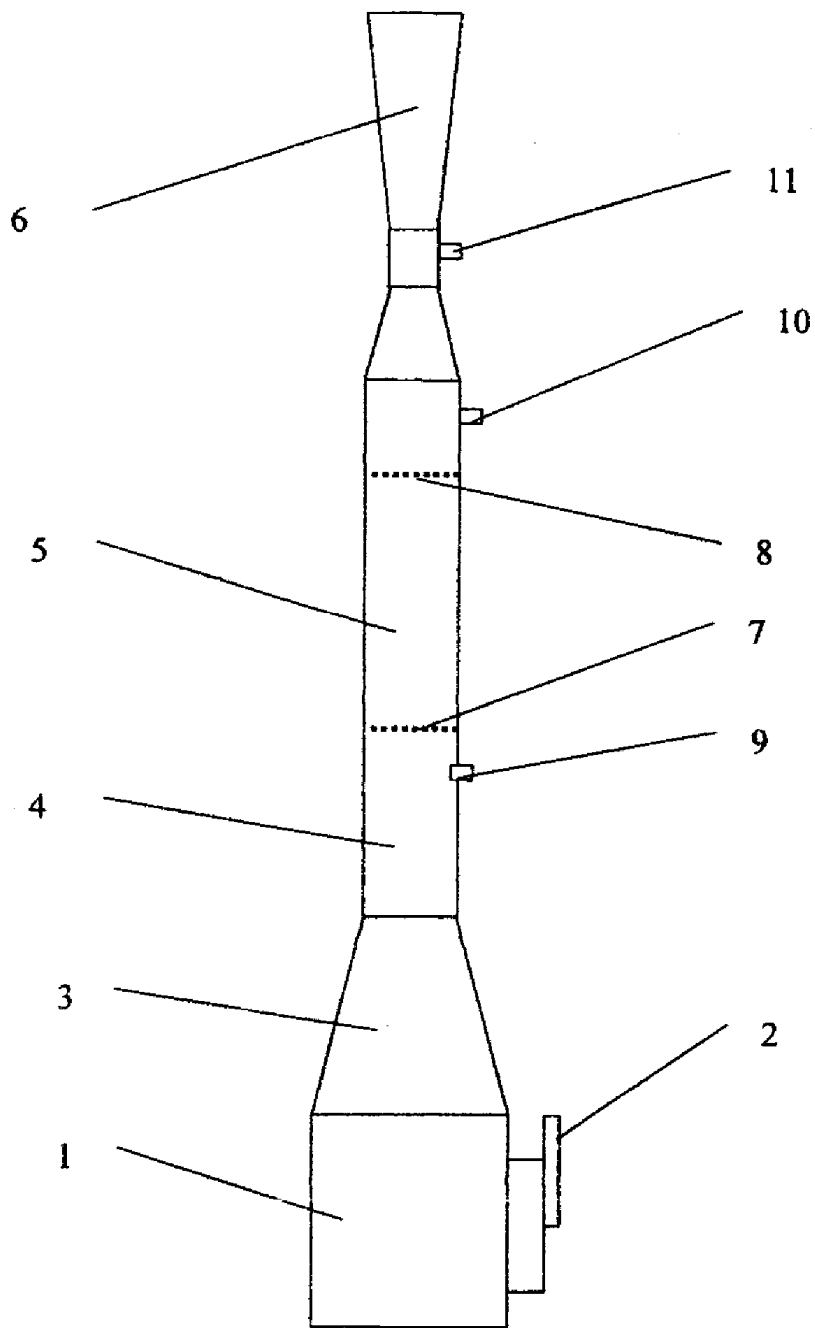


Рис. 6

При помощи весов определить массу частицы материала $m_{\text{ч}}$. (Для большей точности рекомендуется взять несколько десятков частиц и установить усредненную массу частицы.)

Взять мерный цилиндр и налить в него воду до уровня $V_{\text{Н}} = 7...8 \text{ см}^3$. Погрузить в воду $n=2...3$ частицы материала и вновь измерить уровень воды в мерном цилиндре $V_{\text{К}}$. Вычислить объем частицы материала:

$$V_{\text{ч}} = (V_{\text{К}} - V_{\text{Н}}) / n. \quad (7)$$

Вычислить плотность частиц:

$$\rho_{\text{ч}} = m_{\text{ч}} / V_{\text{ч}}. \quad (8)$$

Определить средний диаметр частиц как диаметр шара, объем которого равен объему частицы:

$$d_{\text{ч}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{ч}}}{\pi}}. \quad (9)$$

2. Опытным путем определить кривую псевдооживления исследуемого материала. Для этого установить по уровням горизонтальность микроманометра и выставить на нуль столб жидкости (использовать шкалу $K=0,2$). Затем на лабораторной установке, загруженной исследуемым материалом, полностью закрыть заслонку и включить вентилятор.

Присоединить трубки микроманометра к патрубкам 9-10 аэрокамеры. Приоткрывая заслонку, установить перепад давления $\Delta_{\text{С}}$ в аэрокамере на отметке 10 или 15. (Показания записать в табл. 4.) Не меняя положения заслонки, снять трубку с патрубка 9 и подключить ее к патрубку 10, а трубку, ранее присоединенную к патрубку 10, присоединить к патрубку 11. Замерить перепад давления $\Delta_{\text{в}}$ в трубе Вентури и записать показания в табл. 4.

Вновь присоединить трубки к патрубкам 9 и 10 (на прежние места) и, приоткрывая заслонку, увеличить перепад давления $\Delta_{\text{С}}$ в аэрокамере на 10 или 15 делений. Далее продолжить измерения в указанном выше порядке вплоть до полного открытия заслонки.

3. Выгрузить исследуемый материал из аэрокамеры и повторить опыт по пункту 2 для определения аэродинамической характеристики самой установки.

Для экономии времени можно воспользоваться следующими результатами:

Таблица 3

Аэродинамическая характеристика установки

Аэродинамическое сопротивление Δp_c , Па	Скорость воздуха в аэрокамере u , м/с
8	2,08
30	5,12
50	6,85
70	8,43
76	8,91

4. По полученным показаниям микроманометра вычислить сопротивление аэрокамеры Δp_c (в Паскалях) и скорость движения воздуха u (в м/с) и изобразить на графике полученные зависимости. Для исключения влияния аэродинамического сопротивления трубы на кривую псевдооживления материала построить третью зависимость как разность первых двух.

5. Определить по формуле Лева критическую скорость псевдооживления исследуемого материала и указать ее величину на графике.

6. По экспериментально найденной величине критической скорости псевдооживления определить из формулы Лева эквивалентный диаметр частиц исследуемого материала и фактор формы.

Контрольные вопросы

1. Какое состояние сыпучего материала называют псевдооживленным? Почему его так называют, каковы свойства материала в псевдооживленном состоянии?
2. Каковы преимущества проведения процессов пищевых производств в условиях псевдооживления материала?
3. Назовите недостатки процесса псевдооживления материала.
4. Каковы различия в поведении сыпучего материала при режимах фильтрации и псевдооживления? Чем определяется граница между этими режимами?
5. Какие стадии процесса псевдооживления существуют и чем они отличаются?
6. Как влияет полидисперсность материала и форма аппарата на процесс псевдооживления?
7. Какое явление называют пневмотранспортом? Где оно используется?

8. Как изменяется аэродинамическое сопротивление слоя сыпучего материала с увеличением скорости фильтрации?
9. Что такое порозность сыпучего материала, что она характеризует?
10. Что называется эквивалентным диаметром частицы при расчетах процесса псевдооживления?
11. Что называют фактором формы частицы? Как его можно приближенно оценить?

Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Схема установки (рис. 6).
3. Эскиз, размеры и площадь поверхности частиц исследуемого материала.
Например, для частицы трубчатой формы с наружным диаметром D , диаметром отверстия d_o и длиной L площадь поверхности можно вычислить так:

$$S = \pi DL + \pi d_o L + 2\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d_o^2}{4}\right).$$

4. Характеристики сыпучего материала:

наименование – _____ ;
 масса частицы материала $m_{ч} =$ _____ ;
 начальный объем воды в мерном цилиндре $V_H =$ _____ ;
 конечный объем воды в мерном цилиндре $V_K =$ _____ ;
 число частиц материала в мерном цилиндре $n =$ _____ ;
 объем частицы материала $V_{ч} = (V_K - V_H) / n =$ _____ ;

плотность частиц $\rho_{ч} = m_{ч} / V_{ч} =$ _____ ;

диаметр частиц $d_{ч} = \sqrt[3]{\frac{6V_{ч}}{\pi}} =$ _____ ;

фактор формы частицы $\Phi = \frac{\pi d_{ч}^2}{S} =$ _____ ;

эквивалентный диаметр частиц $d_3 = \Phi d_{ч} =$ _____ ;
 температура воздуха $t =$ _____ .

5. Результаты опыта.

Таблица 4

Результаты опыта

№ опыта	Аэродинамическое сопротивление камеры		Скорость воздуха в аэрокамере	
	Δ_c (в делениях микроманометра)	$\Delta p_c = \Delta_c \cdot K \cdot g$, Па	Δ_v (в делениях микроманометра)	$v = 0,4\sqrt{\Delta_v \cdot K \cdot g}$, м/с

6. График зависимости $\Delta p_c = f(v)$ для:

- 1) аэрокамеры с исследуемым сыпучим материалом;
- 2) аэрокамеры без сыпучего материала;
- 3) слоя сыпучего материала (строится как разность первых двух кривых).

7. Полученная по графикам опытная величина критической скорости начала псевдооживления $v_{кр.оп} = \underline{\hspace{2cm}}$.

8. Расчетная критическая скорость начала псевдооживления (по формуле Лева):

$$v_{кр} = \frac{0,00935 \cdot d_3^{1,82} (\rho_ч - \rho_B)^{0,94}}{v^{0,88} \rho_B} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

9. Полученный по результатам опыта эквивалентный диаметр частиц материала:

$$d_{3,оп} = \frac{v_{кр.оп}^{0,540} v^{0,484}}{0,07675 (\rho_ч - \rho_B)^{0,516}} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

10. Полученная по результатам опыта величина фактора формы частицы:

$$\Phi_{оп} = \frac{d_{3,оп}}{d_ч} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

11. Процент расхождения опытных и теоретических величин:

1) критической скорости начала псевдооживления:

$$\delta_v = \frac{U_{кр} - U_{кр\text{ оп}}}{U_{кр\text{ оп}}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} ;$$

2) фактора формы частицы:

$$\delta_\phi = \frac{\Phi - \Phi_{оп}}{\Phi_{оп}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} .$$

Список литературы

1. Большая медицинская энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. Б.В.Петровский.- М.: Советская Энциклопедия, 1979.
2. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов.- Л.: Химия, 1979.- 720 с.
3. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии.- М.: Колос, 2000.- С. 171...180.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.- М.: Химия, 1973.- 752 с.
5. Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 240 с.
6. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам пищевых производств/ А.С.Гинзбург, С.М.Гребенюк, Н.С.Михеева и др.- М.: Агропромиздат, 1990.- С. 194...204.
7. Стахеев И.В. Пособие по курсовому проектированию процессов и аппаратов пищевых производств.- Минск: Высшейш. школа, 1975.- 288 с.

Сергей Геннадьевич Тютрин

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ
Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по процессам и аппаратам пищевых производств
для студентов направления (специальности)
260600 (260601)

Редактор Н.А. Леготина

Подписано к печати 17.02.06 Формат 60*84 1/16

Заказ 49 Усл. печ.л. 1,5

Печать трафаретная Тираж 40

Бумага тип. №1

Уч. изд. л. 1,5

Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета.

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет.