

Основными разделами данного методического пособия являются следующие разделы:

- 1) исследование полупроводникового диода;
- 2) исследование полупроводникового стабилитрона;
- 3) исследование однофазного однополупериодного выпрямителя;
- 4) исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя;
- 5) исследование однофазного мостового выпрямителя;
- 6) исследование однофазных выпрямителей со сглаживающими фильтрами;
- 7) исследование трехфазных однополупериодных выпрямителей;
- 8) исследование трехфазных двухполупериодных выпрямителей;
- 9) исследование биполярных транзисторов;
- 10) исследование полевых транзисторов.
- 11) исследование транзисторного усилителя переменного тока;
- 12) исследование компаратора на операционном усилителе;
- 13) исследование суммирующего операционного усилителя;
- 14) исследование дифференцирующего операционного усилителя;
- 15) исследование интегрирующего операционного усилителя;
- 16) исследование транзисторного RC-генератора;
- 17) исследование логических элементов;
- 18) исследование дешифраторов;
- 19) исследование мультиплексоров;
- 20) исследование RS-триггеров;
- 21) исследование D-триггеров;
- 22) исследование JK-триггеров;
- 23) исследование статического регистра на RS-триггерах;
- 24) исследование сдвиговых регистров;
- 25) исследование триггерных счетчиков.

Каждая из частей указаний состоит из целевой установки выполнения работы, перечня оборудования, используемого при проведении эксперимента, кратких теоретических сведений, из описания порядка проведения и изложения результатов соответствующего эксперимента.

Законченная работа, по нашему мнению, может послужить более глубокому и полному изучению теории устройств электроники, что, в свою очередь, обусловит достижение более высоких результатов в области энерго- и ресурсосбережения в машиностроении и электроэнергетике.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОКИПЯЩЕГО СЛОЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВНЕШНЕГО МАССООБМЕНА (МАССООТДАЧИ) В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

*Горбунова А.М.
УрФУ, anessa.86@mail.ru*

В теплотехнологии широко встречаются процессы, сопровождающиеся испарением с поверхности раздела в окружающую среду [1], которые значи-

тельно интенсифицируются, если в качестве таковой выступает подвижная дисперсная среда в виде псевдооживленного [2] или виброкипящего слоя [3]. Однако данные по внешнему массообмену в псевдооживленном слое ограничены, а в виброкипящем слое, по-видимому, отсутствуют.

Ниже на примере сублимации тел, выполненных из нафталина, получены экспериментальные данные по коэффициентам массоотдачи β в виброкипящем слое инертного мелкозернистого материала.

Опыты проводились в вертикальном аппарате квадратного поперечного сечения размерами 100×100 мм и высотой 120 мм, который жестко крепился к столу вибростенда. Параметры вертикально направленной вибрации составляли: частота $f = 35 \div 55$ Гц, амплитуда $A = 0,4 \div 1,4$ мм. При этом относительное ускорение вибрации $K = A(2\pi f)^2/g$ не превышало 15. Сыпучим материалом служил электрокорунд узких фракций с размером частиц $d_T = 0,12, 0,25, 0,4, 0,63$ и $1,25$ мм. Высота слоя составляла $H_0 = 60$ мм.

Коэффициент массоотдачи β определялся для тел сферической формы диаметром $12 \div 15$ мм и рассчитывался по известному уравнению массоотдачи (аналогу уравнения Ньютона-Рихмана), записанному через парциальные давления паров нафталина на поверхности тела, занимающего фиксированное положение в слое, и вдали от поверхности. Последнее вследствие интенсивной самовентиляции в виброкипящем слое [3] принималось равное нулю. Для интенсификации процесса осуществлялся подогрев слоя до 60°C .

Некоторые типичные экспериментальные данные приведены на рис. 1-3 при размещении тела в середине слоя со среднеквадратичной погрешностью $\pm 8\%$, которые позволяют выяснить влияние на внешний массообмен параметров вибрации и размера частиц сыпучего материала.

Из рис. 1 видно, что с ростом амплитуды вибрации при прочих равных условиях коэффициенты β монотонно возрастают, что объясняется аналогичным изменением величины пульсации скорости газовых потоков, которые в свою очередь связаны с пульсациями давления газовой среды в виброкипящем слое [4]. В этом случае на малоинтенсивный процесс диффузии накладывается конвективный перенос массы. Вместе с тем, можно видеть и некоторую особенность. Она заключается в том, что, хотя с ростом размера частиц слоя (кривые 1-3) пульсации скорости снижаются [4], коэффициенты β , соответствующие большему размеру частиц, оказываются выше. Для объяснения этого явления привлекается механизм, связанный с понятием присоединенной массы (см. рис. 3).

С изменением частоты вибрации характер зависимости коэффициентов β оказывается более сложным (рис. 2). Известно [5], что в этом случае при конкретной высоте слоя возможно наступление резонанса, при котором все процессы, протекающие в виброкипящем слое, в том числе и массоотдача, становятся высокоинтенсивными.

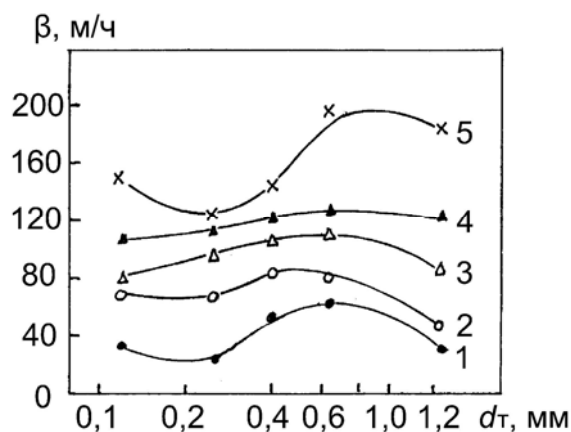


Рис. 1. Зависимость коэффициента β от амплитуды вибрации A , $f = 40$ Гц: 1 – $d_T = 0,12$ мм; 2 – 0,4; 3 – 0,63

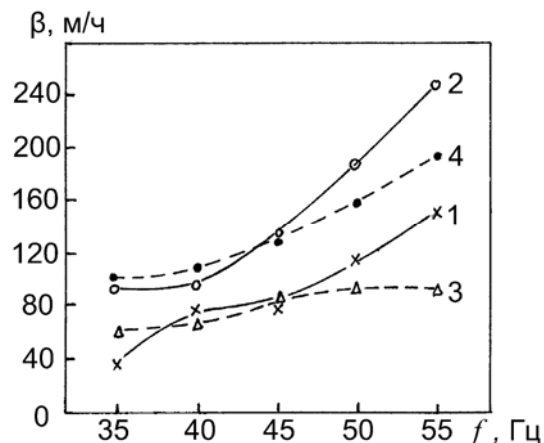


Рис. 2. Зависимость коэффициента β от частоты вибрации f , $d_T = 0,12$ мм: 1 – $A = 0,6$ мм; 2 – 1,0; $d_T = 0,25$ мм: 3 – $A = 0,6$ мм; 4 – 1,0

При высоте слоя $H_0 = 60$ мм, принятой в настоящих исследованиях, резонансная частота меньше 35 Гц, в связи с чем результаты в данных исследованиях получены при зарезонансных режимах. Именно поэтому на рис. 2 при частоте $f < 45$ Гц коэффициенты β изменяются незначительно. Однако при $f > 45$ Гц наблюдается увеличение коэффициентов β , что свидетельствует о приближении к состоянию, соответствующему второму резонансу в виброкипящем слое. Особенно существенно он проявляется для мелких частиц (кривые 1, 2), а также и более крупных, но при достаточно больших амплитудах вибрации (кривая 4). В обоих случаях (рис. 1 и 2) увеличение коэффициентов β связано с аналогичным изменением пульсаций газовой среды и обусловленных ими пульсаций скорости газовых потоков.

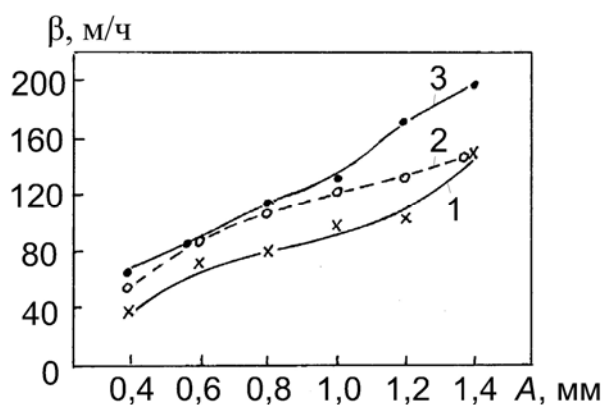


Рис. 3. Зависимость коэффициента β от размера частиц d_T , $f = 40$ Гц: 1 – $A = 0,4$ мм; 2 – 0,6; 3 – 0,8; 4 – 1,0; 5 – 1,4.

О влиянии размера частиц на коэффициент массоотдачи можно судить по данным, представленным на рис. 3, откуда видно, что при условиях опытов и $d_T \approx 0,25$ мм практически на всем исследованном диапазоне амплитуд наблюдается заметный минимум, затем следует увеличение коэффициента массоотдачи β до максимума при $d_T \approx 0,63$ мм с последующим снижением его при $d_T = 1,25$ мм.

Для объяснения полученных результатов недостаточно представлений о пульсационном характере газовых потоков в виброкипящем слое, так как с ростом размера частиц интенсивность их резко снижается [4]. Необходимо привлечь другие представления, и, в частности, как одного из возможных вариантов, понятие о присоединенной массе [6, с. 317], как массе газа, обладающей той же кинетической энергией, что и газ, приведенный в движение перемещением тела (в данном случае частиц материала). Для частиц слоя, считая их сферическими, присоединенная масса пропорциональна кубу их диаметра. Поэтому с ростом размера частиц, с одной стороны, уменьшаются пульсации газовых потоков [4], а с другой – увеличивается присоединенная масса газа. При сближении их с поверхностью тела происходит дополнительная турбулизация среды вблизи тела не только частицами, но и кинетической энергией присоединенной массы, что, как можно видеть на рис. 3, не только компенсирует снижение конвективной составляющей массообмена для частиц $d_T = 0,25 \div 0,63$ мм, но и приводит к увеличению массоотдачи в целом.

Библиографический список

1. Шервуд Т. Массопередача. Пер. с англ. /Т. Шервуд, Р. Пигфорд, Ч. Уилки. М.: Химия, 1982. 696 с.
2. Псевдоожигение /Под ред. В.Г. Айнштейна и А.П. Баскакова. М.: Химия, 1991. 400 с.
3. Членов В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. М.: Наука, 1972. 326 с.
4. Сапожников Б.Г. Исследование скорости газовой среды в виброкипящем слое и ее влияние на внешний теплообмен / Б.Г. Сапожников, Ю.О. Зеленкова, Е.Г. Решетников, Г.Б. Сапожников, Н.П. Ширяева. Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах (25-29 октября 2010 г., Москва). Т. 5. Двухфазные течения. Дисперсные потоки и пористые среды. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 214-217.
5. Колпаков А.С. Использование резонансных явлений для виброразрыхления мелкодисперсных отходов АЭС /А.С. Колпаков, А.Ф. Рыжков, Б.А. Путрик. Теплофизика ядерных энергетических установок: Межвузовский сборник. Свердловск: УПИ, 1983. Вып. 2. С. 81-87.
6. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. М.: Машиностроение, 1978. 463 с.