ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию и автореферат Горбуновой Анастасии Михайловны «Внешний массообмен в виброкипящем слое инертного материала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Виброкипящий слой наряду с псевдоожиженным широко применяется для осуществления различных процессов тепло- и массообмена между газообразными и твердыми средами. Но если теплообмен в виброкипящем слое изучен достаточно хорошо, то по массообмену сведения ограничены.

В качестве **объекта исследования** диссертант выбрал процессы внешнего массообмена в виброкипящем слое инертного материала. **Актуальность** диссертационной работы определяется необходимостью получения дополнительных данных для расширения физических представлений о таком сложном процессе, как внешний массообмен в виброкипящем слое, и критериальных зависимостей для расчета многих технологических процессов массообмена, протекающих при граничных условиях 3-го рода.

Для экспериментального исследования в качестве модельного использовался процесс сублимации тел, выполненных из нафталина. Для количественной характеристики процесса был использован коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности концентраций диффундирующего вещества.

Рецензируемая работа состоит из введения, четырех глав, заключения, условных обозначений, списка используемой литературы из 137 наименований на 138 страницах и приложений на 71 странице. Текст диссертации содержит 49 рисунков и 9 таблиц в основной части и 22 рисунка и 26 таблиц в приложении.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная и практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации дан подробный анализ научно-технической литературы по внешнему массообмену в псевдоожиженном и теплообмену в

виброкипящем слоях с конкретными выводами и постановкой задач исследования.

Ввиду обширности темы основное внимание было обращено на процессы внешнего массообмена тел небольших размеров (шары со средним диаметром 14 и 24 мм, цилиндры диаметром 14 мм и длиной 20÷30 мм). При этом, как и в случае теплообмена, учитывались дополнительные особенности для свободно плавающих тел и тел, занимающих фиксированное положение в слое, а также неравномерность протекающих процессов массообмена по высоте слоя.

Во второй и третьей главах приводятся результаты экспериментального исследования внешнего массообмена для тел, как при их свободной загрузке, так и занимающих фиксированное положение в виброкипящем слое. Использовалась разработанная диссертантом установка и известная из литературы методика определения коэффициента массоотдачи, основанная на уравнении массоотдачи, аналогичном уравнению Ньютона-Рихмана для теплоотдачи. В эксперименте применялись тела, выполненные из нафталина. Получены новые данные о влиянии на внешний массообмен амплитуды и частоты вибрации, среднего диаметра частиц дисперсного материала, его физических свойств, размеров испытуемых тел и высоты слоя. При этом установлено, что коэффициенты массоотдачи β лежали в пределах 20÷110 м/ч для свободно плавающих тел и 30÷200 м/ч – для тел, занимающих фиксированное положение в слое. Это свидетельствует о высокой интенсивности внешнего массообмена в такой системе. Отмечается монотонное увеличение коэффициентов массоотдачи с ростом параметров вибрации и сложный характер влияния диаметра частиц, размера модельных тел и высоты слоя. Для объяснения полученных результатов привлекаются сведения об изменении состояния виброкипящего слоя (от подвижного или циркулирующего к взвешенному и фонтанирующему), особенностях обтекания тел дисперсной средой и дополнительном механизме, обусловленном относительным движением частиц средне- и крупнозернистых материалов в непрерывной среде.

Анализ полученных результатов и сравнение с данными по внешнему массообмену в псевдоожиженном и по внешнему теплообмену в виброкипящем слое выполнен диссертантом на большом фактическом материале: 127 опытов

для свободно плавающих тел и 419 – для тел, занимающих фиксированное положение в слое. В частности, при сравнении с внешним теплообменом в виброкипящем слое установлено, что влияние параметров вибрации аналогично в обоих случаях. Однако, в отличие от теплообмена, для которого с увеличением диаметра частиц наблюдается монотонное уменьшение коэффициентов теплоотдачи, характер изменения коэффициентов массоотдачи более сложный и зависит от размеров тела и высоты слоя. При этом большую роль играет механизм переноса массы, связанный с относительным движением частиц средне- и крупнозернистых материалов в непрерывной среде, и увлекающих дополнительные порции газа, обогащенные парами диффундирующего вещества, который ввиду малой объемной теплоемкости газовой среды не влияет на теплоотдачу. Результаты по внешнему массообмену для тел, занимающих фиксированное положение в слое, обобщены эмпирическим уравнением, полученным с использованием теории подобия.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования локальных коэффициентов массоотдачи по высоте виброкипящего слоя. В качестве модельного использовался процесс испарения (сублимации) от вертикального цилиндрического образца, набранного из 10-ти одинаковых нафталиновых таблеток с исходным средним диаметром 14 мм и высотой 10 мм каждая. Эти данные необходимы, так как качество химико-термической обработки тел в виброкипящем слое, сопровождающейся массообменом, зависит и от равномерности протекания такого процесса по обрабатываемой поверхности.

Анализируя полученные данные, диссертант отмечает существенную неравномерность коэффициентов массоотдачи по высоте слоя, возрастающую с увеличением амплитуды вибрации, а также сравнительно высокие значения этих коэффициентов в верхней и вариации их в средней части слоя. Диссертант показывает, что влияние амплитуды и диаметра частиц для локальных коэффициентов массоотдачи полностью согласуется с таковым влиянием в предыдущих исследованиях.

Достоверность полученных в диссертации результатов определяется надежностью применяемых методик исследования, хорошей повторяемостью

опытных данных, непротиворечивостью известным закономерностям. Все выводы диссертации имеют строгое научное обоснование.

Научная новизна диссертации состоит в том, что диссертантом получен большой экспериментальный материал, позволивший впервые проанализировать влияние различных факторов на внешний массообмен в виброкипящем слое, таких как амплитуда колебаний, их частота, характерный размер частиц. Указанные результаты получены как для свободно плавающих тел, так и для тел, занимающих фиксированное положение в виброкипящем слое. Полученные автором диссертации данные позволили также выяснить характер распределения локальных коэффициентов массоотдачи по высоте слоя.

В частности установлено, что с ростом амплитуды вибрации коэффициенты массоотдачи монотонно возрастают, при этом интенсивность массоотдачи выше для фиксированных тел.

Обнаружен сложный немонотонный характер изменения коэффициентов массоотдачи с ростом диаметра частиц, который определяется размером испытуемых тел и высотой виброкипящего слоя.

Получены новые данные по локальным коэффициентам массоотдачи для вертикального образца погруженного в виброкипящий слой, показывающие его существенную неравномерность по высоте с достижением наибольших значений в верхней части слоя.

Экспериментально установлено, что аналогия между процессами массообмена и теплообмена в виброкипящем слое неполная, и показано, что одной из причин этого является механизм относительного движения частиц и их групп для средне- и крупнозернистых материалов в непрерывном слое.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что полученные результаты по массообмену в виброкипящем слое могут быть использованы при разработке инженерных методик для расчета технологических процессов, сопровождающихся массоотдачей, и в частности, при окислительной перекристаллизации отработавшего топлива АЭС при выборе оптимальных режимных параметров (частоты и амплитуды вибрации, высоты слоя) и конструктивных размеров горизонтального виброаппарата лоткового типа. Практическая ценность результатов подтверждается справкой об использовании

результатов работы Свердловским научно-исследовательским институтом химического машиностроения.

Основные результаты диссертации опубликованы в 25 научных работах, из них 4 в реферируемых изданиях из перечня ВАК. Кроме того, они широко обсуждались на 18 научных конференциях разного уровня. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Текст диссертации написан ясно, четко, аккуратно оформлен, приведенный графический материал достаточно полно иллюстрирует изложение.

Несмотря на общее хорошее впечатление о представленной работе, по ее содержанию имеется ряд **замечаний** и вопросов.

1. На стр. 55 диссертации в формуле (2.1) и соответственно на стр. 10 автореферата в формуле (2) неверно указана размерность коэффициента массоотдачи: она указана в кг/ч, а должна быть в м/ч. Кроме того размерность времени следовало бы указать в секундах.

2. На стр. 60 диссертации неверно указана размерность коэффициента β: «….достигая величин порядка 110 $м^2$/ч.» вместо 110 м/ч.

3. При экспериментальном определении коэффициента массоотдачи принимается, что парциальное давление паров нафталина вдали от поверхности тела вследствие интенсивной самовентиляции в виброкипящем слое равно нулю. Это утверждение не достаточно обосновано в тексте диссертации.

4. В диссертации указано, что температура в слое поддерживалась при помощи нагревателя (лампы накаливания) в пределах 60±1°С. Не ясно, как измерялась температура в слое и насколько она была равномерна по высоте.

5. Использование только двух типоразмеров модельных тел несколько ограничивает применимость результатов, полученных в диссертации.

Приведенные замечания не затрагивают существа основных положений, выводов и рекомендаций диссертации.

Заключение.

Диссертация Горбуновой Анастасии Михайловны «Внешний массообмен

в виброкипящем слое инертного материала» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача экспериментального исследования внешнего массообмена в виброкипящем слое инертного материала.

Работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Горбунова Анастасия Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Теплообменные процессы
и установки» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
Почтовый адрес:111250 г. Москва,
ул. Красноказарменная, д. 14
e-mail: gab874@yandex.ru,
тел.: (495) 362-71-49

Гаряев Андрей
Борисович

10.03.2016 г.

Подпись А.Б. Гаряева удостоверяю
заместитель начальника
управления по работе
с персоналом
10.03.2016г.

Е.Ю. Баранова