

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Камело Амайя Арнолда Фигерара «Совершенствование режимов работы и аппаратного оформления аппаратов с циркуляционным кипящим слоем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 –Процессы и аппараты химических технологий

Актуальность темы диссертации

Представленная диссертационная работа связана с исследованием аппаратов с циркуляционным кипящим слоем (ЦКС), а также с совершенствованием режимов их работы. Автор ставит задачу разработки адекватной математической модели и метода расчета формирования массопотоков дисперсной фазы, на которых можно построить технологический расчет аппаратов данного типа. Эта задача является достаточно трудной для решения, поскольку сам кипящий слой представляет собой сложную физико-химическую систему, которая к настоящему времени недостаточно изучена и труднодоступна для моделирования. Особенно сложным для моделирования представляется процесс, реализуемый в аппаратах с ЦКС, в которых наличие контура циркуляции формирует сложную систему с обратной связью, характеристики которой могут значительно влиять на процесс в самом кипящем слое. Поэтому обращение автора именно к такой задаче - моделирования процессов в циркуляционном кипящем слое (ЦКС), экспериментальной проверки моделей, а также поиска путей совершенствования этих процессов и оборудования позволяет оценить тему диссертации как **актуальную**.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и результатов по работе, списка использованных источников из 137 наименований и приложения.

Изложению полученных результатов предшествует достаточно основательный обзор современного состояния проблемы моделирования и расчета процессов в кипящем слое и ЦКС, причем обзор отталкивается от описания действующих схем и конструкций оборудования (**Глава 1**).

Подчеркнуто, что, несмотря на многообразие подобных исследований, единого мнения о влиянии циркуляции на процессы в кипящем слое нет. Автор, на наш взгляд, обоснованно выбирает для моделирования процесса в самом кипящем слое подход, основанный на теории цепей Маркова, развитый и апробированный в работах его научного руководителя и сочетающий хорошую адекватность описания процесса с его доступностью в инженерной практике. Свою задачу автор видит в том, чтобы связать выход и вход материала в форсированный кипящий слой через характеристики контура циркуляции возврата. В этой части обзор основателен и четко позиционирует поставленную задачу среди других.

К недостаткам обзора можно отнести то, что не уделено внимания обзору современного оборудования реализующего сходные цели, например, процессам измельчения в замкнутом цикле и другим.

В главе 2 разрабатывается модель ЦКС периодического действия, приводятся результаты ее численного исследования и экспериментальной проверки. Процесс преобразования дисперсного материала в кипящем слое описан исходя из его представления бинарной смесью сырья и готового продукта, что является достаточно упрощенным представлением, но качественно вполне приемлемым с точки зрения решения задачи исследования. Для описания движения материала в контуре возврата принята модель идеального вытеснения, причем считается, что оба компонента смеси движутся с одинаковой скоростью. Таким образом, контур возврата представлен только временем задержки между выходом материала из слоя и подачей его в нижнюю зону слоя. При общем анализе процесса преобразования сырья в готовый продукт используется достаточно абстрактное уравнение кинетики (2.3), напоминающее уравнение кинетики реакции первого порядка, которое в практическом приложении к процессу сушки заменяется обычными уравнениями тепломассообмена. На наш взгляд, основной результат теоретической части главы отражает рис.2.3, где показано влияние скорости оживающего газа на условную производительность ЦКС при различных временах задержки. Из него следует, что длительное время задержки может привести к потере преимуществ ЦКС перед обычным кипящим слоем. Необходимость снижать время задержки – прямая рекомендация к проектированию зоны

циркуляции. Экспериментальное исследование выполнено на лабораторном стенде ЦКС на примере процесса сушки модельного материала (чечевицы). Сравнение расчетной и опытной кинетики сушки показало хорошие прогностические возможности. Здесь же экспериментально показано преимущество ЦКС перед обычным кипящим слоем. Определенный интерес вызывает описанная в конце главы модель циркуляции одиночной частицы в ЦКС. Она вряд ли может иметь прогностическую ценность, но служит более глубокому пониманию процесса.

В главе 3 разработанная модель обобщается на ЦКС непрерывного действия. Здесь появляется еще один параметр – эффективность конечного классификатора. Основное внимание уделено устойчивости функционирования ЦКС и его производительности. Устойчивость ассоциируется с переполнением материалом нижней зоны аппарата, куда одновременно подается поток сырья и поток возврата. Модель позволяет рассчитывать распределение по высоте слоя содержания фракций сырья, готового продукта и их суммы, которая и определяет загрузку аппарата материалом. Довольно остроумной является идея подавать возврат не в нижнюю зону слоя, а в некоторое промежуточное сечение аппарата, где содержание материала меньше. Для ее подтверждения выполнены убедительные численные эксперименты, показавшие существование оптимального по высоте слоя подвода возврата и степень повышения производительности аппарата при неизменном качестве готового продукта. Это отражено на рис.3.4. Предложена новая конструкция аппарата с ЦКС, реализующая этот подход и позволяющая эмпирическую корректировку оптимального положения подвода возврата.

В главе 4 приводятся сведения о практической реализации результатов работы. Сначала дано описание пилотной установки сушки флексы при переработки в ЦКС полимерсодержащих твердых бытовых отходов в МУП «Спецавтотранс» г. Череповца. Одновременно подробно описан ее расчет на основе разработанной модели и зарегистрированной программы для ЭВМ. Выполненные эксперименты показали хорошее соответствие расчетных прогнозов опытным данным. К сожалению, не описано, какой достигается технический и экономический эффект от ее вне-

дрения и за счет чего это происходит. Далее приведено описание новой конструкции аппарата с ЦКС с оптимальным позиционированием потока возврата, защищенной патентом на полезную модель.

Таким образом, по содержанию диссертация является завершенным исследованием, имеющим перспективы дальнейшего развития. Ее разделы объединены внутренним логическим единством, диссертация написана хорошим научным языком, оформлена грамотно и аккуратно. Число опечаток и погрешностей оформления незначительно.

Новизна, достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертации

К наиболее важным новым научным результатам следует отнести:

- разработку математической модели кинетики переработки дисперсных материалов в циркуляционном кипящем слое периодического действия. Ее достоверность и обоснованность вытекает из физической непротиворечивости получаемых с ее помощью результатов, строгом соблюдении основных балансовых соотношений, а также из качественного и количественного совпадения с экспериментальными данными автора. Вместе с тем, нельзя не отметить, что достоверность расчетных прогнозов существенно зависит от достоверности определения входящих в модель параметров;
- результаты экспериментального исследования сушки модельного материала в специально разработанной и созданной лабораторной установке с циркуляционным кипящим слоем, где также оценены преимущества ЦКС перед обычным кипящим слоем по производительности;
- разработку математической модели кинетики переработки дисперсных материалов в циркуляционном кипящем слое непрерывного действия и решение с ее помощью задачи об оптимальном позиционировании подвода возврата из концевого классификатора. Демонстрация того, что эффективность концевого классификатора оказывает существенное влияние на производительность аппарата с ЦКС и качество готового продукта.

Наиболее важные результаты, относящиеся к практике циркуляционного псевдооживления, следующие:

- разработка компьютерного инженерного метода расчета процессов переработки дисперсных материалов в ЦКС, сопровождаемого зарегистрированной программой для ЭВМ;
- разработка новых конструкций аппаратов с кипящим слоем, защищенных патентами на полезные модели;
- использование результатов работы в научных исследованиях сторонними организациями и промышленной практике.

Замечания по диссертации

1. Несмотря на то, что название работы полностью отражает её содержание, автору, на наш взгляд, не удалось избежать здесь повтора (аппаратурного, аппаратов).
2. Во всей работе среда в аппарате представлена бинарной смесью сырья и готового продукта. Однако сырье достигает «готовности» постепенно, проходя промежуточные стадии, внутри которых свойства частиц также непрерывно меняются. Каково обоснование игнорирования этого факта, и какие последствия могут быть при его учете?
3. В уравнениях (2.27)-(2.29) коэффициент пропорциональности β вряд ли будет иметь одинаковое числовое значение. Однако он обозначен одинаковым символом.
4. Предполагается, что в непрерывном процессе концевой классификатор делит бинарную смесь по некоторому абстрактному свойству. Всегда ли это можно осуществить в реальном классификаторе, который очевидно считается аэродинамическим.
5. На стр.65 написано, что уравнение (2.34) учитывает продольные и поперечные переходы. Какие поперечные переходы могут быть в одномерной модели?
6. На стр.67 уравнения (2.42) и (2.43) записаны в одинаковой форме, видимо, на основании тройной аналогии, но обоснования этому не приведено.
7. В предоставленном мне экземпляре диссертации в приложении отсутствует копия акта внедрения, хотя в тексте о нем упоминается.

Заключение по диссертации

Направление исследования отвечает паспорту специальности 05.17.08. «Процессы и аппараты химических технологий». Работа выполнена в соответствии со следующими пунктами паспорта специальности ВАК: *в части формулы специальности* – «..., содержание которой базируется на физических и химических явлениях (перенос энергии и массы, химические превращения, катализ, физико-химические воздействия на перерабатываемые материалы и т.п.)...», «...научная дисциплина ориентирована на совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, использование особенностей нестационарных режимов с позиции экологической безопасности и надежности химических процессов и производств...»; *в части области исследования специальности* – «Фундаментальные разработки в изучении явлений переноса энергии и массы в технологических аппаратах.»; «Способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещения сыпучих материалов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах, исследования массообменных процессов и аппаратов. Методы изучения химических процессов и аппаратов, совмещенных процессов. Приемы, способы и методология изучения нестационарных режимов протекания процессов в химической аппаратуре».

Анализ диссертационной работы Камело Амайя Арнолда Фигерара позволяет заключить, что она является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная и технологическая задача моделирования, расчета и совершенствования процессов переработки дисперсных материалов в циркуляционном кипящем слое, имеющая существенное значение для развития химической и смежных отраслей промышленности.

Материалы диссертации нашли отражение в 14-ти опубликованных работах, в том числе, в 7-и статьях в ведущих рецензируемых изданиях (по списку ВАК), из числа которых 3 издания индексируются в Web of Science (Core Collection) и Scopus; получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 патента на полезную модель.

Публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Автореферат полностью соответствует структуре и содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным требованиями п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а её автор, Камело Амайя Арнолд Фигерар, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры «Теоретическая механика
и сопротивление материалов»
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный
технический университет»,
доктор технических наук (05.17.08),
доцент



Таршис Михаил Юльевич

«27» апреля 2020 г.

Контактные данные:

Почтовый адрес: 150023 Ярославль, Московский пр., д. 88, ЯрГТУ

Тел. 8 905 131 19 10

Телефон: +7(4952) 47-76-24,

e-mail: mutarshis@yahoo.com

Подпись Таршиса М.Ю. удостоверяю.

И. о. ректора ФГБОУ ВО «Ярославский
государственный технический
университет», к.э.н.



Степанова Елена Олеговна

«24» апреля 2020 г.