

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Юрьева Юрия Леонидовича

на диссертацию **Богатковой Анастасии Викторовны**, выполненной на тему «Совершенствование контактных устройств на основе двухфазных вращающихся потоков в технологиях переработки растительного сырья», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины

На рассмотрение представлена диссертация и автореферат. Диссертация изложена на 119 страницах машинописного текста, состоит из введения, 7 глав, 2 приложений, библиографического списка (123 источника), включает 7 таблиц и 70 рисунков.

Автореферат и публикации автора Богатковой А. В. отражают основное содержание диссертации.

Актуальность темы диссертационного исследования

Одним из путей повышения эффективности производства является совершенствование оборудования за счет интенсификации тепло- и массообменных процессов, протекающих в них.

В установках при переработки растительного сырья широко используются контактные устройства (завихрители) обеспечивающие вращательно поступательное движение потоков. Которые установлены в испарителях, скрубберах и сепараторах, на тарелках ректификационных колонн, выпарных аппаратах, вакуум охлаждающих установках, градильнях, камерах сгорания, центробежно-вихревых деаэраторах, фракционаторах. Увеличение их энергоэффективности и производительности, а также уменьшение габаритов и металлоемкости возможно за счет совершенствования контактных устройств, что и осуществлено в диссертационной работе. На примере бражной тарелки, предназначенной для исчерпывания этанола из бражки, полученной на основе гидролизата древесины, а также разработанной установки с вихревым физическим коагулятором для улавливания мелочи размолотой целлюлозы и макулатуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья».

Для совершенствования установок были обобщены известные данные по расчету основных параметров вращающегося потока, которые затем дополнены экспериментальными данными и результатами численного моделирования, что позволило создать основы расчета параметров вращающегося газожидкостного потока и апробировать их на новых конструкциях.

Считаю, что исследование Богатковой Анастасии Викторовны представляет интерес для инженерной и научной практики, а диссертационная работа является актуальной.

Научная новизна исследований и полученных результатов

– Установлены зависимости, позволяющие определять режимы работы контактных ступеней, газосодержание вращающегося потока, гидравлическое сопротивление, угловую скорость вращения среды, межфазную поверхность, величину коэффициента массоотдачи и эффективность.

– На основе экспериментальных данных и численного моделирования получена зависимость для расчета коэффициента гидравлического сопротивления тангенциальных завихрителей, учитывающая влияние на потери напора ширины, длины, высоты и профиля стенок канала.

– Определены профили скорости жидкости и газа, а также структура газо-жидкостного слоя на тарелке с фиксированным клапаном, клапанно-вихревым и вихревым устройствами.

– Представлены данные по кинетике осаждения мелочи в суспензии размолотой целлюлозы.

Научная новизна соответствует заявленной теме исследования.

Практическая значимость диссертационного исследования

Разработаны и запатентованы конструкции тангенциальных завихрителей с профилированными и кольцевыми стенками каналов, перепад давления которых при пропускании потока газа, соответственно, в 1,8 и 3 раза ниже в сравнении известными тангенциальными устройствами. Получены патенты Российской Федерации на конструкции контактных устройств.

Разработанная тарелка, для бражной колонны, позволяет за счет равномерного распределения струй пара в жидкости устранить флуктуацию газо-жидкостной среды на полотне тарелки, увеличить диссипацию энергии пара в жидкость, равномерно распределить пузырьки газа и обеспечить их циркуляцию в слое жидкости на тарелке. Это позволило увеличить нагрузки по пару и жидкости, межфазную поверхность до 1200 м^2 , величину коэффициент массоотдачи до $(0,5-0,8) \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ и эффективность 0,7-0,95.

Проведенные исследования выявили сходимость результатов численного моделирования и экспериментов, что позволяет использовать на практике численный метод расчета при выявленных граничных условиях.

Предложенный способ осаждения хлопьев мелочи, полученные данные по скорости осаждения хлопьев мелочи размолотой целлюлозы и макулатуры позволили разработать установку для улавливания мелочи в производстве.

Практическая значимость соответствует заявленной теме исследования.

Степень обоснованности научных положений

Научные положения, выносимые на защиту, обоснованы и раскрыты в тексте диссертации и апробированы на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях.

Анализ работы

В первой главе диссертационной работы рассмотрены известные типы устройств (завихрители), предназначенные для создания вращательного

движения газа, а также конструкции контактных устройств и ступеней. Сделан вывод, что наибольший интерес для осуществления вращательного движения потока представляют тангенциальные завихрители, которые обеспечивают интенсивное вращение при сравнительно простом конструктивном исполнении.

Проанализированы известные расчетные зависимости для определения угловой скорости газо-жидкостного слоя, скорости газа в каналах завихрителя (критическая скорость), газосодержания, коэффициента сопротивления и массоотдачи. Проанализировано влияние мелочи размолотой целлюлозы на производственные процессы переработки целлюлозы. Сделан выбор использования процесса физической коагуляции при улавливании мелочи целлюлозы путем пропускания суспензии через пористые перегородки.

Рассмотрены используемые в промышленности тарелки на примере исчерпывающей бражной ректификационной колонны. Сделан вывод, что использование вихревых контактных устройств на тарелке позволит исключить застойные зоны и увеличить эффективность. На основании проведенного анализа поставлены задачи исследования.

Во второй главе представлены методики обработки экспериментальных данных, конструкции исследованных завихрителей и их параметры, схема экспериментальной установки для определения гидравлического сопротивления и проведения массообмена. Показана методология численного моделирования в программе Comsol Multiphysics, как для изучения параметров однофазного потока газа в каналах завихрителя, так и двухфазного потока (модель пузырькового течения) на тарелке.

Кроме модельных сред в работе исследовалась суспензия мелочи размолотой в воде целлюлозы, полученной из лиственной, а также из хвойной размолотой сульфатной целлюлозы со степенью помола до 70 °ШР и концентрацией волокна до 20%. Представлены образцы размолотой волокнистой массы. Фотографирование волокнистой массы и мелочи осуществлялось на цифровом микроскопе Hitachi SU 3500. Установлено различие в структуре волокон хвойной и лиственной массы, наполненной мелочью. Для определения состава мелочи в суспензии, полученной из размолотой фракции целлюлозы, был использован анализатор волокна MorFi Neo. Характерные параметры мелочи в размолотой массе целлюлозы, согласно показаниям анализатора, представлены в таблице и графическом виде. Концентрации мелочи в суспензии определялась при помощи колориметра КФК-2* с использованием тарировочной кривой.

В третьей главе представлены экспериментальные данные гидродинамики и массообмена, полученные на гидродинамическом стенде при использовании различных типов завихрителей. Получена эмпирическая зависимость для определения газосодержания во вращающемся газо-жидкостном потоке. Установлено, что наибольшая величина газосодержания достигается в барботажно-кольцевом режиме, который рекомендуется применять при разработке вихревой тарелки бражной колонны. Представлена зависимость

величины угловой скорости вращающегося газо-жидкостного потока от расхода газа и конструктивных параметров ступени. Определены значения высота вращающегося слоя на поверхности цилиндрической вставки необходимые для конструирования тарелок и вихревого физического коагулятора.

Представлен размер газовых пузырьков в газо-жидкостном слое и показано их изменение в зависимости от режима течения на тарелке. Это позволило рассчитать величину межфазной поверхности на ступени и представить ее изменение в зависимости от диссипации энергии газа. На примере абсорбции исследована массоотдача в жидкости на контактной ступени. Получена зависимость для расчета объемного коэффициента массоотдачи в зависимости от диссипации энергии и межфазной поверхности.

В четвертой главе представлены экспериментальные данные гидравлического сопротивления завихрителей различного типа, а также приведены результаты численного расчета сопротивления, профили скорости и давления в каналах устройств. Достигнута сходимость данных численного расчета и эксперимента. Установлено влияние на сопротивление завихрителя числа каналов, их длина, ширины и высоты, угла наклона стенки канала, числа Рейнольдса. На основе этого получена обобщающая зависимость для расчета коэффициента гидравлического сопротивления тангенциальных завихрителей с прямыми, профилированными и кольцевыми стенками каналов.

Дан анализ полученных полей скорости и давления. Установлено, что наибольший вклад в общее сопротивление завихрителя дают потери на входе в канал. Наименьшее сопротивление достигается у разработанного завихрителя с кольцевыми каналами, что обусловлено характерными условиями входа газа в каналы и наличием одной обтекающей кромки.

В пятой главе приведены результаты численного моделирования гидродинамики на контактной ступени с неподвижным клапаном, клапанно-вихревым и вихревыми устройствами, а также представлены данные экспериментальных исследований амплитуды колебания среды, газосодержания. На основании расчетных и экспериментальных данных изучена структура потоков на ступени. Предложен механизм формирования газосодержания по высоте слоя жидкости, которые были в дальнейшем использованы при расчете промышленной тарелки с вихревыми контактными устройствами.

В шестой главе определена средняя длина мелочи бленой сульфатной целлюлозы, которая составила 38 мкм и степень полимеризации – 604 – 547,8. Из мелочи получена микроцеллюлоза со степенью полимеризации 106. Проанализирована структура мелочи, прошедшая через поры физического коагулятора. Изучено влияние концентрации мелочи в суспензии на скорость осаждения и на величину хлопьев. Установлено, что укрупнение хлопьев до 5 мм происходит при концентрации мелочи в суспензии 0,13 – 0,3 г/л. Определены значения технологических параметров ведения процесса отстаивания.

В седьмой главе представлена компоновка тарелки бражной колонны производительностью по питанию 80 м³/ч, расчетные параметры завихрителей с двухсторонними кольцевыми каналами. Приведены сравнительные показатели

колонны с колпачковыми и вихревыми контактными устройствами, из которых следует очевидное преимущество вихревой колонны.

Разработана схема установки для улавливания мелочи с использованием вихревого коагулятора, а также экспериментальные данные гидродинамики вихревого коагулятора.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Представленные разработки контактных устройств и ступеней рекомендуется использовать на предприятиях химико-лесного комплекса

Полученные данные будут востребованы для расчета профиля скорости, давления и газосодержания по высоте слоя жидкости на тарелке.

Замечания и вопросы по работе

1. Почему в схеме улавливания мелочи предлагается использовать отстойники периодического действия?

2. В физическом коагуляторе вращательное движение суспензии на пористой поверхности осуществляется дисковой мешалкой, следовало бы представить удельные энергозатраты.

3. Не объяснено за счет чего скорость осаждения хлопьев изменяется по высоте зоны отстаивания?

4. Чем обусловлено различие в структуре потоков на тарелке с барботажными и вихревыми устройствами?

5. Благодаря чему удалось уменьшить конструктивные параметры тарелки с вихревыми устройствами бражной колонны?

6. Не представлены рекомендации по применению разработанных тангенциальных завихрителей.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить, что диссертация «Совершенствование контактных устройств на основе двухфазных вращающихся потоков в технологиях переработки растительного сырья» по содержанию и объему теоретических, лабораторных исследований является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения применительно к оборудованию используемого в технологиях переработки растительного сырья.

Опубликованные автором научные статьи соответствуют материалам, представленным в диссертации, и полностью отражают результаты исследований.

Приведенные замечания не снижают положительную оценку представленной на отзыв работы.

Диссертационная работа А. В. Богатковой соответствует паспорту специальности 05.21.03 – «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины»: «17. Оборудование,

машины, аппараты и системы автоматизации химической технологии биомассы дерева».

Считаю, что диссертационная работа по теме «Разработка колонн термической ректификации в технологиях переработки растительного сырья» соответствует профилю диссертационного совета Д 212.249.07 и требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (ред. от 11.09.2021), а её автор, Богаткова Анастасия Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Химической
технологии древесины,
биотехнологии и наноматериалов
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»

Юрий Леонидович Юрьев

М. П.

Рабочий адрес: 620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», кафедра «Химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов»
Рабочий телефон: 8 (343) 221-21-87
Адрес электронной почты: yuriev.yul@m.usfeu.ru

Подпись официального оппонента заверяю

