

Отзыв

официального оппонента Захарова Михаила Константиновича
на диссертацию Черепанова Аркадия Николаевича «Разработка ресурсосберегающих процессов и аппаратов производства синтетических моющих средств», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий»

Рассматриваемая диссертация объемом 455 страниц машинописного текста включает введение, 10 глав, список литературы и приложения, а также ее автореферат на 33 страницах.

Актуальность любой работы, связанной с разработкой ресурсосберегающих процессов и аппаратов, не вызывает сомнений. В представленной работе успешно решен ряд поставленных задач, которые позволили усовершенствовать некоторые устройства и аппараты в производстве синтетических моющих средств (СМС). И это позволило уменьшить ресурс- и энергозатраты в производстве СМС.

Цель исследований – совершенствование процессов и аппаратов этого производства подтверждаются материалами всех 10 глав диссертации и везде с акцентами на сбережение энергетических, материальных и трудовых ресурсов.

Личный вклад соискателя подтверждается публикациями и патентами, выполненными единолично и в соавторстве.

Научная новизна заключается:

- в разработке физических и математических моделей тепловых процессов, сопровождающихся фазовым переходом – плавлением органических веществ с низкой теплопроводностью и увеличивающемся коэффициенте пропускания при фазовом переходе от твердого к жидкости (с просветляющейся жидкой фазой) под действием одновременно светового излучения и тепловой энергии;

- в разработке методик исследований и получении экспериментальных данных по светимости и тепловым характеристикам кварцевых трубчатых излучателей с галогенными лампами;

- в получении аналитических выражений для координатных функций, описывающих дистанционное поглощение мощности излучения источника твердой и жидкой фазой синтетических жирных кислот (СЖК) через плоский, кольцевой и сферический зазор;

- в разработке методики расчета скорости проплавления канала в СЖК погружаемым контактным нагревателем, позволяющим определять влияние температуры нагревателя, его давления на расплавляемую поверхность и начальной температуры СЖК на скорость процесса;

На основе экспериментальных и теоретических исследований разработаны новые способы и устройства расплавления СЖК внутренним и внешним облучением.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработанных методах расчета теплообмена с фазовыми переходами: органических веществ с просветляющейся жидкой фазой при подвижной границе раздела твердой и жидкой фаз, при комбинированном воздействии на твердую и жидкую фазу светового излучения и контактного нагрева.

Практическая значимость результатов исследования.

Проведенные Черепановым А.Н. исследования позволили разработать:

- высокоэффективный контактный нагреватель для плавления органических веществ;

- способ и устройство для плавления органических веществ с низкой теплопроводностью и увеличивающемся коэффициенте пропускания при фазовом переходе от твердого к жидкости, под действием одновременно светового излучения и тепловой энергии, обеспечивающие высокую энергоэффективность;

- компактный теплообменник для эффективной утилизации тепловой энергии паровоздушной смеси, удаляемой в атмосферу из распылительной сушилки;
- конструкции генераторов топочных газов, которые обеспечивают достижение низких уровней рабочих температур футеровки, надежность её работы, а также открывают широкие перспективы в плане повышения мощности газовой горелки при сохранении геометрических размеров топочной камеры;
- конструкцию аэролифта, позволяющую существенно снизить гидравлические потери и эксплуатационные затраты;
- конструкцию распылительной сушилки, обеспечивающую снижение гидравлических сопротивлений в подводящем тракте и сопловом аппарате подачи сушильного агента;
- ресурсосберегающую конструкцию распылительной сушилки на основе использования пористых структур.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждена 9-ю патентами и свидетельствами, а также 7-ю актами о реализации.

По теме диссертации опубликованы 44 печатные работы, в том числе 19 публикаций в журналах, входящих в Перечень ведущих изданий, рекомендованных ВАК. По теме диссертации получено 9 патентов и свидетельств.

Диссертация соответствует формуле специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» для технических наук, так как в ней приведены исследования по решению проблем совершенствования и создания эффективных технологических схем на основе использования современных машин и аппаратов. Изучены свойства и режимы функционирования действующих и вновь создаваемых химико-технологических систем, соответствующих различным стадиям процесса химического производства синтетических мощных средств.

Во введении приведен анализ современного состояния вопроса, обосновывается выбор направления исследования и актуальность диссертационной работы.

В первой главе дан обзор и систематизированы и сопоставлены методы нагрева и плавления синтетических жирных кислот (СЖК). Показана предельная скорость процесса нагрева СЖК контактным методом подвода тепловой энергии. Проведено экспериментальное исследование процесса плавления СЖК нагревателем с термостабилизированной поверхностью в гейзерном режиме.

Во второй главе получены спектральные характеристики пропускания слоев жидкой фазы, предложены новые конструкции контактных нагревателей, экспериментально проверена их эффективность. Показано, что спектр пропускания жидкой фазы СЖК наилучшим образом соответствует спектру излучения галогенных ламп непрерывного свечения с границами спектра 0,25÷3,5 мкм и с максимумом светимости при 0,8 мкм. Экспериментальное исследование пропускания СЖК для излучения галогенной лампы показало, что наилучшее описание зависимости интегрального коэффициента ослабления от толщины слоя можно описать простой зависимостью. Главный вывод, который делает автор - СЖК представляет собой достаточно удобный материал для нагрева и плавления методом облучения. Это обусловлено достаточно большой глубиной проникновения излучения сквозь толщу жидкой фазы и, вместе с тем, достаточно эффективным поглощением излучения даже относительно тонкими слоями жидкой фазы. Важнейшей характеристикой, определяющей скорость проплавления и конечную эффективность применения метода светового облучения для плавления СЖК, является интегральный коэффициент поглощения поверхностью твердой фазы именно в том спектральном диапазоне, который соответствует спектру излучения галогенной лампы. По полученным экспериментальным данным автор делает вывод, что спектральные и интегральные характеристики пропускания жидкой фазы СЖК и высокое интегральное

поглощение поверхности твердой фазы хорошо сочетаются, что обеспечивает предпосылки для эффективного и быстрого расплавления СЖК методом светового облучения.

В третьей главе представлены результаты исследований световых и тепловых характеристик излучателей из галогенных ламп. Показано, что информация о светимостях и выделяемых поверхностью излучателя тепловых потоках необходима для количественных расчетов достижимых скоростей плавления и для обоснованной оптимизации устройства для реализации способа облучения расплавляемого продукта. Автор делает вывод, что светимость излучателя с лампой накаливания 100 Вт практически на всех участках поверхности превышает светимость излучателя большего диаметра с лампой мощностью 250 Вт, т.е. светимость излучателя определяется не столько мощностью лампы, сколько площадью поверхности ПК. Возникает вопрос: нельзя ли еще уменьшить светимость излучателя с лампой накаливания (например, до 50 Вт) за счет увеличения поверхности прозрачного излучателя?

В четвертой главе представлены физическая и математическая модели процессов комбинированного воздействия на СЖК светового излучения и теплового потока. Разработан метод расчета процесса распространения границы раздела твердой и жидких фаз в направлении от источника светового и теплового потока для случаев различных конфигураций источника излучения. Автором представлено экспериментальное обоснование принятой физической и математической модели для расчета процесса расплавления СЖК световым излучением, основанное на адиабатичности процесса поглощения энергии твердой фазой СЖК. Это допущение, проверенное экспериментально, основано на низкой теплопроводности и температуропроводности СЖК.

Предложена методика вычисления скорости плавления. По результатам расчетов, делается вывод о том, что метод светового облучения может обеспечить скорости процесса на порядок выше, чем метод нагрева.

В пятой главе показано, что метод светового облучения погружаемым источником обеспечивает существенные преимущества по всем показателям по сравнению с методом расплавления погружаемым контактным нагревателем при почти той же потребляемой мощности.

В шестой главе описана практическая реализация метода светового облучения для расплавления СЖК в реальных крупногабаритных контейнерах. Экспериментальная проверка показала, что применение разработанного излучателя позволило проплавлять канал в 3 раза быстрее, чем необходимо для проплавления канала контактным нагревателем, а потребляемая энергия для проплавления канала снижена в 2,8 раза.

Седьмая глава посвящена решению проблемы повышенного расхода ресурсов при применении высокоэффективной вихревой горелки. Результаты выполненного теоретического исследования теплового состояния футеровки топочной камеры показывают высокую эффективность использования защитных газовых завес для снижения рабочей температуры футеровки. Также было выполнено экспериментальное исследование теплового состояния футеровки на реальной топочной камере, в условиях натурального эксперимента и сделаны вывод: использование газовой завесы позволяет существенно снизить рабочую температуру футеровки и тем самым обеспечить ее долговечность на всех режимах работы горелки.

На основании проведенных исследований автор предлагает перспективные схемы генератора топочных газов.

В восьмой главе предложена конструкция аэролифта, которая позволяет снизить потери на расширение примерно в 12 раз за счет правильного подбора угла раскрытия диффузора. Хорошее техническое решение.

В девятой главе проведен анализ газодинамических процессов, протекающих в распылительной сушилке (РС) и предлагается новая конструкция, позволяющая снизить гидравлические потери и налипание порошка.

В десятой главе проведен анализ возможностей рекуперации теплоты паровоздушной смеси после процесса сушки путем нагрева холодного воздуха.

Оценивая весь материал диссертации, представленный в рукописном варианте на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий, следует отметить следующее:

- наличие актов об использовании результатов работы Черепанова А.Н. как при реконструкции отдельных узлов и аппаратов производства СМС, так и в учебном процессе международной образовательной программы (совместно с Германией). Это свидетельствует о практической значимости этой работы и возможности использования некоторых материалов из этой работы;

- недостатками представленной диссертации являются:

- 1- необоснованно завышенный объем рукописи - 455 страниц,
- 2- чрезмерное использование цветных малоинформативных рисунков (например, 10.1.1 - :- 10.1.3; 10.3.2 и 10.3.4) вместо простых рисунков, способствующих пониманию протекающих в аппарате процессов,
- 3- отсутствие ссылок на приводимые в диссертации формулы,
- 4 – неаккуратная нумерация формул и рисунков,
- 5 - отсутствие во многих местах размерностей физических величин и анализа полученных результатов.

В качестве примера приведу формулы, приведенные на стр.372 (и не пронумерованные), выполненный по этим формулам расчет (в диссертации не приведен) и анализ этих результатов. Так, в классическом выводе Нуссельта толщина пленки конденсата зависит от разности температур пара и стенки, по которой стекает конденсат. Почему в диссертации вместо температуры стенки фигурирует точка росы? Это требует объяснения. Далее в диссертации на странице 373 помимо правильно найденной (по крайней мере, возможной) толщине пленки конденсата приведены значения коэффициента теплоотдачи при конденсации $2940 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ и удельного теплового потока $1,42 \text{ МВт}/\text{м}^2$. Отношение этих величин дает разность температур конденсирующегося пара и стенки, равную 483 К . Этого не может быть и противоречит тому, что написано в диссертации далее на странице 373 в качестве вывода. А вывод в диссертации свидетельствует о том, что термическим сопротивлением стадии теплоотдачи от конденсирующегося пара можно пренебречь. При этом, естественно, разность температур минимальна (в худшем случае всего несколько градусов).

Еще один пример некорректного применения непонятно откуда взятых зависимостей критерия Nu от Re : формула (10.1.11) на странице 343 и аналогичная ей на странице 404. Обе формулы применимы, по мнению соискателя, для турбулентного режима, но отличаются числами перед критерием Рейнольдса: $0,018$ и $0,032$. Результаты расчета по этим формулам отличаются почти в 2 раза! И как можно объяснить отсутствие в этих формулах критерия Прандтля?

Самой слабой главой диссертации, на мой взгляд, является 10 глава, в которой решался вопрос энергосбережения за счет рекуперации теплоты в распылительной сушилке. Отмечу, что из всех энергоемких процессов разделения сушка влажных материалов является наиболее энергозатратной: затраты теплоты на удаление 1 кг влаги в процессах сушки примерно в 2 раза превышают затраты теплоты при выпаривании растворов солей и при разделении жидких смесей методами перегонки. Если серьезно решать проблему энергосбережения при сушке, то

следует оптимизировать рабочие параметры ведения процесса таким образом, чтобы удельный расход теплоты был минимальным. А реальный процесс должен быть близок к идеальному. В данной работе рассмотрен простейший способ энергосбережения за счет рекуперации теплоты выходящей из сушилки парогазовой смеси с целью нагрева холодного воздуха. К сожалению, в этой части работы соискатель допустил грубейшие ошибки в расчете теплообменника. Чтобы пояснить, о чем идет речь, приведу фрагмент из рукописи с последующими моими комментариями.

Начинать усовершенствование системы с целью реализации задачи утилизации тепла необходимо с анализа собственных энергетических характеристик этой системы.

Первой исходной характеристикой является изменение энтальпии или потеря мощности при течении газа в трубе:

$$\Delta P_1 = CM(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \quad (10.1.1)$$

где, C - удельная теплоемкость парогазовой смеси [Дж/кг·К];

M - ее массовый расход [кг/с];

$t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ - соответственно температуры газа на выходе из трубы и на входе в нее.

Поскольку данных по ΔP и $t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ нет, придется провести оценку ΔP_1 по данным дальнейших расчетов.

Важнейшей характеристикой для всех расчетов служит мощность тепловой энергии газового потока:

$$P_0 = CM(t_f - t_c), \quad (10.1.2)$$

где, t_f - средняя температура газового потока,

t_c - температура окружающей среды.

Средняя температура потока обычно определяется как среднелогарифмическая, а в отдельных частных случаях как среднеарифметическая.

Формула (10.1.1) записана правильно (если не обращать внимание на то, что тепловой поток в теплотехнической литературе принято обозначать буквой Q) и отражает тепловой поток, отдаваемый горячим теплоносителем. Формула (10.1.2), в которой присутствует разность температур газового потока и окружающей среды могла бы отражать кинетику процесса теплопередачи. Но при этом нужно знать среднелогарифмическую разность температур, а вместо произведения CM должна быть пропускная способность стадии теплопередачи, то есть произведение коэффициента теплопередачи и поверхности теплообмена. В отличие от научно обоснованного расчета среднелогарифмической разности температур теплоносителей при прямотоке и противотоке использованный автором метод расчета среднелогарифмической температуры потока научно не обоснован. Физический смысл «мощности тепловой энергии газового потока», определяемой формулой 10.1.2 не ясен. Если речь идет о максимально возможной разности энтальпий при охлаждении газового потока до температуры окружающей среды, то в формуле 10.1.2 вместо средней должна быть максимальная температура газового потока при входе в аппарат.

Приведенное автором на странице 341 сравнение тепловых проводимостей стенки трубы в радиальном и осевом направлении не может украшать докторскую диссертацию. Очевидно, что термическое сопротивление в осевом направлении превышает радиальное в l/Δ раз, где l - длина трубы, Δ - толщина стенки. При этом площадь теплообмена уменьшается во столько же раз. Сделанный на основе этого сравнения вывод о возможности пренебречь перепадом температур по толщине стенки не логичен. Пренебречь перепадом температур по толщине стенки можно лишь в тех случаях, когда термические сопротивления других стадий теплопередачи значительно превосходят термическое сопротивление стенки трубы.

О каких проведенных оценках идет речь на стр. 342, которые позволили соискателю «...с уверенностью принять вторую модель... – постоянство теплового потока (в направлении течения потока газа), передаваемого газом стенке»? Ведь очевидно, что при изменении температуры газового потока изменяется и движущая сила процесса теплопередачи, и это приводит к непостоянству теплового потока вдоль трубы.

Сделанное автором на стр. 343 допущение о малом изменении температуры газа от входа к выходу противоречит постановке задачи об использовании теплоты парогазовой смеси. При этом без объяснений принимают температуру газовой смеси на входе равной средней температуре газового потока.

И, наконец, как можно понять на стр.346 принятие модели изотермичности потока (10.1.15): $t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} = t_f$. Ведь тогда и изменение энтальпии газового потока согласно формуле (10.1.1) и суммарный поток согласно нижней записи на стр.345 равны нулю. О какой рекуперации может идти речь?

В той же главе 10 проведена аппроксимация зависимости тепловой мощности фазового перехода, выделяемой при конденсации, (почему не сказать проще «удельная теплота конденсации») от температуры (формула 10.2.6) на всем рабочем температурном диапазоне. За мой полувековой период работы впервые увидел показатель степени, равный 18. Если бы был указан диапазон температур, то с большим интересом проверил бы применимость этой аппроксимации. Нами в расчетах с погрешностью до 0,1 % использовалась более простая аппроксимация в виде дроби с подобранными константами в числителе и в знаменателе, в последнем была и температура.

Автореферат диссертации в основном отражает содержание работы. Замечания по автореферату следующие:

- слишком большое доказательство актуальности работы.
- отсутствует список условных обозначений; расшифровка в тексте не всегда полная.
- во втором пункте научной новизны указана разработка «новых инженерных методов расчета тепловых процессов, сопровождающихся фазовым переходом – конденсацией пара в рекуперативном теплообменнике с изменяющейся по его длине температурой разделительной стенки...». Ни в автореферате, ни в диссертации не удалось найти такой разработки, которая бы учитывала изменение температур на обеих сторонах теплопередающей поверхности с учетом кинетики всех стадий теплопередачи и потоковых стадий подвода и отвода теплоты. Для справки упомяну статью Захарова М.К., Захаренко В.В. «Конденсация пара на охлаждаемых вертикальных поверхностях» в журнале Известия вузов. Химия и хим. технология. 1991, т.34, вып.4, С.107-111, в которой этот метод разработан.
- в равенствах (10) непонятно откуда появилось F_i и как был рассчитан коэффициент A .
- в формулах (16) и (17) не расшифрованы величины с верхней чертой. Можно лишь предположить, что они безразмерные.
- на странице 24 отмечено, что физическая картина теплообмена при наличии конденсации осложнена неравномерностью температуры по длине трубы. Насколько правомерно при этом использование осредненных значений температур в формулах (20) и (21)? Там же отмечено, что конденсация происходит при температуре стенки трубы. Это неверно, так как конденсация происходит на поверхности стекающей пленки, где температура выше температуры стенки. При их равенстве теплопереноса через пленку конденсата не будет.

Заключение

Несмотря на актуальность и высокую практическую значимость представленной работы, сделанные замечания и выявленные ошибки свидетельствуют о недостаточном уровне теоретических исследований и научной новизны, которая заключалась лишь в разработке методик исследований и расчетов, а также разработке новых способов и устройств. Поэтому представленная Черепановым А.Н. к защите диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук не соответствует требованиям пп. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г, предъявляемым к подобным работам, соискатель не заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА- Российский технологический университет»

Захаров Михаил Константинович

09.10.18г.

Первый проректор РТУ МИРЭА



Прокопов Николай Иванович

Почтовый адрес:

119571, г. Москва, пр-т Вернадского, д.86

Раб. тел.: +7 (495) 246-05-55 доб.8-54

Официальный сайт: <https://chemtech.mirea.ru/>

E-mail: mkzakharov@gmail.com

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии им. Н.И.Гельперина федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»,