

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации  
Гасанова Байрамали Мехрали оглы  
«Экспериментальное исследование механизмов кипения  
эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой»  
на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук по специальности  
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Проблема интенсификации работы теплообменных устройств по мере совершенствования технологических процессов становится все более острой. Одним из методов ее решения является использование в качестве теплоносителя жидкости, вскипающей на нагреваемой поверхности и уносящей тепло за счет поглощения скрытой теплоты фазового перехода. Однако при этом возможны разного рода кризисные явления, в результате которых теплообмен может ухудшаться вплоть до полного прекращения. Более перспективно использование гетерогенной жидкости (эмульсии) с низкокипящей дисперсной фазой. Идею о возможности ее применения впервые в 1997 г. высказали Б.Гасанов с сотрудниками. В дальнейшем они выявили ряд признаков, отличающих теплообмен с подобным гетерогенным теплоносителем от традиционных гомогенных. Эта идея вскоре была подхвачена группой M.L.Roesle, F.A.Kulacki и D.Janssen из университета Миннесоты и в дальнейшем разрабатывалась в этих коллективах параллельно, однако с сохранением лидирующей роли уральских теплофизиков.

В диссертации Б.Гасанова обобщены результаты экспериментального исследования механизмов кипения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой и, главное, влияния этого процесса на интенсивность теплообмена при ее кипении в условиях свободной конвекции и в вынужденном потоке в миниканале. Актуальность такого исследования представляется мне очевидной.

Для решения поставленной задачи диссертанту пришлось создать очень представительный набор экспериментальных установок, в том числе:

- установка для определения импульса давления, возникающего при взрывном вскипании капелек диспергированной жидкости;
- установка, позволяющая изучать явление цепной активации вскипания перегретых капелек эмульсии и определять условия, при которых такое явление возникает;
- установка для исследования теплообмена в эмульсиях при атмосферном давлении, в которой теплоотдающей поверхностью является тонкая платиновая проволока;
- установка для определения коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности трубы к теплоносителю;
- установка для исследования теплообмена в эмульсиях при давлениях выше атмосферного;

- 2 установки для синхронных измерений локальных характеристик теплообмена в миниканале в сочетании с визуализацией двухфазного потока;
- установка, имитирующая станцию охлаждения тиристорных преобразователей эмульсией с низкокипящей дисперсной фазой.

Все перечисленные установки спроектированы и изготовлены Б.Гасановым с максимальной тщательностью, свидетельствующей о незаурядном экспериментаторском мастерстве их создателя. Важной составляющей проведенных экспериментов является скоростная видеосъемка процесса кипения, позволившая наглядно проиллюстрировать основные выводы работы. Она также выполнена с большим профессионализмом. Оппонента поразило и умение автора работы проводить решающие эксперименты, используя простейшее оборудование (см., например метод изучения взрывного вскипания жидкости на низкотемпературных центрах кипения в результате простых опытов с водой, приведенный на рис.1.8).

Таким образом, диссертантом и руководимыми им сотрудниками создана уникальная лаборатория для изучения явлений, связанных с решением задачи исследования.

Для выявления механизма взрывного вскипания капелек эмульсии на низкотемпературных центрах кипения и практического применения этого способа интенсификации теплообмена необходимо было подобрать жидкости пригодные в качестве дисперсной и дисперсионной фаз коллоидной системы и определить интервалы концентраций и температур, в которых проявляется эффект интенсификации теплоотдачи. Эти задачи были успешно решены в диссертации Б.Гасанова.

Его выбор исследуемых эмульсий был в существенной мере продиктован потребностями практики. В частности, кремнийорганические жидкости (олигооргансилоксаны) широко используются в качестве высокотемпературных теплоносителей, демпфирующих жидкостей в гидравлических системах, для смазки трущихся поверхностей. Хладон-11, хладон-113, н-пентан и диэтиловый эфир имеют температуру нормального кипения ниже, чем вода. Поэтому они послужили естественной низкокипящей добавкой к соответствующей бинарной системе, которая должна была интенсифицировать теплоотдачу. Особенность теплоносителя диэтиловый эфир + вода состоит в том, что в нормальном состоянии, вне теплового пограничного слоя, он остается раствором, а около греющей поверхности расслаивается с образованием эмульсии. Внутренней, дисперсной фазой оказывается диэтиловый эфир с небольшим количеством растворенного в нем воды, а внешней, дисперсионной средой, вода с небольшим количеством диэтилового эфира.

Подводя итог анализу экспериментальных достижений Б.Гасанова, могу заключить, что качество проведенных им экспериментов не позволяет усомниться в достоверности полученных результатов, тем более что большинство из них подтверждено в независимых опытах американских коллег.

В числе наиболее существенных результатов рецензируемой работы я бы выделил:

- без преувеличения огромный объем экспериментальных данных об особенностях кипения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой в различных условиях, позволивший выявить влияние высоких перегревов капелек дисперсной фазы, их концентрации и размера на характер теплообмена при кипении эмульсии: широкие по сравнению с однокомпонентными жидкостями интервалы пузырькового кипения, высокие значения коэффициента теплоотдачи от нагревателя к эмульсии при температурах ниже температуры кипения дисперсионной среды;
- экспериментальное доказательство того, что использование эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой позволяет увеличить интенсивность охлаждения поверхностей в 1.5-4 раза по сравнению с жидкостями, образующими дисперсионную среду;
- предложенные диссертантом способы управления интенсивностью теплоотдачи при пузырьковом кипении эмульсий;
- обоснование применимости теории точечного взрыва и возникающих при этом импульсов давления для анализа взрывного вскипания перегретых капелек жидкости, в результате чего показано, что цепная активация низкотемпературных центров кипения инициируется случайной активацией одного из них, а вызванная ею турбулентизация пограничного слоя способствует повышению интенсивности теплоотдачи;
- предложенную в работе модель пузырькового кипения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой, позволившую получить расчетные формулы для определения коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока;
- предложенные и экспериментально обоснованные автором оригинальные способы управления числом центров кипения за счет введения в эмульсию различных добавок (ПАВ, активированный уголь, цеолиты и др.);
- экспериментальные данные о характеристиках теплообмена и структуре двухфазного потока при кипении в условиях вынужденного течения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой в миниканалах, демонстрирующие возможность возникновения неустойчивости двухфазного потока и режимов его течения, при которых эта неустойчивость отсутствует, а достигается повышение коэффициента теплоотдачи к эмульсии на основе воды на 25 % по сравнению с чистой водой.

Таким образом, в диссертации Б.Гасанова получен большой объем экспериментальных данных, с достаточной полнотой описывающий процесс теплообмена в эмульсиях с низкокипящей дисперсной фазой. Принимая во внимание оригинальность проведенных исследований, можно рассматривать» его работу как основу нового направления в экспериментальной теплофизике

– «Исследование тепло- и массопереноса в коллоидной системе с низкокипящей дисперсной фазой».

Диссертация построена очень стройно, выводы диссертанта либо обоснованы экспериментально, либо вытекают из практически безупречных логических построений. Все это свидетельствует об их объективности.

Разумеется, работа не свободна и от отдельных недостатков. В частности, - при интерпретации результатов опыта с ударом шарика о стенку стакана с жидкостью диссертант довольно произвольно трактует появление повторных вскипаний жидкости как результат непрерывного рождения и исчезновения способных к активации центров кипения, не приводя серьезных аргументов этому тезису. Это же касается и его предположений о том, что «...излом на графике зависимости  $J = J(T)$  возникает тогда, когда расстояние между капельками оказывается малым и происходит цепное зародышеобразование (с.46)», «температура эмульсии вдали от охлаждаемой поверхности примерно равна температуре насыщенных паров дисперсной фазы  $T_s$ » и далее «образующиеся пузырьки пара не сливаются друг с другом и не дробятся на более мелкие» (с.134).

- вывод диссертанта о том, что «...основное влияние на интенсивность теплообмена оказывают наиболее крупные капельки микроэмульсии...», в которых «...сосредоточена основная масса дисперсной фазы» представляется оппоненту тривиальным;

- хотя приводимые автором иллюстрации различных режимов кипения, несомненно, способствуют лучшему пониманию текста диссертации, их количество представляется оппоненту избыточным, тем более что впоследствии на стр.108 в работе приводится довольно внятное обобщение этих режимов.

Кроме того, мне не вполне понятен тезис о том, что «...вскипание капелек дисперсной фазы происходит по механизму спонтанного зародышеобразования. Это предполагает образование пузырьков пара без влияния поверхности нагрева, но не означает, что зародышеобразование обязательно гомогенно. Зарождение паровой фазы может происходить и на легко активируемых центрах кипения в системе дисперсная фаза – дисперсионная среда, плотность и активность которых существенно ниже, чем на твердой поверхности». Хотелось бы во время защиты услышать пояснения диссертанта по этому поводу.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не затрагивают основных результатов диссертационной работы Б.Гасанова.

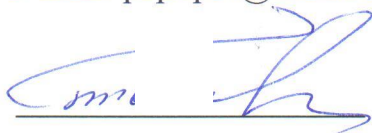
Подводя итог ее анализу, отмечу, что к защите представлены результаты оригинального решения сложной физической проблемы, представляющей большой интерес и для практики проектирования и эксплуатации высоконагруженных теплообменных устройств. Диссертант четко определяет возможность практического использования результатов его работы и намечает свои собственные планы в этом направлении.

Диссертация написана грамотным научным языком и хорошо оформлена.

Ее основное содержание апробировано в многочисленных печатных работах автора и его докладах на всероссийских и международных конференциях и полно отражено в автореферате.

По своим объему, значимости полученных результатов, глубине и качеству их обсуждения диссертация Б.Гасанова удовлетворяет требованиям п.п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
профессор,  
профессор Уральского государственного  
педагогического университета,  
620017, г.Екатеринбург,  
пр.Космонавтов, 26  
тел. +7 922 204 44 22  
e-mail: pspopel@mail.ru



/Попель Петр Станиславович/

12 сентября 2021 г.



С. Лопель 2  
ОК УрФУ  
И.И. Зурташева