

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Института
теплофизики УрО РАН
д.ф.м.н.
Виноградов А.В.
«22 мая» 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки – Института теплофизики Уральского отделения Российской академии наук на диссертацию Старинской Елены Михайловны «Тепломассоперенос при испарении капель бинарных смесей и наножидкостей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертационная работа Е.М. Старинской посвящена экспериментальному исследованию тепломассопереноса при испарении взвешенных капель бинарных смесей и наножидкостей в воздушном потоке. Исследования тепломассопереноса при испарении капель многокомпонентных смесей важно для различных практических приложений, например, охлаждении поверхности капельной жидкостью, сжигание жидких топлив в различных теплогенерирующих установках, испарительная литография и т.д. При нагреве капелек жидкости протекают сложные процессы тепломассообмена как в их объеме, так и на межфазной границе. На сегодняшний день отсутствуют общепринятые представления о процессах тепломассопереноса в капелях жидкости сложного состава, а предлагаемые модели тепломассообмена в них, в некоторой степени, противоречат друг другу. Также нет единого подхода к описанию процесса испарения капель наножидкостей. Поэтому, проведение систематических экспериментальных исследований тепломассопереноса в капелях бинарной смеси и наножидкости представляется **актуальным**.

Диссертационная работа Е.М. Старинской состоит из Введения, четырех глав и Заключения. **Первая глава** носит обзорный характер. Представлен анализ известных экспериментальных и теоретических исследований испарения капелек различных жидкостей. Выделены разногласия в интерпретации экспериментальных данных и механизмов испарения капелек жидкости.

Во **второй главе** приводится обоснование выбора метода исследования – метод подвешивания капли и описание экспериментального стенда, который позволяет проводить опыты в широком диапазоне параметров окружающей среды; температура, скорость и влажность потока. Далее описывается методика оценки тепловых потерь в экспериментах. Обсуждаются результаты тарировочных экспериментов и их сопоставление с данными других

авторов. Приведены результаты оценки теплового потока при испарении капель жидкостей, подвешенных на различных державках. Представлены результаты расчета влияния свободной конвекции, лучистого теплообмена и теплопроводности на величину теплового потока и скорость испарения.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования процессов тепло и массообмена при испарении капель неидеального раствора этанол-вода в широком диапазоне концентраций летучего компонента и при вариации температур (20-100 °С) и скоростей потока (0-1,5 м/с). Для обобщения полученных данных использована диффузионная теория испарения. Приводиться анализ влияния концентрации летучего компонента на скорость испарения капельки. Показано, что динамика испарения растворов этанол-вода отличается от поведения идеальных растворов.

В **четвертой главе** приводиться обоснование выбора наночастиц диоксида кремния SiO_2 и методика приготовления наножидкостей. Далее приведены экспериментальные результаты о динамике испарения подвешенных капель наножидкости в зависимости от концентрации наночастиц, температуры и скорости потока, обтекающего каплю. Описаны результаты оценки свойств наножидкостей. Затем предлагается механизм испарения капелек наножидкостей, который в дальнейшем может быть использован при построении физико-математических моделей испарения капель коллоидных систем.

В **заключении** приведены основные результаты работы.

Соискателем получен ряд оригинальных результатов, определяющих **научную новизну** диссертации:

1) Получены новые экспериментальные данные о динамике испарения капель неидеальной смеси этанол-вода и наножидкости состоящей из наночастиц диоксида кремния в воде, в широком диапазоне концентраций компонентов, температуры и скорости потока, обтекающего каплю.

2) Проведен анализ влияния основных параметров на тепло- и массообмен в процессе испарения капель бинарных растворов. Выявлено слабое влияние начальной концентрации этанола на изменение температуры поверхности капли во времени. Показано, что в зависимости от концентрации этанола в воде скорость испарения капли имеет немонотонный характер.

3) Установлено, что при малых концентрациях наночастиц диоксида кремния в воде (0,1 вес.%) испарение капли происходит менее интенсивно по сравнению с водой. При концентрациях выше 2 вес. % обнаружено немонотонное влияние содержания наночастиц в воде на скорость испарения.

4) Предложен механизм испарения наножидкости с низкой концентрацией наночастиц. Снижение интенсивности испарения жидкости в капле вызвано скоплением наночастиц вблизи межфазной границы. Установлено, что определяющим фактором является диффузия наночастиц в жидкости.

Практическая значимость

Представленные в диссертации результаты могут быть использованы при разработке и оптимизации теплообменных аппаратов, при проектировании устройств, использующих капельное охлаждение или устройств для сжигания водотопливных смесей и т.д. Предложенный автором механизм испарения капель коллоидных систем может быть использован при построении физико-математических моделей испарения капелек наножидкостей.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением методов тепловизионной и скоростной съемки, позволяющих достаточно точно измерить температуру и размер испаряющейся капли, анализом погрешностей измерений, проведением калибровочных и тестовых измерений, сравнением полученных экспериментальных данных с результатами других исследований.

Научные положения, выносимые на защиту подкреплены экспериментальными данными и теоретическими выкладками.

Обоснованность **выводов** диссертации не вызывает сомнения. Полученные результаты исследования динамики испарения капель неидеального раствора этанол-вода и наножидкости, а также предложенные методы обработки экспериментальных данных, формируют цельную и непротиворечивую картину.

По содержанию диссертации можно высказать следующие вопросы и замечания:

1. На рисунках представляющих зависимость концентрации компонента от скорости испарения капли (рис. 3.12; 3.21; 4.17 и 4.20) было бы целесообразно показать доверительные интервалы экспериментальных значений.
2. Известно, что конвекция Марангони наиболее ярко проявляется в летучей жидкости. Проявляется ли конвекция Марангони в наножидкости, если да то, как она влияет на скорость испарения?
3. Теплопроводность наножидкостей зависит от концентрации и теплопроводности наночастиц. Какое влияние на скорость испарения капли будут оказывать наночастицы металлов или их оксидов имеющих теплопроводность выше, чем у диоксида кремния?

Приведенные замечания носят характер рекомендаций и не снижают общую высокую оценку работы. Диссертация Старинской Елены Михайловны является законченной научно-квалификационной работой, в которой последовательно исследованы сложные процессы

динамики испарения подвешенных капель воды, бинарной смеси и наножидкости. Проведенный автором анализ большого массива экспериментальных данных способствует пониманию физики испарения подвешенных капель жидкости в потоке газа. Основные результаты работы опубликованы в 33 работах, в том числе в 12 статьях в печатных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Проведена хорошая апробация результатов исследования на международных и всероссийских конференциях.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании общего научного семинара Института теплофизики УрО РАН. На семинаре присутствовали д.ф.-м.н., член-корреспондент Коверда В.П., д.ф.-м.н. Виноградов А.В., д.ф.-м.н. Скоков В.Н., д.ф.-м.н. Виноградов В.Е., д.ф.-м.н. Гасанов Б.М., к.ф.-м.н. Захаров М.С., к.ф.-м.н. Каверин А.М., к.ф.-м.н. Мажейко Н.А., к.ф.-м.н. Волосников Д.В., к.ф.-м.н. Липнягов Е.В., к.ф.-м.н. Андбаева В.Н., Хотиенкова М.Н., Томин А.С., Поволоцкий И.И., Грибакова Т. В., Старинская Е.М., к.ф.-м.н. Старинский С.В.

По результатам обсуждения единогласно принято решение считать, что диссертационная работа Старинской Елены Михайловны «Тепломассоперенос при испарении капель бинарных смесей и наножидкостей» по своей актуальности, научной новизне и практической значимости заслуживает положительной оценки. Она отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Старинская Елена Михайловна **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доктор физико-математических наук
(1.3.14 – «Теплофизика и
теоретическая теплотехника»),
ведущий научный сотрудник
лаборатории криогеники и энергетики
ФГБУН Института теплофизики
Уральского отделения Российской
академии наук



Гасанов Байрамали Мехрали оглы

20 мая 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики
Уральского отделения Российской академии наук

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 107А

+7 (343) 267-88-01

itp@itpuran.ru

<https://itpuran.ru>