

3. Lauenburg P. Modelling space heating systems connected to district heating in case of electric power failure // Proceedings of the Eleventh International Building Simulation Conference (IBPSA). Glasgow, 2009. – pp. 150–158.
4. Марков А.Р. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения // Экологические системы. –2008. №11.
5. Пластинчатые теплообменники в теплоснабжении // Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П. А. КАПУСТЕНКО и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 448 с.
6. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. – 472 с.

Научный руководитель: М.Н. Морозов, ассистент каф АТП ЭНИН ТПУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В РАЗОГРЕТОМ ВОЗДУХЕ

А.В. Абрамова

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ6Д

Процессы высокотемпературного (более 500 К) испарения эмульсий, суспензий и растворов на основе воды интенсивно исследуются на протяжении последних лет вследствие большой группы приложений (выпаривание и выжигание примесей при термической очистке сточных вод, утилизации тепла дымовых путем создания газопаровых теплоносителей и др.).

С ростом численности населения, увеличением потребности в сельскохозяйственной продукции и развитием промышленности неуклонно увеличивается и потребление воды. Несмотря на колоссальные запасы этого ценнейшего ресурса на Земле, доля пресной воды в этом объеме составляет не более 3 % [1–3]. Пропорционально объему потребления возрастает и объем сточных вод. В таких условиях развитие эффективных и недорогих технологий нейтрализации вредных примесей бытовых и промышленных стоков является особенно важным. Эффективная очистка технологических и сточных вод позволит не только снизить негативное антропогенное воздействие на окружающую среду, но и экономить ресурсы за счет применения в технологических циклах систем оборотного водоснабжения.

Цель настоящей работы – экспериментальное определение отличий характеристик испарения водных эмульсий с разной концентрацией примесей в условиях, соответствующих термической очистке промышленных стоков.

Экспериментальный стенд и методы проведения исследований. В исследованиях применялись водные эмульсии, содержащие органические жидкости в концентрациях, соответствующих предприятиям энергетической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей ($\gamma=3-7\%$). I группа: бензин и керосин, II группа: трансформаторное и компрессорное масла, III группа: сырая нефть.

Объем капель эмульсий во всех проведенных сериях экспериментов составлял 15 мкл. Капли эмульсий генерировались электронным дозатором (шаг варьирования генерируемого объема 0.1 мкл) в 2 этапа. Сначала на держатель 7 помещалась капля дистиллированной воды, а затем к ней (также с использованием дозатора) добавлялась капля органической жидкости в объеме, соответствующем требуемой по условиям эксперимента концентрации примеси и соблюдению общего объема капли $V_d=15$ мкл.

При проведении экспериментов фиксировались времена полного испарения капель t_h , либо время до их взрывного разрушения (распада) t_d . В результате обработки полученных видеogramм определяли изменение характерного размера капель R_d . Для этого по известному расстоянию между двумя точками рассчитывался масштабный коэффициент (в проведенных экспериментах в качестве масштаба использовался диаметр держателя капли $D_m=0.36$ мм). Выполненные измерения затем использовались при вычислении скорости испарения эмульсий W_e . Для каждого состава эмульсий, использованных в экспериментах, температура разогретого воздуха варьировалась от минимальной ($T_g=373$ К) и до значения, при котором фиксировался взрывной распад капель.

Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

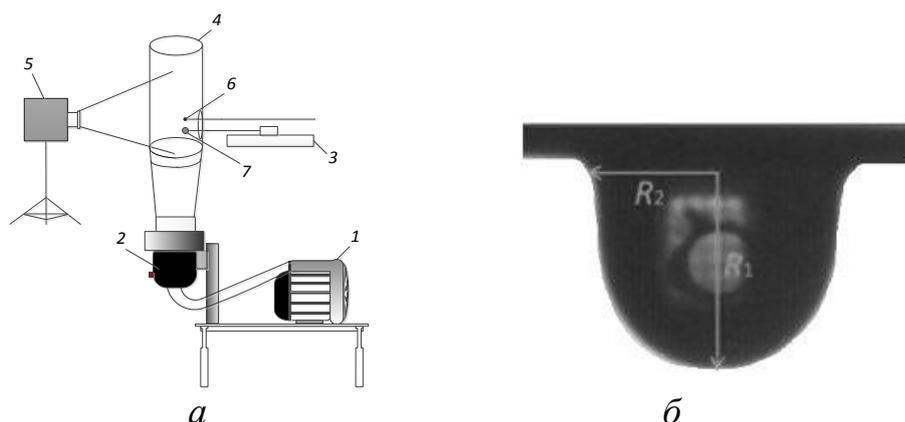


Рис. 1. Схемы экспериментального стенда (а): 1 – нагнетатель воздуха; 2 – воздухонагреватель; 3 – автоматизированный координатный механизм; 4 – жаропрочный цилиндр (канал) из кварцевого стекла; 5 – высокоскоростная видеокамера; 6 – термопара; 7 – объект исследования (капля эмульсии) и вычисления массовой скорости испарения (б)

Результаты и обсуждение. В процессе проведения экспериментов при варьировании условий нагрева (в первую очередь, за счет изменения температуры разогретого воздуха) для всех исследованных групп водных эмульсий было установлено *три режима* прогрева испарения (рис. 2).

Первый – режим монотонного испарения капель со свободной поверхности в основном за счет конвективного теплообмена с разогретой газовой средой (рис. 2, а). Этот режим наблюдался при относительно невысоких температурах (I группа примесей $T_g < 573$ К, II группа примесей $T_g < 423$ К, III группа примесей $T_g < 423$ К) и характеризовался, как правило, длительностью до трех минут. При этом примеси групп II и III после испарения воды оседали на поверхности держателя капли. Компоненты капли практически не оказывали ощутимого взаим-

ного влияния, испаряясь последовательно. При этом бензин и керосин в силу своей меньшей относительно воды плотности образовывали на поверхности капли микропенку и испарялись в составе капель.

Второй режим регистрировался в среднем диапазоне температур (I группа примесей $573 \leq T_g \leq 623$ К, II группа примесей $423 \leq T_g \leq 523$ К, III группа примесей $423 \leq T_g \leq 473$ К) воздуха. На первой стадии нагрева уменьшение объема капли происходило монотонно. Затем внутри капли формировались пузыри, начинался процесс интенсивного кипения (рис. 2, б). Пузырьки локализовались в основном вблизи держателя, а их объем был значительно меньше размеров капли в целом. Выход формирующихся в результате кипения паров через поверхность капли не приводил к ее необратимому разрушению.

Третий режим испарения характеризовался малой длительностью существования капель вследствие их распада на более мелкие фрагменты (рис. 2, в). Распаду предшествовали краткая стадия монотонного испарения, а затем стадия кипения с формированием паровых пузырей, значительно (в 2–3 раза) превышающих по объему исходные капли. Схлопывание пузырей приводило к разрушению целостности оболочки капли и ее распаду. В результате распада от держателя отрывались более мелкие (относительно начального объема капли) фрагменты жидкости, т.е. происходило дробление капли.

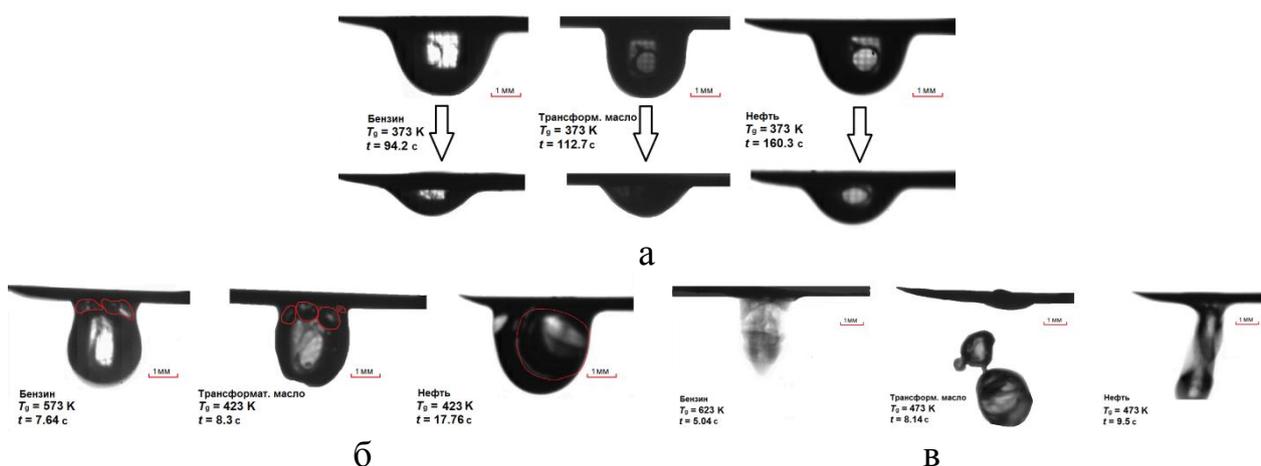


Рис. 2. Типичные видеокadres характерных режимов испарения капель водных эмульсий при концентрации жидких примесей $\gamma=7\%$: а – режим I (монотонное испарение); б – режим II (пузырьковое кипение); в – режим III (распад)

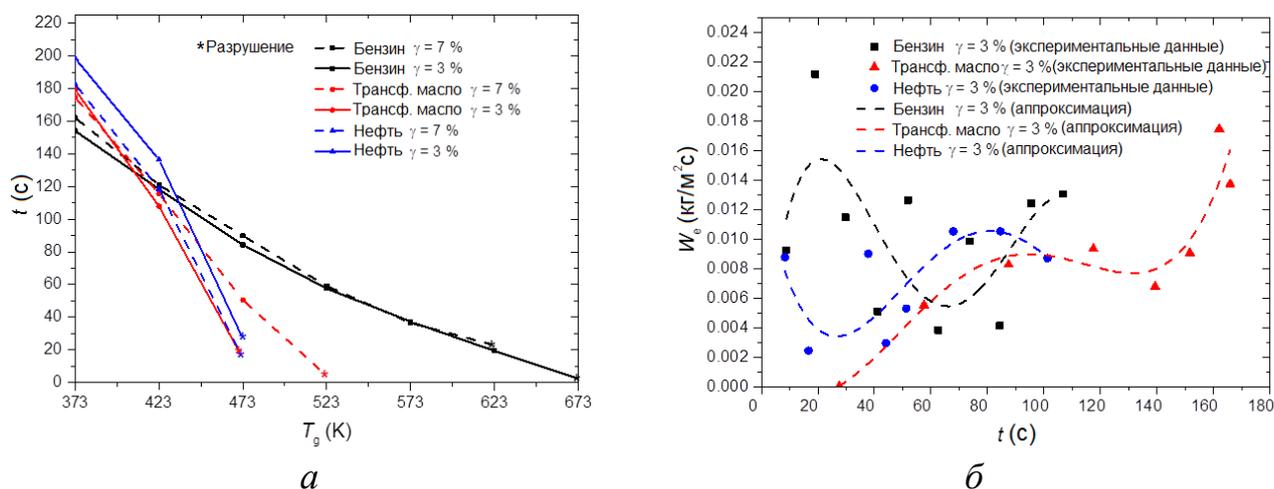


Рис. 3. Предельные условия прогрева капли (*a*) для взрывного дробления (*соответствует условиям распада капель) и экспериментальные значения колебаний скорости испарения (*б*) капель водных эмульсий и их аппроксимация в режиме монотонного испарения ($T_g=423$ K)

Наибольшие значения предельных температур (рис. 3, *a*), при которых происходит взрывной распад капель, характерны примесям первой группы. Бензин и керосин при введении в каплю обволакивают ее поверхность тонкой пленкой. Вероятно, для этой группы примесей в механизме возникновения взрывного разрушения капель большую роль играют процессы окисления паров, формирующихся в малой окрестности пленки горючей жидкости на поверхности капли, а также значительный разогрев металлического держателя, которые интенсифицируются при высоких температурах окружающей среды. Кипение капель с примесью бензина и керосина (рис. 2, *б*) происходит преимущественно в окрестности зоны контакта с держателем, поскольку на его поверхности формируются локальные очаги парообразования, центрами которых могут быть микropоры, шероховатости и т.д.

На рис. 3, *б* представлены колебания значений массовой скорости испарения капель водных эмульсий в разные моменты времени в течение одного цикла испарения в монотонном режиме. Разброс значений скорости испарения вызван существенной нестационарностью процессов теплообмена. На скорость прогрева и парообразования влияют соотношение содержания воды и примеси, а также толщина формирующегося вблизи поверхности капли слоя пара. С одной стороны, паровая прослойка снижает интенсивность прогрева и испарения вследствие меньшего (более чем в 10 раз) значения коэффициента теплопроводности и изменения других теплофизических свойств относительно воды в жидком состоянии. С другой стороны, формирующаяся паровая оболочка в отличие от воды не является диатермичной [4, 5], и может как поглощать, так и быть самостоятельным источником инфракрасного излучения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для аспирантов и молодых ученых СП-1350.2015.1.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kalogirou S.A. Seawater desalination using renewable energy sources // Prog. Energy Combust. Sci. – 2005. – Vol. 31, no. 63. – P. 242–281.
2. Global Issues Overview – Water, United Nations. <http://www.un.org/ru/sections/issues-depth/water/>.
3. Romero R.J., Rodríguez-Martínez A. Optimal water purification using low grade waste heat in an absorption heat transformer // Desalination. – 2008. – Vol. 220, Iss. 1–3. – P. 506–513.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 721 с.
5. Robertson C.W., Williams D. Lambert Absorption Coefficients of Water in the Infrared // Opt. Spektrosk. – 1960. – Vol. 27. – P. 790.

Научный руководитель: О.В. Высокоморная, к.ф.-м.н., доцент каф. ТПТ ЭНИИ ТПУ.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ВДУВА ГАЗА НА ТЕПЛООБМЕН В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Н.В. Савкина¹, Н.П. Скибина¹, Е.А. Маслов^{1,2}, В.В. Фарапонов¹

Томский государственный университет

ФТФ, ДП¹

Томский политехнический университет

ЭНИИ, ТПТ²

Маневренность сверхзвукового летательного аппарата на траектории полета может быть осуществлена с помощью локального вдува газа с поверхности в пограничный слой. При этом на этапе проектирования возникает необходимость решения задачи определения основных параметров и структуры потока в пограничном слое в зависимости от условий вдува.

Целью настоящей работы является экспериментально-теоретическое исследование влияния локального вдува газа в пограничный слой при обтекании осесимметричной модели в диапазоне чисел Маха $M = (2 \div 5)$.

Эксперименты по определению коэффициента сопротивления осесимметричного тела при обтекании сверхзвуковым потоком проводились на импульсной аэродинамической установке [1]. Диапазон реализуемых режимов обтекания: числа $M = (2 \div 5)$; давление торможения на срезе сопла диффузора, формирующего сверхзвуковой поток, $P_0 = (0.15 \div 0.3)$ МПа при статическом давлении $P = (0.03 \div 0.07)$ МПа; температура торможения набегающего воздушного потока $T_0 = (17.5 \div 250)$ °С. Длительность работы импульсной аэродинамической установки в зависимости от условий испытаний составляет $(1.0 \div 3.0)$ с.

Поля температуры и давления при обтекании конуса сверхзвуковым потоком с учетом локального вдува газа в пограничный слой определялись на ос-