

РЕЖИМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАПЕЛЬ ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Ашихмин А.Е., Вяткин А.В., Хомутов Н.А.

Научный руководитель - доцент М.В. Пискунов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Взаимодействие капель жидкости с твердыми нагретыми поверхностями является сложным многофакторным явлением, характеризующимся как гидродинамическими процессами, так и различными режимами теплопередачи [1]. Столкновение капель жидкости с разогретыми поверхностями является типичным явлением в ряде практических приложений, таких как аэрозольное охлаждение, окрашивание поверхностей, струйная печать, безопасность ядерных реакторов и спреи в двигателях внутреннего сгорания [2]. Исходя из обзорных статей [2,3] можно констатировать, что для капель чистых однородных жидкостей динамика соударения с учетом режимов, механизмов и основных регулирующих сил процесса взаимодействия изучена довольно подробно и основательно. Однако, слабо изученным остается направление, связанное с взаимодействием сложных по компонентному составу и структуре капель жидкости с твердой поверхностью. Часто многие попытки применения известных моделей для капель чистых однородных жидкостей заканчиваются безуспешно. Исследователи отмечают существенное усложнение моделей для сложных по компонентному составу и структуре капель жидкости [2,3].

При распылении топливных жидкостей и спрейнном охлаждении конечный результат взаимодействия капель с поверхностью определяется как свойствами жидкости, так и свойствами поверхности. Для описания результатов взаимодействия часто используются безразмерные параметры, например, числа Рейнольдса (Re), Вебера (We), Онезорге (Oh) [2,3]. При столкновениях отличия температур поверхности и капли жидкости приводят к различным последствиям. В зависимости от температуры поверхности выделяют 4 вида теплообмена: пленочное испарение, пузырьковое кипение, переходное кипение, пленочное кипение [2-4]. Для каждого режима теплообмена существуют сопровождающие режимы гидродинамического взаимодействия. При этом в зависимости от скорости соударения капли с нагретой поверхностью выделяют три основных режима гидродинамики: растекание, отскок, дробление [2,3]. В действительности существует много различных классификаций режимов гидродинамики, например, описываемые в [3]. Как правило, для описания гидродинамических режимов взаимодействия используют количественные характеристики, такие как скорость и диаметр растекания, максимальный диаметр растекания, толщина слоя растекающейся капли [2-4]. В качестве параметра, который позволяет охарактеризовать режимы теплообмена в исследованиях взаимодействия капель с твердой поверхностью, применяют время испарения или существования капли на этой поверхности (t_c) [3]. Отметим, что наличие нагрева со стороны поверхности взаимодействия и вариативность свойств жидкости в капле в зависимости от температуры, компонентного состава и ее внутренней структуры порождают многообразие наблюдаемых явлений, а также усложняют их прогнозирование, что создает необходимость проведения всесторонних экспериментальных исследований. Выделение отличий и сходств в режимах теплообмена и гидродинамики при взаимодействии капель н-декана и эмульсий на его основе с твердой нагретой поверхностью является *целью данной работы*.

Для приготовления топливных эмульсий использовались следующие компоненты: дистиллированная вода в качестве дисперсной фазы, н-декан и масло базовое изопарафиновое в качестве непрерывной фазы. В качестве эмульгатора использованы следующие поверхностно-активные вещества: сорбитанмонолеат (Спан-80) и раствор полиолефинаминоэфир в индустриальном масле (РЭМ-5). Образцы эмульсий приготавливались за счет смешения компонентов в стеклянных или пластиковых пробирках. Эмульгаторы предварительно растворялись в масляной фазе. Для диспергирования использовался гомогенизатор с установленной скоростью 10 тыс. об/мин (перемешивание в течение 3 мин). Компонентный состав исследуемых жидкостей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Компонентный состав исследуемых жидкостей на основе н-декана и массовые концентрации компонентов

№ состава	Вода	Декан	HVI-2	ПАВ	Наименование ПАВ	Масса состава	Вода	Декан	HVI-2	ПАВ
	г	г	г	г		г	г/л	г/л	г/л	г/л
Эмульсия 1	0,8	4	11,04	0,16	Span-80	16	40	200	552	8
Эмульсия 2	0,8	15,04	0	0,16	РЭМ-5	16	40	752	0	8

Определение плотности исследуемых жидкостей проводилось пикнометрическим методом. Измерение поверхностного натяжения осуществлялось методом отрыва кольца. Свойства компонентов и эмульсий представлены в таблице 2. Для исследования взаимодействия капли с нагретой поверхностью применен метод высокоскоростной видеорегистрации. Для генерации капель использовался перистальтический насос. Для контроля температуры генерируемой жидкости применен внешний контур термостата. Контроль температуры нагреваемой поверхности (сапфировое полированное стекло) проводился нагревательным элементом с ПИД-регулятором.

Таблица 2

Плотность и поверхностное натяжение эмульсий и их компонентов

Жидкость	Плотность (ρ), (кг/м ³)	Поверхностное натяжение (σ_0), (мН/м)
Дистиллированная вода	997	71,98
н-Декан	730	25,55
Эмульсия 1	801	26,84
Эмульсия 2	710	23,80

Параметрами взаимодействия являются: D_0 и U_0 – диаметр и скорость капли перед столкновением с поверхностью, соответственно, T_w – температура поверхности взаимодействия (варьировалась в диапазоне 70–390 °С). Начальная температура капель жидкостей составляла 25 °С. Для определения режимов теплообмена используется зависимость времени существования капли (t_c) от T_w . Для описания гидродинамических режимов взаимодействия используется безразмерный критерий – число Вебера ($We = \rho U_0^2 D_0 / \sigma_0$), где ρ – плотность, σ_0 – поверхностное натяжение на границе раздела «жидкость-газы».

В ходе экспериментального исследования построена карта гидродинамических режимов, возникающих при взаимодействии капель эмульсий и н-декана с нагретой до различных температур поверхностью. Выделено три основных режима.

Режим 1: растекание и стекание капли, сопровождающиеся постепенным испарением. Режим 2: образование воздушных пространств (разрывов) и жидкостных мостов между ними в тонком слое растекающейся жидкости, окаймленном ободом, при более высоких температурах поверхности. Увеличение температуры способствует увеличению объёма воздушного пространства в тонком слое и количества жидкостных мостов, а также их утонению. В отношении обода с ростом температуры все больше проявляется неустойчивость Рэлея-Тейлора, выраженная в увеличении размеров пальцеобразных структур обода. После разрушении обода локальные фрагменты жидкости кипят с образованием пузырьков. При увеличении температуры подложки количество фрагментов с меньшим размером увеличивается. Этот режим характерен и для температур переходного кипения. Режим 3: продолжительная существенная фрагментация обода капли и формирование меньшего количества жидкостных длинных мостов при пленочном кипении.

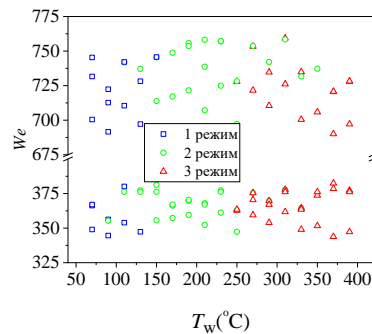


Рис. 1. Карта гидродинамических режимов удара капель о нагретую поверхность

Установленные переходы между видами теплообмена, характерными для наблюдаемых режимов гидродинамики для капель н-декана и эмульсий, показаны на рисунке 2. Переход I-II: конвективное испарение–пузырьковое кипение (для всех составов температура перехода 170°С). В отличие от эмульсий 1 и 2, для капель декана ниже. Переход II-III: для капель эмульсии 1 характерна более высокая температура (350°С) перехода пузырьковое кипение–переходное кипение. Переход III-IV: переходное кипение–пленочное кипение (температура перехода для капель н-декана и эмульсии 2 250°С, а для капель эмульсии 1 370°С).

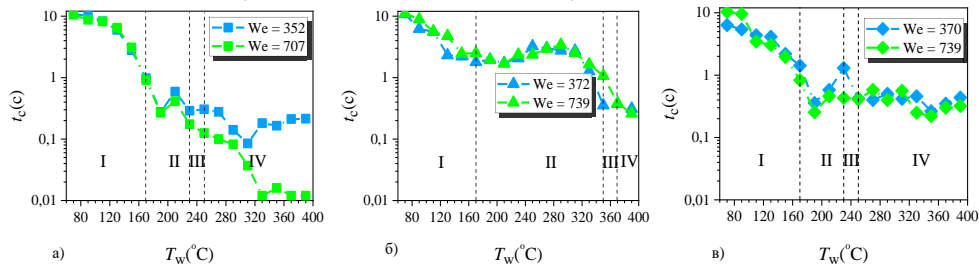


Рис. 2. Режимы теплообмена для капель н-декана и эмульсий, взаимодействующих с твердой нагретой поверхностью: (а) – н-декан; (б) – эмульсия 1; (в) – эмульсия 2; I-конвективное испарение, II-пузырьковое кипение, III-переходное кипение, IV-пленочное кипение.

Литература

1. Chausalkar A., Kong S.C., Michael J.B. Multicomponent drop breakup during impact with heated walls // Int. J. Heat Mass Transf. Elsevier Ltd, 2019. Vol. 141. P. 685–695.
2. Josserand C., Thoroddsen S.T. Drop Impact on a Solid Surface // Annu. Rev. Fluid Mech. 2016. Vol. 48, № 1. P. 365–391.
3. Liang G., Mudawar I. Review of drop impact on heated walls // Int. J. Heat Mass Transf. 2017. Vol. 106. P. 103–126.
4. Rein M. Interactions between Drops and Hot Surfaces // Drop-Surface Interactions. 2002. Vol. 456. P. 185–217.