

Таблица 1

**Теплофизические характеристики ЛГМ**

	Тип ЛГМ	Экспериментальные данные в диапазоне температур 25-150 °С		
		$\lambda$ , Вт/(м·К)	$C_p$ , Дж/(кг·К)	$\alpha$ , см <sup>2</sup> /с
Сибирский ФО	Хвоя сосны	0,15–1,18	1618–2409	0,0008-0,0007
	Листья березы	0,22–0,23	1856–2651	—
	Солома	0,15–0,17	1546,5–2103,33	0,0013-0,0012
	Ветки (50 % ветки березы, 50% ветки ели)	0,15–0,16	1546,5–2410,06	0,0011-0,0008
	Шишки	0,14–0,17	1681–2112	0,0009-0,00075
	Кора березы	0,12–0,14	1774–2173	0,001-0,0007
Дальневосточный ФО	Ветки березы	0,236–0,231	1779,33–2448,33	0,0018-0,0013
	Кора березы	0,3–0,25	1862,6–2441,8	0,002-0,0012
	Смесь веток (60% ветки ели, 40% ветки березы)	0,243–0,266	1520,23–2157,73	0,0022-0,0018
	Трава	0,213–0,216	1555,63–2079,56	0,0016-0,0013

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования позволяют установить эффективные значения теплофизических свойств неживого компонента, что поспособствует развитию существующих и созданию новых прогностических моделей разложения и подавления реакции пиролиза в слоях лесного массива.

Исследование выполнено за счет гранта Президента РФ (проект МК-1684.2017.8).

## Литература

1. Атлас риска пожаров на территории Российской Федерации – М.: ООО «Издательско-продюсерский центр»
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2014 году». – М: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016.
3. Гришин А.М., Голованов А.Н. О потухании лесных горючих материалов при постоянных и переменных воздействиях потока инертного газа на зону горения // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37, № 5. – С. 75-80.
4. Гришин А.М., Зима В.П., Кузнецов В.Т., Скорик А.И. Зажигание лесных горючих материалов потоком лучистой энергии // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38, № 1. – С. 30-35.
5. Калашникова Т.В. Пожары при добыче нефти и газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 1-1. – С. 66–69.

## ЭФФЕКТИВНЫЕ УСЛОВИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

**Г.В. Лаврентьев, М.В. Пискунов, Н.А. Хомутов**

Научный руководитель – профессор П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

### Введение

В настоящее время в мире проводится огромное количество исследований, посвященных изучению способов достижения значительной интенсификации процессов теплообмена. Существует общепринятая классификация, включающая активные и пассивные методы интенсификации теплообмена [1]. Пассивные методы являются широко используемыми, поскольку более экономически целесообразны и доступны, а также практически не требуют вмешательства внешних сил. Данное исследование выполнено в рамках одного из пассивных методов интенсификации теплообмена, обусловленного экспериментальным и теоретическим изучением поведения жидкостей с добавлением инородных твердых включений при нагреве. В последние годы, результаты исследований (например, [2]) показывают, что жидкости с твердыми примесями имеют, как правило, теплофизические характеристики, наиболее подходящие при утилизации избыточной теплоты. В связи с этим появляется значительный интерес в отношении высокотемпературных технологий в нефтегазовой, нефтехимической и энергетической отраслях промышленности. Получение достоверных результатов экспериментальных исследований фазовых превращений жидкостей с добавлением твердых включений при высоких температурах характеризуется высокой научной значимостью, а, кроме того, результаты экспериментов особо востребованы при проведении прогностического моделирования рассматриваемых процессов.

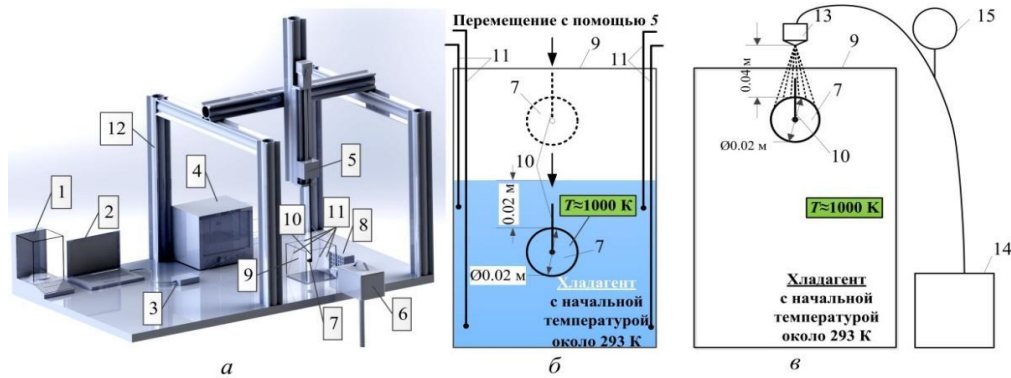


Рис. 1. Схема экспериментального стенда (а) и области исследований (б): 1 – аналитические весы; 2 – ПК; 3 – устройство сбора данных; 4 – регистратор температуры; 5 – механизированное координатное устройство; 6 – высокоскоростная видеокамера; 7 – металлический шар; 8 – светодиодный прожектор; 9 – резервуар для хладагента; 10 – термоэлектрический преобразователь (измерение температуры внутри металлического образца); 11 – термоэлектрические преобразователи, регистрирующие изменение температуры хладагента в резервуаре; 12 – алюминиевый каркас; 13 – форсунка; 14 – баллон; 15 – манометр

Цель настоящей работы – экспериментальное изучение закономерностей фазовых превращений неоднородных жидкостей при охлаждении сильно нагретых металлических шаров в большом объеме и при их спрейном охлаждении с применением высокоскоростной видеорегистрации.

#### Экспериментальный стенд и методы исследований

На рис. 1 представлена схема экспериментального стенда и области исследований.

Проведены экспериментальные исследования интенсивного охлаждения стальных шаров ( $d \approx 20$  мм), разогретых до температуры 700 К или 1000 К, в емкости объемом  $0,003 \text{ м}^3$  с различными видами хладагентов: водопроводная вода, морская вода, суспензия глины с массовой концентрацией 0,5 % и графита с массовой концентрацией 1 %. Металлические шары 7 нагревались с помощью газовой горелки. Мониторинг и регистрация изменений температуры объектов (температуры шара 7, начальных температур хладагентов в баллоне 14, температур хладагентов в резервуаре 9) выполнялись термоэлектрическими преобразователями 10, 11. Погружение в объем хладагента проводилось посредством координатного устройства 5. Процессы тепломассопереноса, протекающие на поверхности разогретого шара 7 при контакте с жидкостью, анализировались с использованием средств высокоскоростной видеорегистрации 6. Обработка данных производилась на ПК 2. По основным этапам методика выполнения экспериментов по спрейному охлаждению является аналогичной, однако, изменился способ взаимодействия хладагента с разогретой поверхностью шара. Применялась распылительная установка с фиксацией давления ( $\sim 2 \cdot 10^5$  Па) в баллоне с хладагентом при распыле, расстояния от сопла форсунки до верхней точки металлического шара ( $\sim 0,04$  м). При распылении суспензий установлен размер твердых частиц (менее 50 мкм, размер напрямую зависит от характеристик форсунки и режима работы распылительной системы), которые способны проходить через сопло форсунки в распыленном потоке; размер распыленных капель 50–55 мкм.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В исследовании установлена возможность эффективного снижения температуры разогретых ( $T \approx 1000$  К) стальных шаров при охлаждении в большом объеме водных растворов солей и суспензий глины или графита, а также при их спрейном охлаждении рассмотренными суспензиями.

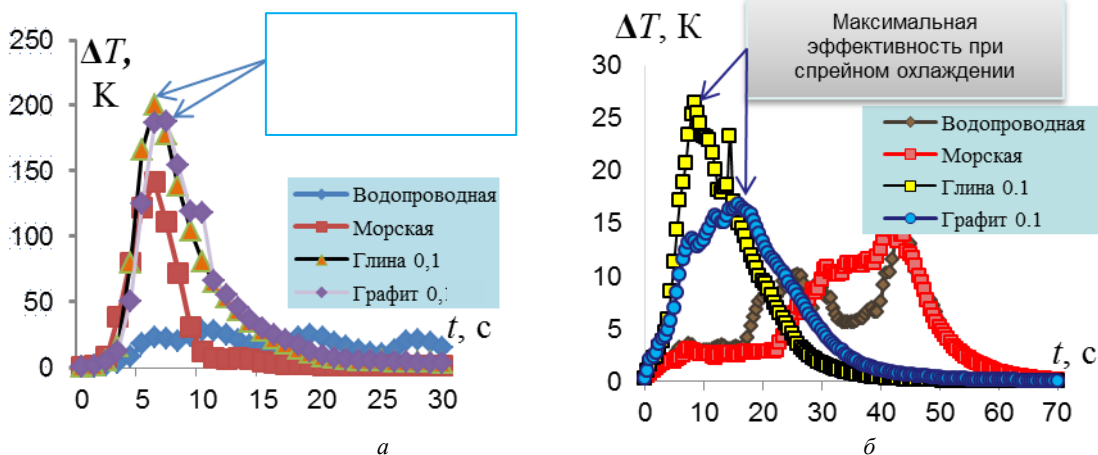


Рис. 2. Динамика охлаждения (а – в большом объеме; б – спрейное охлаждение) шара из стали 20X13 однородными и неоднородными жидкостями. В легенде указаны типы используемых хладагентов: водопроводная и морская вода, суспензии глины и графита с массовой концентрацией 0,1%

Результаты анализа динамики охлаждения стальных шаров в большом объеме однородных и неоднородных жидкостей позволили установить возможность быстрого (в течение 10–15 с) эффективного снижения температуры металлического объекта при использовании суспензионных хладагентов (рис. 2, а). Для однородной жидкости максимальная эффективность охлаждения шара наблюдается по истечении более 30 с (тренд кривой охлаждения носит флуктуационный характер). Результаты экспериментов со спрейным охлаждением (рис. 2, б) имеют ряд отличительных особенностей в сравнении с данными при охлаждении шаров в большом объеме хладагента при схожих условиях проведения опытов. При охлаждении в большом объеме хладагента использование морской воды способствовало исключению режима пленочного кипения и, соответственно, более эффективной и быстрой утилизации избыточной теплоты, а в экспериментах при распылении наблюдался эффект «отскока» распыленных капель морской воды от нагретой поверхности в течение продолжительного времени (до 20–30 с). Эффект «отскока» капель условно соответствует режиму пленочного кипения в экспериментах в большом объеме хладагента. Как показывает анализ результатов опытов при выполнении эффекта «отскока», эффективность охлаждения значительно снижается. Основным результатом выполненного цикла экспериментов (охлаждение в большом объеме и спрейное охлаждение) является установление условия быстрого (максимальная утилизация тепловой энергии происходит в течение 5–15 с) охлаждения за счет использования суспензионных хладагентов.

#### Заключение

Установлено, что при использовании в качестве хладагента морской воды, а также суспензий глины и графита на поверхностях металлических шаров при погружении в жидкость отсутствует режим пленочного кипения, который является одной из главных причин снижения интенсивности теплоотвода от разогретых тел. Выполненные эксперименты позволили также установить возможность резкого снижения температуры сильно перегретых ( $T \approx 1000$  К) стальных шаров при охлаждении спреями суспензионных хладагентов. Отметим целесообразность использования для экстренного аварийного охлаждения энергетического оборудования (в том числе используемого на атомных электрических станциях) водных растворов солей и суспензий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД-1221.2017.8) и стипендии Президента Российской Федерации (СП-1049.2016.1).

#### Литература

1. Bergles A., Manglik R. Current progress and new developments in enhanced heat and mass transfer// Journal of Enhanced Heat Transfer. – 2013. – V. 20. – P. 1–15.
2. Barber J., Brutin D., Tadrist L. A review on boiling heat transfer enhancement with nanofluids//Nanoscale Research Letters. – 2011. – V. 6. – P. 1–16.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

С.В. Мартова

Научный руководитель – доцент М.Д. Кац

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Газовые и нефтяные месторождения, как правило, находятся на большом расстоянии от стационарных источников энергоснабжения, что требует использования мобильных автономных энергетических объектов, обеспечивающих электрической и тепловой энергией производственные объекты и временные поселки. В настоящее время таковыми являются передвижные электростанции и блочно-модульные котельные. Последние используются для выработки технологического пара и тепла.

Блочно-модульная котельная представляет собой контейнер (рис.1), в котором расположено технологическое оборудование и системы контроля и управления технологическими процессами.



Рис. 1 Схема блочно-модульной котельной [1]