

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;

А.В. Иванов, кандидат технических наук, доцент;

Д.П. Торопов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены исследования в области конвективного теплообмена с использованием суспензий твердых частиц нанометрового размера в базовой жидкости на основе дистиллированной воды. Показано, что наночастицы заметно изменяют теплофизические характеристики жидкости, что делает её полезной для технологий охлаждения и применения для целей пожаротушения.

Ключевые слова: наножидкости, наночастицы, теплопередача, теплопроводность, огнетушащее вещество

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF EXTINGUISHING AGENT BASED DISTILLED WATER WITH ADJUSTABLE NANOSCALE COMPONENTS FOR FIRE-FIGHTING

G.K. Ivakhnyuk; A.V. Ivanov; D.P. Toropov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Researches in the field of convective heat transfer using suspensions of solid particles of nanometer size in the base fluid, based on distilled water. It is shown that the nanoparticles significantly alter the thermal characteristics of the liquid, which makes it useful for cooling and the application of technologies for fire-fighting purposes.

Keywords: nanofluids, nanoparticles, heat transfer, thermal conductivity, extinguishing agent

Жидкие теплоносители, такие как вода, играют важную роль во многих отраслях промышленности, а также при тушении пожаров. Эти жидкости являются недостаточными для высокого теплового потока.

Вода является наиболее доступным, дешевым и широко распространенным огнегасительным средством, пригодным для тушения как малых, так и больших пожаров.

Факторами, обуславливающими достоинства воды как огнетушащего средства, помимо доступности и дешевизны являются значительная теплоемкость, высокая скрытая теплота испарения, подвижность, химическая нейтральность и отсутствие ядовитости. Такие свойства воды обеспечивают эффективное охлаждение не только горящих объектов, но и объектов, расположенных вблизи очага горения, что позволяет предотвратить разрушение, взрыв и загорание последних.

Но в то же время вода обладает рядом недостатков, такими как повышенный расход, возможный ущерб от проливов, стандартное значение теплопроводности в больших температурных диапазонах и высокая плотность (при тушении легких горящих жидкостей вода не ограничивает доступ воздуха в зону горения, а, растекаясь, способствует еще большему распространению огня).

Стандартное значение теплопроводности воды при температуре 0 °С составляет 0,569 Вт/(м·К), при нагреве до температуры 90 °С – 0,68 Вт/(м·К).

Недостаток или отсутствие воды затрудняет проведение работ по тушению пожаров, приводит к увеличению времени ликвидации горения, большим физическим нагрузкам на участках тушения, возрастанию материального ущерба от пожара.

Одним из путей решения проблемы является использование для целей пожаротушения и тепловой защиты в качестве огнетушащего вещества наножидкости на основе воды с регулируруемыми наноразмерными компонентами.

Такая жидкость представляет собой жидкую суспензию, содержащую небольшое число частиц по меньшей мере с одним размером значительно меньше 100 нм и с тепловыми порядковыми величинами теплопроводности выше, чем у базовой жидкости.

Нанодисперсия (наноэмульсия или наножидкость) – это жидкость, содержащая частицы и агломераты частиц с характерным размером 0,1–100 нм. Такие жидкости представляют собой коллоидные растворы наночастиц в жидком растворителе. Вследствие малых размеров включений такие системы обладают особыми физико-химическими свойствами. На долю поверхности в них приходится до 50 % всего вещества. Обладают повышенной поверхностной энергией в связи с большим количеством атомов, находящихся в возбужденном состоянии и имеющих не менее одного свободного электрона на внешнем энергетическом уровне. Нанодисперсии имеют различную природу. В качестве диспергированных веществ могут выступать полиорганосилоксаны, металлические, оксидные, карбидные, нитридные наночастицы, углеродные нанотрубки и т.д. В качестве дисперсионной среды обычно используется вода или этиленгликоль [1].

Углеродные нанотрубки (УНТ) состоят из одного цилиндра (так называемые одностенные нанотрубки) или ряда концентрических цилиндров (так называемые многослойные углеродные нанотрубки).

Добавление небольшой объемной доли УНТ к жидкости существенно повышает тепловую проводимость. УНТ благодаря своей уникальной структуре и замечательным механическим и электрическим свойствам значительно улучшают теплофизические параметры суспензии. Большое количество УНТ в настоящее время могут быть получены методом дугового разряда или термического разложения углеводородов в пар, который обеспечивает возможность задействовать в больших масштабах.

Фундаментальные исследования в течение последнего десятилетия показали, что УНТ могут иметь теплопроводность порядка ~3000 Вт/(м·К). Это говорит о том, что наножидкости УНТ могут иметь очень высокую теплопроводность. Как следствие, одной из задач данной работы является исследование причины увеличения теплопроводности. Еще одна цель состоит в том, чтобы изучить влияние температуры на эффективность теплопроводности наножидкости, что является более важным качеством для целей уменьшения времени в ходе тушения пожара [1].

Данный объект исследования (наножидкость на основе воды с регулируемым наноразмерными компонентами) является объектом управления.

Существуют следующие механизмы управления:

- изменение концентрации УНТ в воде (массовая, объемная доля);
- показатель добротности УНТ;
- стабильность (оптическая плотность);
- изменение температуры в зависимости от времени нагрева.

Коэффициент теплопроводности наножидкости помимо зависимости от объемной концентрации наночастиц существенно зависит от размера наночастиц и их массы. Увеличение массы наночастицы при фиксированном размере приводит к росту теплопроводности [1, 2].

Кроме сильного роста теплопроводности при низкой концентрации наночастиц, также существуют другие важные свойства наножидкостей, отличающие их от обычных суспензий. К ним, в частности, относятся нелинейный характер зависимости теплопроводности от концентрации наночастиц, а также ее сильная зависимость от температуры и размера

частиц. Известно, что нелинейное поведение наножидкостей не ограничено УНТ. Наножидкости, содержащие сферические наночастицы, также могут демонстрировать сильное нелинейное поведение. Нелинейная зависимость теплопроводности представлена на рис. 1.

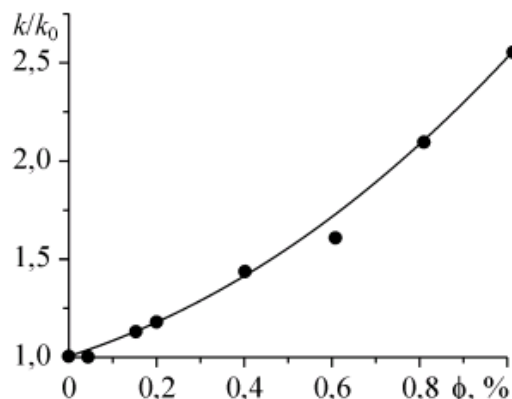


Рис. 1. **Нелинейная зависимость теплопроводности наножидкости от концентрации частиц (по данным [3])**

Данные исследования позволяют создавать наножидкости на основе воды с регулируемой наноструктурой.

При создании жидкости с регулируемыми наноструктурами в условия добавления наночастиц возможна переориентация макромолекул воды, что позволяет изменять физические свойства.

При проведении исследования УНТ были получены методом каталитического пиролиза углеродсодержащей парогазовой смеси на подложках и сложных структурах [4].

Метод каталитического пиролиза основан на том, что газообразный источник углерода разлагается на катализаторе на углерод, который адсорбируется и растворяется в катализаторе, и другие продукты реакции. Рост углеродных нанотрубок на катализаторе происходит по принципу образования зародыша углерода на поверхности капли катализатора с последующим его разрастанием и образованием наноструктуры.

На кафедре пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России проводились работы по оценке эффективности применения огнетушащего вещества на основе воды с регулируемыми наноразмерными компонентами.

В ходе испытаний на лабораторной установке (рис. 2) были исследованы охлаждающие свойства воды и под воздействием высоких температур.

Принцип работы установки заключался в следующем: ТЭН в течение времени (минутах) производил разогрев емкости с водой до 90 °С; при этом наблюдалось изменение температуры в центре образца, которое фиксировалось на цифровом мультиметре с помощью термопары.

Предварительно вода обрабатывалась генератором переменного частотно-модулированного сигнала, с параметрами 50 Гц и 112 В. Также для сравнения использовались образцы без обработки.

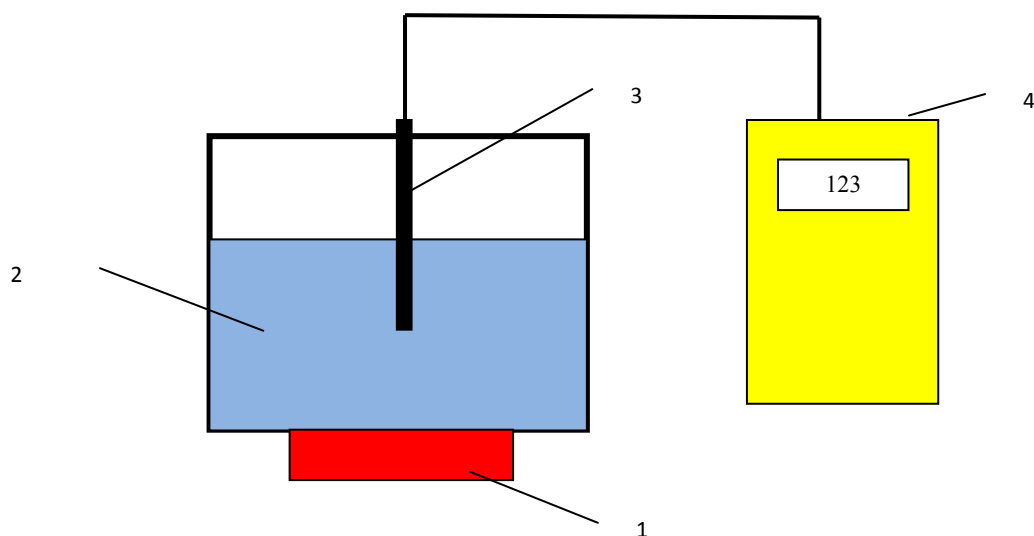


Рис. 2. Схема лабораторной установки по исследованию охлаждающих свойств воды:
1 – ТЭН; 2 – емкость с водой или гидрогелем; 3 – термопара; 4 – мультиметр цифровой

В ходе эксперимента фиксировались значения температуры воды при воздействии источника тепла мощностью 1 кВт (табл.).

Таблица. Изменение температуры нагрева наножидкости до 90 °С

Концентрация УНТ φ об., %	Изменение температуры нагрева УНТ (очищенные под воздействием азотной кислоты) в зависимости от времени $T=f(t)$								
	T0	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	6 мин	7 мин	8 мин
0,2	21,7	22,9	27,8	35,4	44,4	53,5	63,8	74,6	87,3
0,4	21,5	23,2	29,1	35,8	45,3	57,7	64,2	76,4	89,3
0,6	21,5	23,4	30,5	37,1	48,9	62,8	79,8	95,3	–
0,8	21,4	24,3	33,1	41,2	54,8	68,3	84,7	–	–
1	21,6	25,2	34,4	46,8	60,9	73,6	90	–	–
1,2	21,5	25,4	36,7	48,4	63,7	76,8	94,7	–	–
1,4	21,6	25,6	38,4	51,4	67,5	81,7	98,9	–	–
1,6	21,4	25,6	39,1	54,7	73,2	88,5	–	–	–
H ₂ O (без добавок)	20,9	21,8	25,6	33,5	40,2	49,8	59,4	70,1	83,6

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3, 4.

Анализ опытов показал, что с увеличением концентрации углеродных нанотрубок до 1 % происходит незначительное увеличение теплопроводности жидкости на 8 °С, а при концентрации более 1 % – на 30 °С и более.

Установлено, что наличие наночастиц значительно интенсифицирует теплообмен. Наблюдаемый эффект может быть объяснен изменением концентрации состава наножидкостей, что, в свою очередь, приводит к уменьшению времени и увеличению температуры.

Данное предположение подтверждается наблюдениями за темпом изменения температуры в зависимости от времени. Наибольшая скорость роста температуры наблюдалась у образцов с концентрацией более 1 % и выше, особенно в середине этапа нагрева жидкости. Также следует отметить, что при осаждении углеродных наночастиц в объеме жидкости измеренная температура нагрева вернулась к начальному значению.

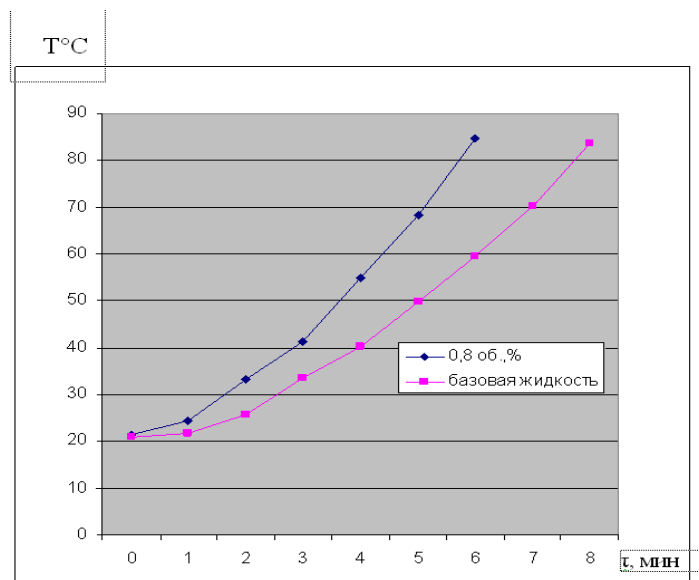


Рис. 3. Изменение температуры нагрева наножидкости в зависимости от концентрации УНТ до 0,8 %

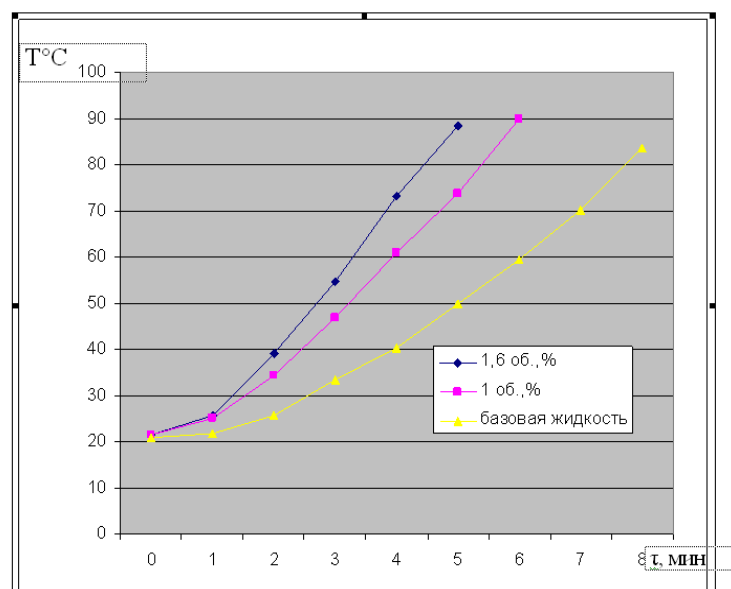


Рис. 4. Изменение температуры нагрева наножидкости в зависимости от концентрации УНТ от 0,8 до 1,6 %

Исходя из результатов исследования, можно сделать следующие выводы:

- при введении в жидкость углеродных нанотрубок происходит повышение теплопроводности образцов;
- увеличение температуры от времени возможно объясняется изменением концентрации исследуемых веществ.

Из графиков видно, что с увеличением концентрации углеродных нанотрубок уменьшается время нагрева, из этого следует, что теплопроводность вещества увеличивается. Наблюдаемый эффект может быть объяснен изменением скорости нагрева жидкостей, что, в свою очередь, приводит к уменьшению времени и увеличению температуры образования концентрации жидкости, достаточной для эффективного применения в качестве ОТВ.

Литература

1. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены: учеб. пособие. М.: Изд-во «Логос», 2006.

2. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок. М.: Бином-Лаборатория знаний, 2011. 488 с.
3. Рудяк В.Я., Белкин А.А. О коэффициенте теплопроводности наножидкостей // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 14.
4. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация; опубл. 10.04.13 // FREEPATENT. URL: www.freepatent.ru (дата обращения: 11.06.2016).