УДК 656.11

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-73-79

**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЖИДКОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В
ОХЛАДИТЕЛЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ***¹Парлюк Екатерина Петровна**¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»*

Реферат. Перспективными теплоносителями являются наножидкости, их использование способствует снижению металлоемкости агрегатов, повышению безопасности использования в аварийных переходных режимах, сопровождающихся кипением. Рассмотрены возможности, особенности и перспективы использования в качестве охлаждающих жидкостей автотракторной техники инновационных теплоносителей, которые позволят преодолеть порог неэффективности смесей воды и этиленгликоля, заключающийся в низкой теплопроводности. В качестве инновационных теплоносителей предлагается использовать наножидкости, состоящие из базовой жидкости (вода, этиленгликоль, машинное масло) и наночастиц высокотеплопроводного материала. Анализ полученных значений теплопроводности для наночастиц окиси алюминия, меди, карбамида кремния, золота, меди показывает преимущества последних. Если добавить 2 % (объемных) наночастиц меди в охлаждающую жидкость, то увеличение теплопередачи составит от 42,7 до 45,2 % и даст возможность уменьшить размер радиатора на ~ 18,7 %, но нагрузка перекачки при этом увеличится на 12,13 %. Теплопроводность углеродных нанотрубок существенно выше, чем у металлов, и базовой жидкости, что может привести к значительным изменениям теплофизических свойств наножидкостей и усилению теплообменных процессов. Наножидкости могут заменить традиционные смеси охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: наножидкость, наночастицы, охлаждающая жидкость, системы охлаждения.

**APPLICATION OF NANOFLUIDS AS A COOLANT IN COOLERS FUNCTIONAL UNITS OF
AUTOMOTIVE EQUIPMENT***¹Parlyuk Ekaterina**¹Russian Timiryazev State Agrarian University*

Abstract. Nanofluids are promising coolants, their use contributes to a decrease in the metal consumption of units, an increase in the safety of use in emergency transient modes accompanied by boiling. Opportunities, features and prospects for the use of innovative coolants as cooling liquids for automotive vehicles, which will allow to overcome the threshold of inefficiency of mixtures of water and ethylene glycol, which consists in low thermal conductivity are considered. Nanofluids consisting of a base fluid (water, ethylene glycol, machine oil) and nanoparticles of a highly thermally conductive material are proposed to be used as innovative heat transfer fluids. Analysis of the obtained values of thermal conductivity for nanoparticles of aluminum oxide, copper, silicon carbide, gold, copper shows the advantages of the latter. If you add 2% (volumetric) copper nanoparticles to the coolant, then the increase in heat transfer will be from 42.7 to 45.2% and will make it possible reduce the size of the radiator by ~ 18.7%, but the pumping load will increase by 12.13%. The thermal conductivity of carbon nanotubes is significantly higher than that of metals and the base liquid, which can lead to significant changes in the thermophysical properties of nanofluids and enhancement of heat exchange processes in them. Nanofluids can replace traditional coolant mixtures.

Keywords: nanofluid, nanoparticles, coolant, cooling systems.

Введение. Охлаждающая жидкость – один из важнейших компонентов высокопроизводительной системы охлаждения. Его никогда не следует игнорировать, потому что

он передает тепло от двигателя к радиатору, защищает двигатель и систему охлаждения от ржавчины и коррозии, предотвращает замерзание системы в холодном климате. Большинство автомобильных двигателей удаляют излишки тепла за счет водяного охлаждения. Однако термин вода означает «антифриз» и «охлаждающую жидкость на водной основе», а не только воду. В автомобильной промышленности используется термин «охлаждающая жидкость двигателя», который охватывает функцию теплопередачи первичной конвекцией в двигателях внутреннего сгорания.

Непрерывное технологическое развитие и социальные изменения в автомобильной промышленности увеличили спрос на высокоэффективные двигатели. Помимо высокой производительности для них важными факторами являются экономия топлива, более низкие выбросы, снижение веса для повышения производительности автомобиля. Одним из оптимизируемых параметров является радиатор. Чтобы повысить эффективность радиатора, количество ребер значительно увеличивают, что повышает площадь охлаждающей поверхности. Эти модификации (увеличение ребер и использование микроканалов) могут увеличить скорость охлаждения. В настоящее время разработка достигла своих обозримых пределов в повышении эффективности радиаторов. После структурных изменений следующая возможность развития — это сама охлаждающая жидкость. Используемые сегодня охлаждающие жидкости на основе воды и этиленгликоля имеют относительно низкую теплопроводность. Единственный способ преодолеть этот порог неэффективности — это использовать инновационные теплоносители в автомобильных радиаторах, в частности «наножидкости».

Сегодня интерес к получению наножидкостей (термин появился в 1995 году [1]) для охлаждающих систем и исследованию их свойств наблюдается во многих странах, о чем можно судить по экспоненциальному росту числа публикаций, посвященных этому вопросу [1-14].

Под «наножидкостью» понимают базовую жидкость с равномерно распределенными в ней твердыми наночастицами какого-либо высокотеплопроводного материала. В отличие от частиц более крупного размера, наночастицы медленнее оседают и поэтому не должны приводить к засорению системы охлаждения. Известны два способа получения наножидкостей: 1 – получение наночастиц и распределение их в жидкости химическими методами или методами испарения в жидкости; 2 - первоначальное получение различными методами наночастиц с последующим диспергированием их в несущей жидкости при помощи ультразвука или магнитного поля. Второй способ легче реализуется в промышленных масштабах, поэтому вызывает больший интерес.

Идея использования наножидкостей в охлаждающих системах состоит в гипотезе об изменении теплофизических свойств материала при смешении металлических и неметаллических материалов с высокой теплопроводностью с базовой теплопроводящей жидкостью с более низкими показателями [11]. К сожалению, часто экспериментально полученные теплофизические характеристики наножидкостей имеют противоречивый характер. Много трудностей возникает при их теоретическом описании. Возможно, это связано с сложностью протекающих процессов в наножидкостях и отсутствием в настоящее время приемлемой теории, предсказывающей изменения теплофизических характеристик наножидкостей.

В данной работе предлагается модифицировать охлаждающие жидкости введением в них наночастиц меди.

Результаты и обсуждение. В качестве базовой жидкости возможно использование воды, этиленгликоля, машинного масла. Все эти жидкости обладают низкой теплопроводностью (таблица 1), причем наименьшее значение наблюдается у машинного масла (0,145 Вт/м·К). Для получения наножидкостей используют наночастицы металлов и их оксидов, а также углеродных нанотрубок (одно-, двух- или многостеночных с различным соотношением длины трубки к ее диаметру). Наночастицы обладают таким уникальным свойством, как большое отношение площади поверхности к объему и имеют размеры от 1 до 100 нм. Металлическая медь обладает теплопроводностью в 10 раз превышающей теплопроводность ее оксида. Для наночастиц меди характерна сильная каталитическая активность из-за поверхностного эффекта, вызванного малыми размерами и большой пористостью. Такие свойства способствуют более высокому выходу реакции и сокращению времени ее протекания при использовании в качестве реагентов в органическом и металлоорганическом синтезе.

Данные, приведенные в таблице 1 показывают существенное превосходство углеродных нанотрубок по теплопроводности относительно металлов, их оксидов и базовой жидкости. Можно ожидать, что их введение в базовую жидкость приведет к значительным изменениям теплофизических свойств и усилению теплообменных процессов.

Таблица 1 – Теплопроводность наножидкостей

№ п/п	Название материала	Теплопроводность k , Вт/м·К
1	Глинозем (окись алюминия, Al_2O_3)	20
2	Медь (Cu)	401
3	Оксид меди(II) (CuO)	40
4	Золото (Au)	317
5	Карбид кремния (SiC)	120
6	Углеродные нанотрубки	3000
7	Вода	0,550
8	Этиленгликоль	0,253
9	Масло машинное	0,145

Наножидкость может быть использована с хорошей эффективностью при смешивании с наночастицами этиленгликоля и меди. В таких случаях важно исследовать влияние объемной доли наночастиц меди и базовой жидкости на тепловые характеристики или уменьшить размер радиатора. Наночастицы меди имеют лучшую теплопроводность, чем другие наночастицы (например, оксид алюминия).

Теплофизические свойства материала характеризуются двумя важными характеристиками: коэффициентом теплоотдачи, числом Нуссельда и критерием Прандтля (таблица 2).

Таблица 2 – Теплофизические характеристики материала

Характеристика	Формула
Коэффициентом теплоотдачи	$a = \frac{Nu \cdot \gamma}{d}, \text{ где } Nu = \frac{h \cdot d}{\lambda}$ <p>Nu – число Нуссельта; γ – коэффициент теплопроводности жидкости при средней температуре, Вт/(м·град); d – эквивалентный диаметр</p> $d = \frac{4S}{P}$ <p>S – площадь сечения канала, м²; P – периметр канала, м.</p>
Число Нуссельта характеризует интенсивность теплообмена на границе «твердое тело-жидкость».	$Nu = \frac{aL}{\gamma_{cp}}, \text{ где } a = \frac{q}{L \cdot (T_{поверхности} - T_{среды})}$ <p>a – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности размером L (обычно за определяющий выбирается тот размер, в направлении которого происходит движение основного потока жидкой или газообразной среды); γ_{cp} – коэффициент теплопроводности омывающей среды.</p>
Критерий Прандтля, содержащий только физические параметры жидкости, характеризует влияние теплофизических свойств среды на конвективный теплообмен и является мерой подобия полей температур и скоростей.	$Pr = \frac{\omega}{\tau_{cp}}$ <p>ω – кинематическая вязкость среды; τ_{cp} – коэффициент температуропроводности среды.</p>

На рисунке 1 хорошо показан эффект от добавления наночастиц в охлаждающие жидкости. Уменьшение можно наблюдать для чисел Нуссельта и Прандтля.

Рисунок 1 – Влияние объемной доли наночастиц меди на теплоноситель

Если наночастицы меди используются в охлаждающей жидкости в количестве 2 % по объему, увеличение теплопередачи составляет от 42,7 до 45,2 %.—Использование такого большого количества наночастиц меди дает возможность уменьшить размер радиатора примерно на 18,7 %. Несмотря на множество положительных эффектов наночастиц, важно учитывать их отрицательное влияние на усилие накачки. Нагрузка перекачки увеличивается на 12,13 % при добавлении 2 % наночастиц меди в теплоноситель [13].

Наножидкостный хладагент влияет на температуру на входе, что влияет на тепловую мощность радиатора.

Следовательно, это влияет как на скорость теплопередачи, так и на число Нуссельта из-за увеличения теплопроводности жидкости и снижения вязкости.

В таблице 3 показано увеличение теплопередачи в зависимости от температуры на входе по сравнению с теплопередачей.

Использование наножидкости позволяет создать более благоприятные условия эксплуатации. Однако увеличение интенсивности теплопередачи приводит к дополнительной насосной нагрузке (из-за повышенной кинематической вязкости). Еще одна проблема, связанная с наножидкостями, — это стабильность и необходимость правильной (уменьшающей седиментацию) конструкции каналов потока [13].

Использование наножидкостей в качестве теплоносителей в охладителях транспортных силовых установок существенно изменит процесс охлаждения за счет изменения габаритов и веса оборудования. Так, например, использование в качестве теплоносителя наножидкости на основе воды с частицами Cu при моделировании охлаждения дизельного двигателя автомобиля «Chevrolet Suburban» позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи в латунных трубках радиатора двигателя на 10 %, по сравнению с классическими теплоносителями [14].

Наножидкости могут заменить традиционные смеси охлаждающих жидкостей, используемые сегодня. При использовании наножидкостей теплоотдача теплоносителя может быть увеличена на 15...40 %. таким образом, было показано, что интенсификация теплообмена за счет применения наножидкостей является нетривиальной задачей. положительный эффект интенсификации теплообмена зависит от соотношения между вязкостью и теплопроводностью наножидкости, а значит от материала частиц и их концентрации. это дает возможность управления процессом теплообмена при помощи выбора нужной концентрации частиц и их материала.

Наибольший эффект от уменьшения размера радиатора проявляется в аэродинамическом дизайне автомобиля. Коэффициент сопротивления можно свести к минимуму, что значительно улучшает экономию топлива.

Таблица 3 – Сравнение различных охлаждающих наножидкостей

	Объемная доля (%)	Улучшение теплопередачи (%) - из-за температуры на входе	Улучшение теплопередачи (%) - общее улучшение теплопередачи
Оксид алюминия Al_2O_3 / вода	1,00	6,00	45,00
Оксид алюминия Al_2O_3 / Этиленгликоль	1,00	7,00	40,00
Оксид алюминия Al_2O_3 / вода + этиленгликоль	0,20	26,00	30,00
Диоксид кремния SiO_2 / вода	0,06	6,70	15,00
Оксид меди CuO / вода + этиленгликоль	0,80	19,68	55,00

Выводы. Таким образом, использование наножидкостей в качестве теплоносителя безусловно перспективно, так как делает возможным снижение металлоемкости оборудования и повышение безопасности его использования в аварийных переходных режимах, сопровождающихся кипением.

Исследование наножидкостей требует дальнейших комплексных экспериментальных исследований их свойств, теоретического анализа, составление общих расчетных корреляций.

Список литературы

1. Chol S. U. S., Estman J. A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles // ASME-Publications-Fed. – 1995. – Т. 231. – С. 99-106.
2. Das S. K. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids // Journal of heat transfer. - 2003. – Т. 125. – №. 4. – С. 567-574.
3. Das S. K., Chol S. U. S., Patel H.E. Heat transfer in nanofluids—a review,” // Heat Transfer Engineering. – 2006. – V. 27, №.10. – Pp. 3–19.
4. Buongiorno J. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids // Journal of Applied Physics. – 2009. – Т. 106., №. 9. – С. 094312.
5. Namburu P. K. et al. Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids // Micro & Nano Letters. – 2007. – Т. 2, №. 3. – С. 67-71.
6. Koblinski P., Prasher R., Eapen J. Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? // Journal of Nanoparticle research. – 2008. – Т. 10, №. 7. – С. 1089-1097.
7. Kulkarni D. P., Das D. K., Vajjha R. S. Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution // Applied Energy. – 2009. – Т. 86, №. 12. – С. 2566-2573.
8. Sharifi I., Shokrollahi H., Amiri S. Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2012. – Т. 324, №. 6. – С. 903-915.
9. Kaufui Vincent Wong Applications of Nanofluids: Current and Future // Advances in Mechanical Engineering . – 2010. – № 2. – Pp.11. – DOI:10.1155/2010/519659
10. Рудяк В. Я., Томилина Е. А., Белкин А. А. О коэффициенте теплопроводности наножидкостей // Письма в ЖТФ. – 2010.– Т. 36 (14), – С. 49-54.
9. Бардаханов С. П., Новопашин С. А., Серебрякова М. А. Исследование теплопроводности наножидкостей на основе наночастиц оксида алюминия // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2012. – № 3 (1). – С. 27-33.

10. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей // Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17, № 1. – С. 1-15.

11. Экспериментальный метод измерения теплопроводности наножидкости / А. В. Жаров, Н. Г. Савинский, А. А. Павлов, А. Н. Евдокимов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6. – С. 1345-1350.

12. Сироткина А. Л., Федорович Е. Д., Сергеев В. В. Теплообмен в наножидкостях (обзор исследований). Часть 1. Однофазный теплообмен // Тепловые процессы в технике. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 60-65.

13. О механизме процесса переноса тепла в наножидкостях и их применение / М. М. Сафаров, М. А. Зарипова, Т. Р. Тиллоева, Н. Б. Давлатов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 4(36). – С. 15-19.

14. Bozorgan N., Krishnakumar K., Bozorgan Nar. Numerical study on application of CuO-Water nanofluid in automotive diesel engine radiator // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – № 2. – Pp. 130-136.

References

1. Chol S. U. S., Estman J. A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles // ASME-Publications-Fed. – 1995. – Т. 231. – S. 99-106.

2. Das S. K. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids // Journal of heat transfer. – 2003. – Т. 125. – №. 4. – S. 567-574.

3. Das S. K., Chol S. U. S., Patel H.E. Heat transfer in nanofluids—a review,” // Heat Transfer Engineering. – 2006. – V. 27, №.10. – Pp. 3–19.

4. Buongiorno J. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids // Journal of Applied Physics. – 2009. – Т. 106., №. 9. – S. 094312.

5. Namburu P. K. et al. Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids // Micro & Nano Letters. – 2007. – Т. 2, №. 3. – С. 67-71.

6. Keblinski P., Prasher R., Eapen J. Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? // Journal of Nanoparticle research. – 2008. – Т. 10, №. 7. – S. 1089-1097.

7. Kulkarni D. P., Das D. K., Vajjha R. S. Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution // Applied Energy. – 2009. – Т. 86, №. 12. – С. 2566-2573.

8. Sharifi I., Shokrollahi H., Amiri S. Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2012. – Т. 324, №. 6. – S. 903-915.

9. Kaufui Vincent Wong Applications of Nanofluids: Current and Future // Advances in Mechanical Engineering . – 2010. – № 2. – Rr.11. – DOI:10.1155/2010/519659

10. Rudyak V. YA., Tomilina E. A., Belkin A. A. O koefficiente teploprovodnosti nanozhidkostej // Pis'ma v ZHTEF. – 2010. – Т. 36 (14), – S. 49-54.

9. Bardahanov S. P., Novopashin S. A., Serebryakova M. A. Issledovanie teploprovodnosti nanozhidkostej na osnove nanochastic oksida alyuminiya // Nanosistemy: fizika, himiya, matematika. – 2012. – № 3 (1). – S. 27-33.

10. Terekhov V. I., Kalinina S. V., Lemanov V. V. Mekhanizm teploperenosa v nanozhidkostyah: sovremennoe sostoyanie problemy (obzor). CHast' 1. Sintez i svojstva nanozhidkostej // Teplofizika i aeromekhanika. – 2010. – Т. 17, № 1. – С. 1-15.

11. Eksperimental'nyj metod izmereniya teploprovodnosti nanozhidkosti / A. V. ZHarov, N. G. Savinskij, A. A. Pavlov, A. N. Evdokimov // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 8-6. – С. 1345-1350.

12. Sirotkina A. L., Fedorovich E. D., Sergeev V. V. Teploobmen v nanozhidkostyah (obzor issledovaniy). CHast' 1. Odnofaznyj teploobmen // Teplovyje processy v tekhnike. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 60-65.

13. О механизме процесса переноса тепла в наножидкостях и их применение / М. М. Сафаров, М. А. Зарипова, Т. Р. Тиллоева, Н. Б. Давлатов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 4(36). – С. 15-19.

14. Bozorgan N., Krishnakumar K., Bozorgan Nar. Numerical study on application of CuO-Water nanofluid in automotive diesel engine radiator // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – № 2. – Pp. 130-136.

Сведения об авторах**Принадлежность к организации.**

Парлюк Екатерина Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Author credentials**Affiliations**

Parlyuk Ekaterina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2021

УДК 620.197.7:631.17

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-79-90

О КОРРОЗИОННЫХ ПРОБЛЕМАХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

¹Князева Лариса Геннадьевна

¹Дорохов Андрей Валерьевич

¹Курьято Николай Алексеевич

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Дан анализ некоторых коррозионных проблем в АПК, связанных с различными климатическими условиями, специфическими средами эксплуатации техники и оборудования и показаны некоторые частные пути решения, связанные с использованием противокоррозионных материалов, доступных и эффективных в сельскохозяйственном производстве. Исследовали действие на сталь Ст3 0,5 М раствора NaCl, грунтов: чернозема обыкновенного (ЧО), чернозема выщелоченного (ЧЩ), темно-каштановой почвы., удобрений: азофоски, карбамида, аммиачной селитры, суперфосфата. Длительными исследованиями (до 160 суток) показана перспективность использования в приморских атмосферах с большим содержанием хлорида натрия отстоев растительных масел и продуктов очистки отработанного моторного масла, обеспечивающих защитную эффективность 88-100 %. Показано, что самой высокой скорости коррозии на стали Ст3 соответствует самое низкое значение pH в почвенных вытяжках чернозема выщелоченного. Установлено, что в высушенных грунтах в отсутствии влаги в течении трех месяцев коррозия на стальных пластинах не начиналась. В открытой атмосфере наиболее агрессивны ЧЩ и ЧО с добавкой аммиачной селитры и азофоски. Показано, что наибольшие скорости коррозии наблюдаются в аммиачной селитре как в твердом (0,023 г/м²·ч), так и в жидком (0,240 г/м²·ч) виде. Наименее агрессивен – карбамид. Поверхности стали, имеющие следы минеральных удобрений хорошо защищают нефтяные и синтетические отработанные масла. ингибированные Эмульгином (5 масс. %), водно-восковые составы серии Герон, отстой растительных масел. Установлено, что при относительной влажности воздуха Н = 100% скорость общей коррозии стали Ст3 превышает значения для меди или латуни. Эта картина сохраняется при Н = 100% и одновременном присутствии стимуляторов коррозии CO₂, H₂S, NH₃ в концентрациях, в три раза превышающих предельно допустимые для животноводческих помещений. Уменьшить скорость коррозии металлов в присутствии стимуляторов коррозии на один-два порядка позволяет использование летучего ингибитора коррозии ИФХАН-118

Ключевые слова: коррозионные проблемы, сельскохозяйственное производство, климат, сезонность, среда эксплуатации, сталь, защита, минеральные удобрения