Аманжолова, Республика Казахстан, докторант образовательной программы 8D05302 «Техническая физика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: daryn.baizhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9105-3129.

Garip Erdogan – Metallurgical and Materials Engineering Department, Materials Under Extreme Conditions Lab., Sakarya University, Turkey; e-mail: gerdogan@sakarya.edu.tr. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3924-9984.

Темірлан Әлімбекұлы* – Младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан, докторант 2 курса образовательной программы 8D07102 – «Машиностроение», Восточно-Казахстанский технический университет имени Даулета Серикбаева, Республика Казахстан; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Нурмаханбет Саятулы Райсов – младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: 2002raisov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1698-957X.

Елжан Еркінулы Біржан – студент 4 курса образовательной программы 6B01509 «Физика-Информатика», Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: ebirzan0@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3363-4856.

Received 01.06.2026
Revised 08.09.2026
Accepted 10.09.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-75

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 29.17.19

А.А. Бектемисов*, М.В. Ермоленко
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: anekin88@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 и Al_2O_3 НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Аннотация: *Повышение эффективности теплоотвода при одновременном сохранении приемлемых реологических характеристик является одним из основных требований к наножидкостям на основе растительных масел. В настоящей работе проведено сравнительное исследование влияния наночастиц TiO_2 и Al_2O_3 на коэффициент теплопроводности и кинематическую вязкость подсолнечного масла. Рассмотрены массовые концентрации наночастиц 4 и 8 масс.% в диапазоне температур 293-323 K. Установлено, что введение обоих типов наночастиц повышает теплопроводность базовой жидкости, при этом TiO_2 обеспечивает более выраженный эффект. Для 4 масс.% TiO_2 относительное увеличение коэффициента теплопроводности составляет 8,2-8,5 %, тогда как для Al_2O_3 при той же концентрации составляет 6,1-6,4 %. При концентрации 8 масс.% увеличение составляет соответственно 14,0-14,3 и 12,0-12,4 %. Вместе с тем добавление наночастиц сопровождается повышением кинематической вязкости. Наиболее существенное увеличение наблюдается для 8 масс.% Al_2O_3 и составляет 95-97 %, тогда как для 8 масс.% TiO_2 находится в пределах 64-65 %. Полученные результаты показывают, что TiO_2 в исследованных условиях обеспечивает более благоприятное сочетание увеличения теплопроводности и вязкостных характеристик по сравнению с Al_2O_3. Наблюдаемое различие рассмотрено с позиций формирования межфазного слоя, подвижности наночастиц и особенностей их агрегирования в масляной среде.*

Ключевые слова: *подсолнечное масло; нанолубрикант; TiO_2; Al_2O_3; теплопроводность; кинематическая вязкость; наночастицы.*

Введение

Растительные масла представляют значительный интерес в качестве базовой среды для теплоносителей и технологических жидкостей благодаря их природному происхождению и характерным смазывающим свойствам. Одновременно их теплофизические характеристики

существенно зависят от температуры. Esteban et al. показали выраженную температурную зависимость плотности и вязкости ряда растительных масел, включая подсолнечное, соевое и пальмовое масла; особенно заметным является снижение вязкости при повышении температуры [1].

Наряду с реологическими характеристиками для технологического применения растительных масел важным параметром является теплопроводность. Okafor и Nwoguh экспериментально исследовали вязкость и теплопроводность растительных масел как базовых жидкостей и показали необходимость совместного рассмотрения этих характеристик при оценке их теплофизической эффективности [2].

Одним из способов изменения теплофизических свойств растительных масел является введение дисперсной фазы в виде наночастиц. В литературе представлены исследования как мононаножидкостей, так и систем с несколькими типами наночастиц. При этом эффективность модификации зависит от материала наночастиц, их концентрации, температуры и свойств базового масла. Основные исследования, наиболее близкие к рассматриваемой задаче, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследования теплофизических характеристик наножидкостей на основе масел

Источник	Базовая жидкость и наночастицы	Основные исследуемые параметры и условия
Nwoguh et al. [3]	Высокоолеиновое соевое масло; Al_2O_3, MoS_2 и TiO_2	Частицы около 30 нм, 0,5-4,0 масс.%, 25-70 °C; исследованы теплопроводность и вязкость
Wanatasanappan et al. [4]	Кокосовое, соевое и пальмовое масла; Al_2O_3-TiO_2	Соотношение 50:50, 0,2-0,6 масс.%, 30–60 °C; теплопроводность, вязкость и плотность
Sarafraz et al. [5]	Кокосовое масло; Ag	Исследованы теплопроводность и вязкость наножидкости и их изменение с температурой и концентрацией
Jyothish et al. [6]	Подсолнечная олеиновая основа; $ZnTiO_3$, BN, CuO	1-4 масс.%, 30-70 °C; исследованы теплопроводность, вязкость и реологические свойства
Tiwari et al. [7]	Кокосовое масло; Al_2O_3	0,25-1,50 масс.%; исследованы теплопроводность, динамическая вязкость и смачиваемость
Yiamsawas et al. [8]	Смесь этиленгликоль/вода; TiO_2 и Al_2O_3	0-4 об.%, 15-60 °C; проведено прямое сравнение влияния TiO_2 и Al_2O_3 на вязкость
Okafor et al. [9]	Высокоолеиновые растительные масла; гибридные системы GnP, TiO_2, MoS_2, Al_2O_3	Исследовано изменение теплопроводности гибридных наножидкостей
Okafor et al. [10]	Высокоолеиновое соевое масло; TiO_2, Al_2O_3, MoS_2 и графеновые нанопластинки	Проведено сравнительное исследование теплопроводности и вязкости в зависимости от температуры и концентрации

Следовательно, анализ литературы показывает, что основное внимание исследователей уделяется влиянию температуры и концентрации наночастиц на теплопроводность и вязкость растительных масел. Вместе с тем сравнительная оценка TiO_2 и Al_2O_3 при одинаковых повышенных массовых концентрациях представляет отдельный интерес, поскольку более высокая теплопроводность материала наночастицы в монолитном состоянии не обязательно приводит к более высокому приросту эффективной теплопроводности наножидкости.

В настоящем исследовании в качестве базовой жидкости используется подсолнечное масло, а в качестве дисперсной фазы - наночастицы TiO_2 и Al_2O_3 с концентрациями 4 и 8 масс.%. Цель работы заключается в сравнительной оценке влияния TiO_2 и Al_2O_3 на коэффициент теплопроводности и кинематическую вязкость подсолнечного масла в диапазоне температур 293-323 K, а также в анализе причин различий между полученными характеристиками.

Материалы и методы

В качестве базовой жидкости в эксперименте использовалось подсолнечное масло. В исследуемую жидкость вводились наночастицы двух типов – TiO_2 и Al_2O_3. Для каждого материала исследовались две массовые концентрации: 4 и 8 масс.%.

Экспериментальные данные получены при четырех значениях температуры: 293, 303, 313 и 323 K. Для каждого температурного состояния определялись коэффициент теплопроводности и кинематическая вязкость базового подсолнечного масла и четырех наножидкостей: TiO_2 4 масс.%, TiO_2 8 масс.%, Al_2O_3 4 масс.% и Al_2O_3 8 масс.%.

Методика приготовления состояла из следующих стадий:

1) На первом этапе подсолнечное масло разбавляли гексаном, чтобы снизить его вязкость и упростить дальнейшее перемешивание;

2) В полученный раствор вводили наночастицы (TiO_2, Al_2O_3), после чего подвергали суспензию ультразвуковой обработке при помощи диспергатора JY92-IIDN для достижения гомогенного распределения твердой фазы (рис. 1а);

3) На финальной стадии гексан отгоняли на роторном испарителе Stegler RE-52CS, в результате чего было получено подсолнечное масло с равномерно распределенными наночастицами (рис. 1б).

Измерение теплопроводности производилось с использованием анализатора теплопроводности Thermtest THW-L2 (рис. 1в). Схема установки для определения кинематической вязкости состоит из термостатический бани LOIP-LT и стеклянного вискозиметра (рис 1г.)

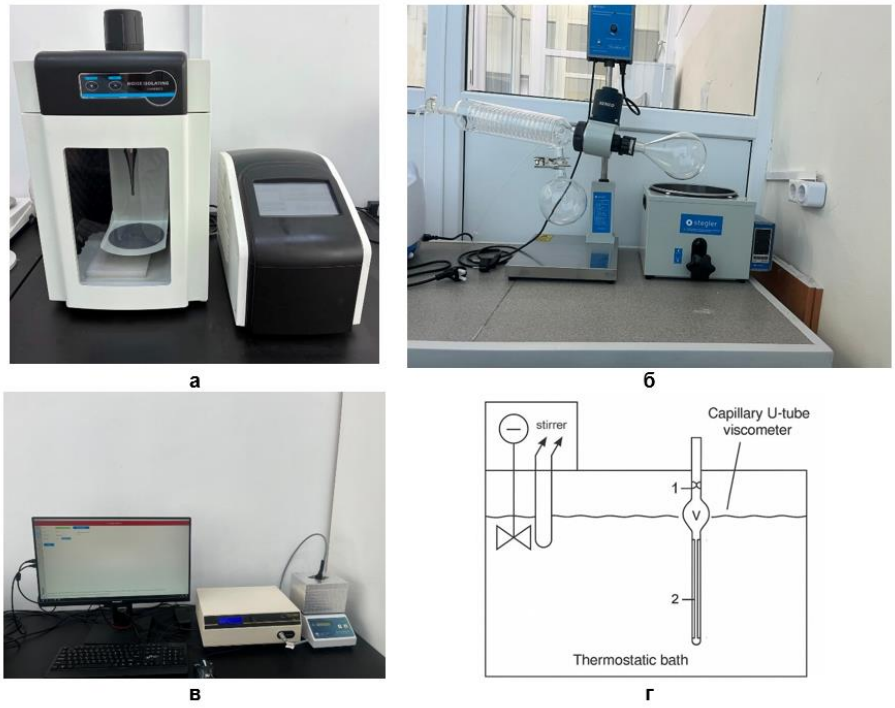


Рисунок 1 – Оборудование, задействованное при приготовлении наномасла и измерении его теплофизических свойств
а – диспергатор JY92-IIDN; б – роторный испаритель Stegler RE-52CS;
в – анализатор теплопроводности Thermtest THW-L2; г – схема установки для определения кинематической вязкости

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности подсолнечного масла и наножидкостей с TiO_2 и Al_2O_3. Согласно экспериментальным данным, для всех исследуемых составов коэффициент теплопроводности постепенно уменьшается при повышении температуры от 293 до 323 K.

Одновременно во всём рассматриваемом диапазоне температур наножидкости имеют более высокую теплопроводность по сравнению с исходным подсолнечным маслом.

При 293 K коэффициент теплопроводности исходного подсолнечного масла составляет 0,169 Вт/(м·K). Введение 4 масс.% TiO_2 повышает его до 0,183 Вт/(м·K), а увеличение концентрации TiO_2 до 8 масс.% – до 0,193 Вт/(м·K). Для Al_2O_3 при тех же концентрациях получены значения 0,179 и 0,189 Вт/(м·K) соответственно.

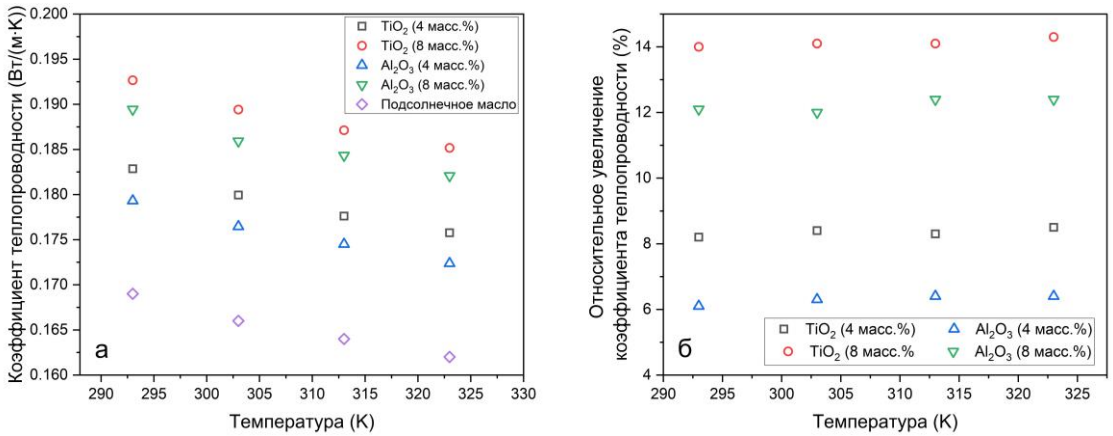


Рисунок 2 – Зависимость характеристик теплопроводности от температуры:
а – коэффициент теплопроводности; б – относительное увеличение коэффициента теплопроводности

При 323 K коэффициент теплопроводности подсолнечного масла снижается до 0,162 Вт/(м·K). При этом значения для TiO_2 составляют 0,176 Вт/(м·K) при 4 масс.% и 0,185 Вт/(м·K) при 8 масс.%, тогда как для Al_2O_3 получены соответственно 0,172 и 0,182 Вт/(м·K).

Следовательно, при одинаковой массовой концентрации TiO_2 обеспечивает более высокий коэффициент теплопроводности, чем Al_2O_3, во всех четырех исследованных температурных точках.

Различие особенно наглядно проявляется при рассмотрении относительного увеличения коэффициента теплопроводности.

Для наножидкости с 4 масс.% TiO_2 относительный прирост теплопроводности находится в узком диапазоне 8,2-8,5 %. При 4 масс.% Al_2O_3 соответствующий прирост составляет 6,1-6,4 %. Таким образом, уже при меньшей из двух исследуемых концентраций TiO_2 показывает более выраженное повышение теплопроводности.

При увеличении содержания наночастиц до 8 масс.% относительный прирост становится значительно выше для обоих оксидов. Для TiO_2 он составляет 14,0-14,3 %, тогда как для Al_2O_3 – 12,0-12,4 %. При этом преимущество TiO_2 сохраняется во всём диапазоне 293-323 K.

Температурные зависимости кинематической вязкости имеют более выраженный характер. Для подсолнечного масла и всех исследуемых наножидкостей повышение температуры сопровождается существенным уменьшением кинематической вязкости (рис. 3).

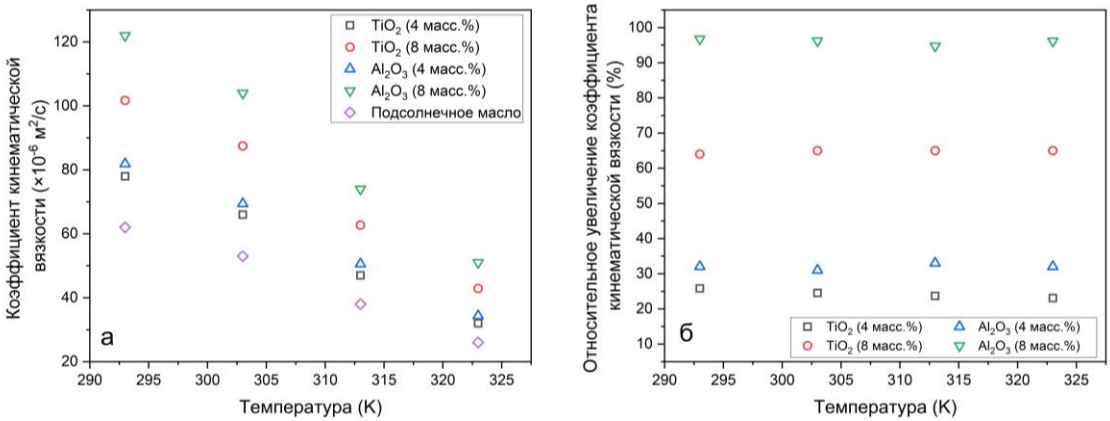


Рисунок 3 – Зависимость характеристик кинематической вязкости от температуры:
а – коэффициент кинематической вязкости; б – относительное увеличение коэффициента кинематической вязкости

При 293 K кинематическая вязкость подсолнечного масла составляет $62 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Добавление 4 масс.% TiO_2 повышает её до $78 \cdot 10^{-6}$ м²/с, а 8 масс.% – до $102 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Для Al_2O_3 значения составляют соответственно $82 \cdot 10^{-6}$ и $122 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

При повышении температуры до 323 K вязкость базового масла уменьшается до $26 \cdot 10^{-6}$ м^2/с. Для наножидкостей с TiO_2 получены значения $32 \cdot 10^{-6}$ и $43 \cdot 10^{-6}$ м^2/с при концентрациях 4 и 8 масс.% соответственно. Для Al_2O_3 значения составляют $34 \cdot 10^{-6}$ и $51 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

При концентрации 4 масс.% TiO_2 относительное увеличение кинематической вязкости составляет 23-26 %, тогда как для Al_2O_3 оно достигает 31-33 %. Более выраженное различие наблюдается при концентрации 8 масс.%. Для TiO_2 увеличение составляет 64-65 %, в то время как для Al_2O_3 оно находится в диапазоне 95-97 %.

Именно поэтому, Al_2O_3 оказывает значительно более сильное влияние на вязкость подсолнечного масла по сравнению с TiO_2. При этом относительное увеличение вязкости для каждого состава остаётся сравнительно стабильным при изменении температуры, несмотря на существенное снижение абсолютных значений вязкости.

Заключение

Экспериментально установлено, что введение TiO_2 и Al_2O_3 повышает коэффициент теплопроводности подсолнечного масла при обеих исследуемых концентрациях. При этом TiO_2 обеспечивает более высокий прирост теплопроводности: 8,2-8,5 % при 4 масс.% и 14,0-14,3 % при 8 масс.%. Для Al_2O_3 соответствующие значения составляют 6,1-6,4 и 12,0-12,4 %.

Повышение температуры от 293 до 323 K сопровождается постепенным снижением абсолютного коэффициента теплопроводности всех исследованных жидкостей. Наибольшее значение во всём температурном диапазоне сохраняется для состава с 8 масс.% TiO_2.

Кинематическая вязкость с повышением температуры существенно уменьшается, однако введение наночастиц увеличивает её относительно исходного подсолнечного масла. Наиболее выраженное увеличение характерно для Al_2O_3. При 8 масс.% Al_2O_3 относительное повышение вязкости составляет 95-97 %, тогда как для 8 масс.% TiO_2 – 64-65 %.

Несмотря на более высокую объёмную теплопроводность монолитного Al_2O_3, в рассматриваемой дисперсной системе TiO_2 обеспечивает более высокий прирост эффективной теплопроводности. Согласно исходной интерпретации результатов, наблюдаемое различие связано с совокупным влиянием межфазного слоя, подвижности наночастиц, характера их агрегирования и вязкости базовой среды.

По совокупности исследованных параметров TiO_2 характеризуется более благоприятным соотношением между повышением коэффициента теплопроводности и увеличением кинематической вязкости по сравнению с Al_2O_3.

Список литературы

1. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils / Esteban B. et al // Biomass and Bioenergy. – 2012. – Vol. 42. – P. 164-171. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.007.
2. Okafor A.C. A study of viscosity and thermal conductivity of vegetable oils as base cutting fluids for minimum quantity lubrication machining of difficult-to-cut metals / A.C. Okafor, T.O. Nwoguh // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 106. – P. 1121-1131. https://doi.org/10.1007/s00170-019-04611-3.
3. Nwoguh T.O. Enhancement of viscosity and thermal conductivity of soybean vegetable oil using nanoparticles to form nanofluids for minimum quantity lubrication machining of difficult-to-cut metals / T.O. Nwoguh et al // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2021. – Vol. 113. – P. 3377-3388. https://doi.org/10.1007/s00170-021-06812-1.
4. Wanatasanappan V.V. Thermophysical Properties of Vegetable Oil-Based Hybrid Nanofluids Containing Al_2O_3–TiO_2 Nanoparticles as Insulation Oil for Power Transformers / V.V. Wanatasanappan, M. Rezman, M.Z. Abdullah // Nanomaterials. – 2022. – Vol. 12, № 20, Art. 3621. https://doi.org/10.3390/nano12203621.
5. Thermal Performance and Viscosity of Biologically Produced Silver/Coconut Oil Nanofluids / M.M. Sarafraz et al // Chemical and Biochemical Engineering Quarterly. – 2016. – Vol. 30, № 4. – P. 489-500. https://doi.org/10.15255/CABEQ.2015.2203.
6. Jyothish P. Experimental investigation study on enhancing the thermal and rheological properties of sunflower vegetable oil with $ZnTiO_3$, BN, CuO nanofluid for machining of Inconel-718 under minimum quantity lubrication (MQL) / P. Jyothish, V. Vasu, D. Kashinath // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 59. – P. 1599-1607. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.147.

7. Tiwari S. Synthesis, characterization, and application of Al_2O_3/coconut oil-based nanofluids in sustainable machining of AISI 1040 steel / S. Tiwari, M. Amarnath, M.K. Gupta // Journal of Molecular Liquids. – 2023. – Vol. 386, Art. 122465. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122465.
8. Experimental studies on the viscosity of TiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles suspended in a mixture of ethylene glycol and water for high temperature applications / T. Yiamsawas et al // Applied Energy. – 2013. – Vol. 111. – P. 40-45. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.068.
9. Thermal Conductivity Characterization of High Oleic Vegetable Oils Based Hybrid Nanofluids Formulated Using GnP, TiO_2, MoS_2, Al_2O_3 Nanoparticles for MQL Machining / A.C. Okafor et al // International Journal of Thermophysics. – 2024. – Vol. 45, Art. 169. https://doi.org/10.1007/s10765-024-03472-7.
10. Thermal conductivity and viscosity characterization of soybean oil nanofluids dispersed with graphene nanoplatelets, MoS_2, TiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles for MQL machining / A.C. Okafor et al // Discover Nano. – 2026. – Vol. 21, Art. 303. https://doi.org/10.1186/s11671-026-04754-9.

Сведения о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26100207).

А.А. Бектемисов*, М.В. Ермоленко
«Шәкәрім университеті» КеАҚ,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка көш., 20 А
*e-mail: anekin88@gmail.com

TiO_2 ЖӘНЕ Al_2O_3 НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ КҮНБАҒЫС МАЙЫНЫҢ ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІГІ МЕН КИНЕМАТИКАЛЫҚ ТҰТҚЫРЛЫҒЫНА САЛЫСТЫРМАЛЫ ӘСЕРІ

Өсімдік майлары негізіндегі наносұйықтықтарға қойылатын негізгі талаптардың бірі – қолайлы реологиялық сипаттамаларды сақтай отырып, жылу әкету тиімділігін арттыру. Осы жұмыста TiO_2 және Al_2O_3 нанобөлшектерінің күнбағыс майының жылуөткізгіштік коэффициенті мен кинематикалық тұтқырлығына әсері салыстырмалы түрде зерттелді. 293-323 K температура аралығында нанобөлшектердің 4 және 8 масс.% концентрациялары қарастырылды. Нанобөлшектердің екі түрін де енгізу базалық сұйықтықтың жылуөткізгіштігін арттыратыны анықталды, бұл ретте TiO_2 анағұрлым айқын әсер көрсетті. 4 масс.% TiO_2 үшін жылуөткізгіштік коэффициентінің салыстырмалы артуы 8,2-8,5%-ды құраса, дәл осындай концентрациядағы Al_2O_3 үшін бұл көрсеткіш 6,1-6,4%-ды құрады. 8 масс.% концентрацияда өсім тиісінше 14,0-14,3 және 12,0-12,4% болды. Сонымен қатар, нанобөлшектерді қосу кинематикалық тұтқырлықтың артуымен қатар жүрді. Ең жоғары өсім 8 масс.% Al_2O_3 үшін байқалып, 95-97%-ды құрады, ал 8 масс.% TiO_2 үшін бұл көрсеткіш 64-65 % аралығында болды. Алынған нәтижелер зерттелген жағдайларда TiO_2 және Al_2O_3-пен салыстырғанда жылуөткізгіштіктің артуы мен тұтқырлық сипаттамаларының неғұрлым қолайлы үйлесімін қамтамасыз ететінін көрсетті. Байқалған айырмашылық фазааралық қабаттың түзілуі, нанобөлшектердің қозғалғыштығы және олардың майлы ортада агрегациялану ерекшеліктері тұрғысынан қарастырылды.

Түйін сөздер: *күнбағыс майы; наномайлағыш; TiO_2; Al_2O_3; жылуөткізгіштік; кинематикалық тұтқырлық; нанобөлшектер.*

A.A. Bektemissov*, M.V. Ermolenko
Shakarim University, 20A Glinka St., Semey, 071412, Republic of Kazakhstan
*e-mail: anekin88@gmail.com

COMPARATIVE EFFECT OF TiO_2 AND Al_2O_3 NANOPARTICLES ON THE THERMAL CONDUCTIVITY AND KINEMATIC VISCOSITY OF SUNFLOWER OIL

Improving heat dissipation efficiency while maintaining acceptable rheological characteristics is one of the main requirements for vegetable oil-based nanofluids. In the present study, a comparative investigation of the effects of TiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles on the thermal conductivity and kinematic viscosity of sunflower oil was carried out. Nanoparticle mass concentrations of 4 and 8 wt.% were considered within a temperature range of 293-323 K. It was established that the addition of both types of nanoparticles increased the thermal conductivity of the base fluid, with TiO_2 providing a more pronounced effect. For 4 wt.% TiO_2, the relative increase in thermal conductivity was 8.2-8.5%, whereas for Al_2O_3 at the same concentration it was 6.1-6.4%.

At a concentration of 8 wt.%, the corresponding increases were 14.0-14.3% and 12.0-12.4%, respectively. At the same time, the addition of nanoparticles was accompanied by an increase in kinematic viscosity. The most significant increase was observed for 8 wt.% Al_2O_3 and amounted to 95-97%, whereas for 8 wt.% TiO_2 it was within the range of 64-65%. The obtained results show that, under the investigated conditions, TiO_2 provides a more favorable combination of thermal conductivity enhancement and viscosity characteristics compared with Al_2O_3. The observed difference was considered in terms of interfacial layer formation, nanoparticle mobility, and the characteristics of nanoparticle aggregation in the oil medium.

Key words: *sunflower oil; nanolubricant; TiO_2; Al_2O_3; thermal conductivity; kinematic viscosity; nanoparticles.*

Сведения об авторах

Ануар Алмасбекович Бектемисов* – научный сотрудник кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: anekin88@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0364-4632.

Михаил Вячеславович Ермоленко – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1677-8023.

Авторлар туралы мәліметтер

Ануар Алмасбекович Бектемисов* – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының ғылыми қызметкері, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: anekin88@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0364-4632.

Михаил Вячеславович Ермоленко – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1677-8023.

Information about the authors

Anuar Almasbekovich Bektemissov* – researcher, Department of Technical Physics and Heat Power Engineering, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: anekin88@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0364-4632.

Mikhail Vyacheslavovich Yermolenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering», Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1677-8023.

Поступила в редакцию 10.06.2026
Поступила после доработки 16.07.2026
Принята к публикации 11.09.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-76

ГРНТИ 58.91.35

CC BY 4.0
Check for updates

Е.А. Қабдылқақов*, Н.Е. Мухамедов, А.С. Сураев, С.А. Должиков, А.В. Пахниц
[1]Филиал «Институт атомной энергии»
Национального ядерного центра Республики Казахстан
180010, Республика Казахстан, область Абай, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 10.
*e-mail kabdylkakov@nnc.kz

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ЭШП ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ РЕАКТОРА БН-350

Аннотация: *Переработка металлических твердых радиоактивных отходов (ТРО), образующихся при выводе из эксплуатации ядерных установок, является актуальной задачей, решение которой позволяет уменьшить объем отходов, подлежащих захоронению. В работе представлены результаты исследования возможности применения электрошлакового переплава (ЭШП) для переработки металлических ТРО реактора БН-350. Эксперимент проведен на установке ЭШП, ранее апробированной при очистке стальных жаровых труб исследовательского реактора*

©А.Ж. Бекей, Ф. Вакандио, Т.В. Шакиева, Г.Е. Ергазиева, Х. Авчукир, 2026