

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТКАЦКИХ СТАНКОВ**

**Парфенов А.С., Тувин А.А.**

Парфенов Александр Сергеевич

Ивановская государственная медицинская академия,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 8.

E-mail: alsparf@gmail.com

Тувин Александр Алексеевич

Ивановский государственный политехнический университет,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 21.

E-mail: tuvin@ivgpu.com

*Рассмотрены эффекты воздействия углеродных нанотрубок Таунит-М на физико-химические свойства смазочных материалов для ткацких станков. Спектрофотометрическим методом показана высокая стабильность суспензий углеродных наночастиц в жидких смазочных материалах. Методом ротационной вискозиметрии доказано, что введение углеродных нанотрубок в концентрации до 2,5 мас. % не приводит к изменению характера течения смазочных материалов, при этом зависимость вязкости от концентрации носит экспоненциальный характер. Выявлена инертность углеродных нанотрубок в отношении поверхностного натяжения суспензий: введение наноразмерной присадки в концентрации до 2,5 мас. % не приводит к значимому изменению коэффициента поверхностного натяжения. Модификация смазочных материалов углеродными нанотрубками также приводит к увеличению теплоотвода из зоны трения, что улучшает трибологические характеристики суспензий.*

*Ключевые слова:* углеродные нанотрубки, присадка, вязкость, седиментация, абразивные частицы, смазочный материал

**PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF MODIFIED LUBRICANTS FOR WEAVING MACHINES**

**Parfenov A.S., Tuvin A.A.**

Parfenov Alexander Sergeevich

Ivanovo State Medical Academy,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 8.

E-mail: alsparf@gmail.com

Tuvin Aleksandr Alekseevich.

Ivanovo State Polytechnic University,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 21.

E-mail: tuvin@ivgpu.com

*The effects of Taunit-M carbon nanotubes on the physical and chemical properties of lubricants for textile looms have been considered. High stability of suspensions of carbon nanoparticles in liquid lubricants has been shown by spectrophotometric method. The rotational viscometry method proved that the addition of carbon nanotubes in concentrations up to 2.5 wt. % does not change the character of the lubricant flow, while the viscosity dependence on the concentration is exponential in character. Inertness of carbon nanotubes with the surface tension of suspensions has been revealed: adding nanoscale additive in concentration up to 2.5 wt.% does not result in a significant change in the surface tension coefficient. Modification of lubricants with carbon nanotubes also increases the heat dissipation from the friction zone, which improves the tribological characteristics of suspensions.*

*Keywords:* carbon nanotubes, additive, viscosity, sedimentation, abrasive particles, lubricant

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения высоких трибологических характеристик смазочных материалов широко используются присадки различной природы. Наиболее распространенными противоизносными присадками, используемыми на практике, являются хлорорганические, сероорганические, фосфорорганические, металлоорганические и органические боратные соединения [1]. Широко распространены присадки, обеспечивающие функциональность за счет образования тонких пленок (в настоящее время обычно называемых трибопленками) на поверхности твердого тела. С точки зрения оценки влияния процессов изнашивания на стабильность и целостности пленки необходимо понимать следующее:

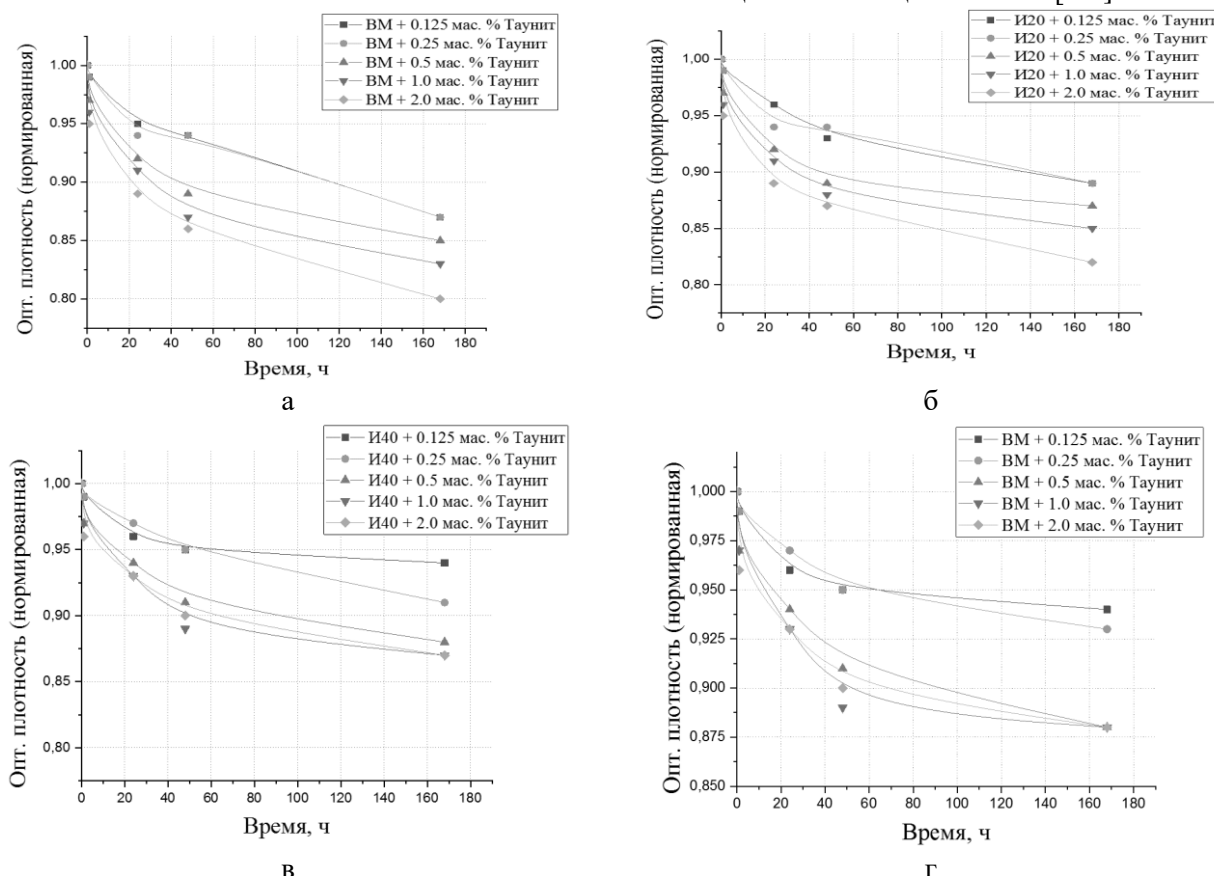
- природу пленки (химические, физические и механические свойства);
- кинетику образования;
- скорость удаления и восполнения.

Поскольку эти параметры зависят от огромного количества факторов, пакеты присадок

обычно эффективны только в определенных условиях эксплуатации [1-2].

Отличительной особенностью является то, что противоизносная функциональность обычно ассоциируется со смешанным режимом смазки, при котором все еще существует некоторая разделяющая смазочная пленка, но пленка периодически нарушается и происходит контакт шероховатостей.

Анализ иных типов присадок для смазочных материалов показал, что наиболее эффективными на данный момент являются наноразмерные структуры (нанопорошки металлов, аллотропные модификации углерода, нанокерамики и др.) [3-4]. Среди них возможно выделить многостенные углеродные нанотрубки как структуры, сочетающие в себе высокую жесткость, большую площадь удельной поверхности, при этом обладающие достаточно низкой стоимостью и химически инертные. Углеродные нанотрубки способны выступать в роли эффективных присадок для узлов трения в случае их транспорта совместно с абразивными частицами и частицами износа [5-7].



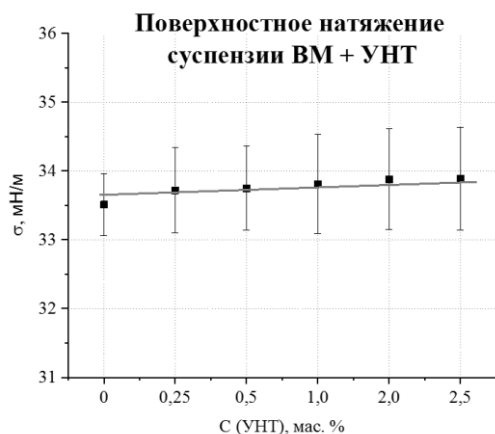
**Рис 1. Нормированная оптическая плотность суспензий с УНТ: (а) вазелиновое масло; (б) промышленное масло И20; (в) промышленное масло И40; (г) ВНИИ НП-406**  
**Fig. 1. Normalized optical density of suspensions with CNTs: (a) vaseline oil; (b) industrial oil I20; (c) industrial oil I40; (d) VНИИ NP-406**

Следует отметить, что в условиях модификации смазочных материалов присадками важно учитывать не только изменение трибологических характеристик, но и влияние добавок на реологические, физико-химические свойства смазок, изменение их тепловых параметров [8-11].

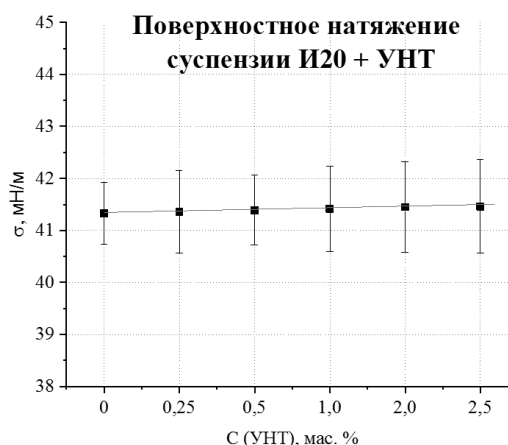
**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В качестве смазочных материалов (СМ) были выбраны индустриальные масла И20-А, И40-А (ГОСТ 20799–88), вазелиновое масло (ГОСТ 3164–

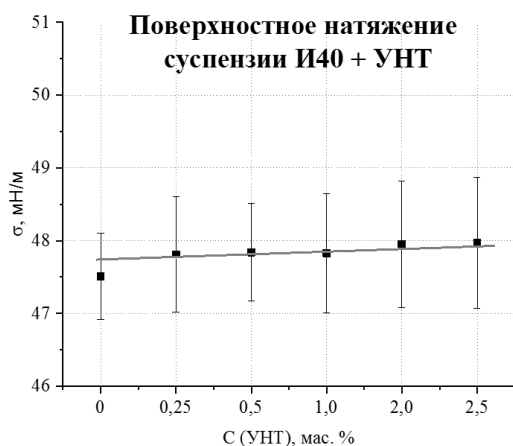
78), ВНИИ НП-406 (ТУ 38.101289–72). В качестве присадки в масло вводились УНТ Таунит-М (производства ООО «НаноТехЦентр г. Тамбов»). Углеродные нанотрубки вводились в СМ путем механического смешивания и последующего ультразвукового диспергирования в течение 15 минут на частоте 40 кГц. В качестве абразива был использован электрокорунд 25А 0,063–0,125 (F180).



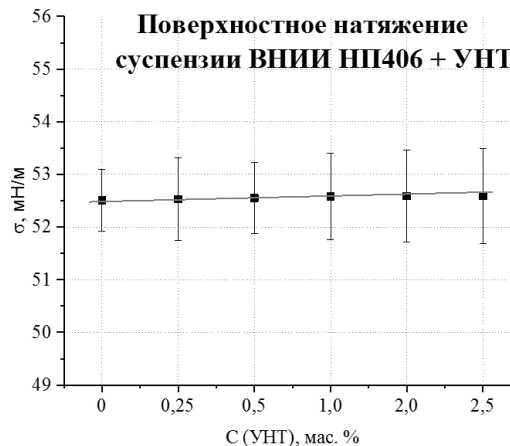
а



б



в



г

**Рис. 2. Поверхностное натяжение суспензий смазочных материалов с углеродными нанотрубками (УНТ): (а) вазелиновое масло; (б) индустриальное масло И20; (в) индустриальное масло И40; (г) ВНИИ НП-406**

**Fig. 2. Surface tension of carbon nanotube (CNT) lubricant suspensions: (a) vaseline oil; (b) industrial oil I20;(c) industrial oil I40; (d) VNIIP NP-406**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Испытания стабильности суспензий производились спектрофотометрическим способом на спектрофлуориметре Solar SM 2203 (длина волны поглощения 500 нм, испытания проводились в кварцевой кювете с оптической длиной пути 1 мм).

Оценка седиментационной устойчивости суспензий (рис. 1) показала, что при условии предварительного ультразвукового диспергирования система СМ – углеродные нанотрубки остается устойчивой в течение продолжительного промежутка времени. Большое влияние на седиментационную устойчивость оказывает вязкость базового масла.

Суспензии углеродных нанотрубок, подвергнутые ультразвуковой диспергации, показали высокую стабильность. Изменение оптической плотности после седиментации в течение 168 часов составило не более 20%.

Испытания поверхностного натяжения производились стагмометрическим способом

$$k = \frac{\sigma_{ст} \cdot n_{ст}}{V \cdot \rho_{ст} \cdot g}, \quad (1)$$

$$m_{капли} = \frac{V \cdot \rho_{ст} \cdot g}{n}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем жидкости,  
 $n$  – число капель.

(методом счета капель). В качестве стагмометра использовался стеклянный капилляр. В качестве эталонной жидкости – дистиллированная вода, у которой величина поверхностного натяжения составляет  $\sigma_{ст} = 72,7$  мДж/м<sup>2</sup> при 20 °С,  $\rho_{ст} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. В этом случае постоянная капилляра  $k$  и масса капли  $m_{капли}$  рассчитываются по формулам:

Результаты исследований поверхностного натяжения суспензий представлены на рис. 2.

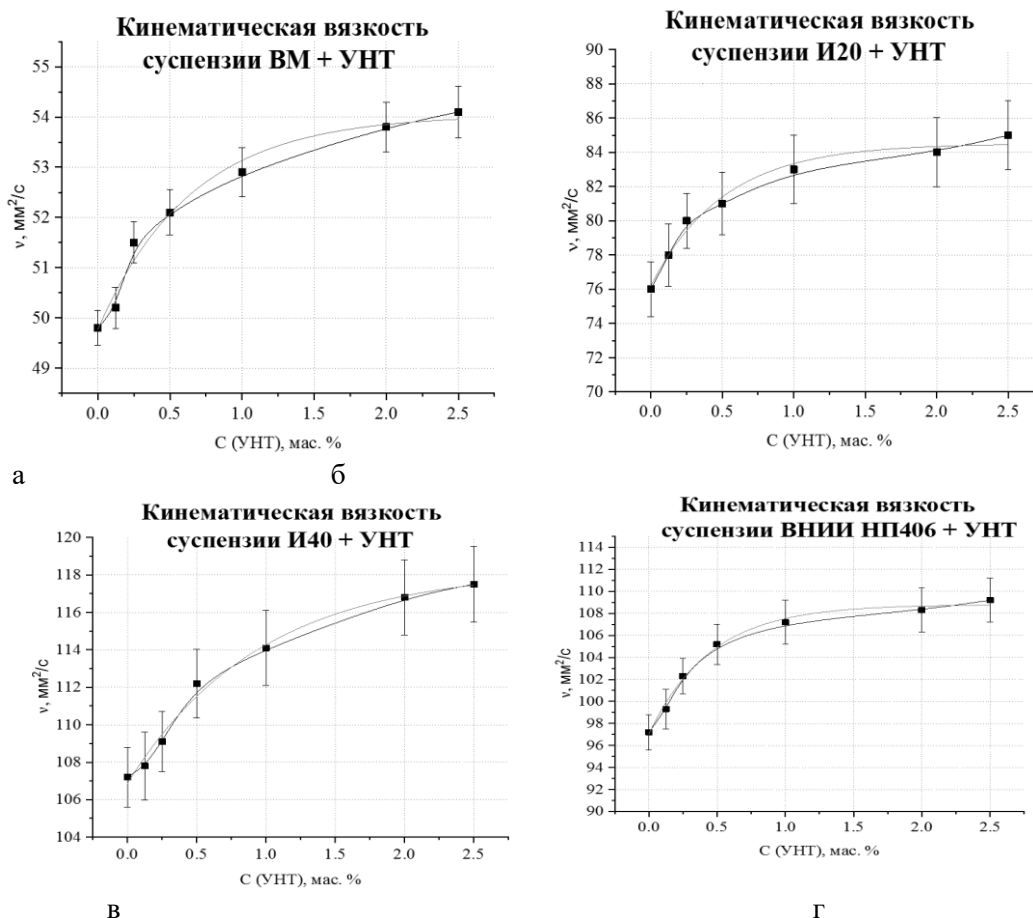


Рис. 3. Кинематическая вязкость суспензий смазочных материалов с углеродными нанотрубками (УНТ): (а) вазелиновое масло; (б) промышленное масло И20; (в) промышленное масло И40; (г) ВНИИ НП-406

Fig. 3. Kinematic viscosity of carbon nanotube (CNT) lubricant suspensions: (a) vaseline oil; (b) industrial oil I20; (c) industrial oil I40; (d) VNIИ NP-406

Испытания на кинематическую вязкость полученных суспензий производились с использованием вискозиметра Brookfield DV-II+ (термостатирование в термоячейке при температуре 40С) и ротационного вискозиметра Полимер РПЭ-1М.2 (рис. 3).

Следует отметить, что при введении в жидкий смазочный материал углеродных нанотрубок происходит увеличение вязкости на величину до 15%. При этом кривая зависимости кинематической вязкости от концентрации углеродных нанотрубок аппроксимируется экспоненциальным законом.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 3, позволяет сделать вывод, что введение наноразмерной присадки не приводит к изменению ньютоновского характера течения жидкости и значительному изменению кинематической вязкости.

Оценка температурных эффектов от модификации жидких смазочных материалов углеродными нанотрубками Таунит производилась на базе лабораторной установки МТУ-01 при помощи трёх термосопротивлений. Температура фиксировалась на протяжении всего лабораторного испы-

тания. Для анализа используется характеристика изменения температуры  $\Delta t = t_{нач} - t_{конеч}$ .

Введение углеродных нанотрубок в базовые жидкие смазочные материалы для ткацких станков (рис. 4) приводит к снижению температуры в зоне трения за счет снижения величины износа. В случае испытаний смазочных материалов, загрязненных абразивными частицами, наблюдается иная ситуация. Как следует из приведенных зависимостей (рис. 4), регистрируемая температура увеличивается с ростом концентрации нанотрубок.

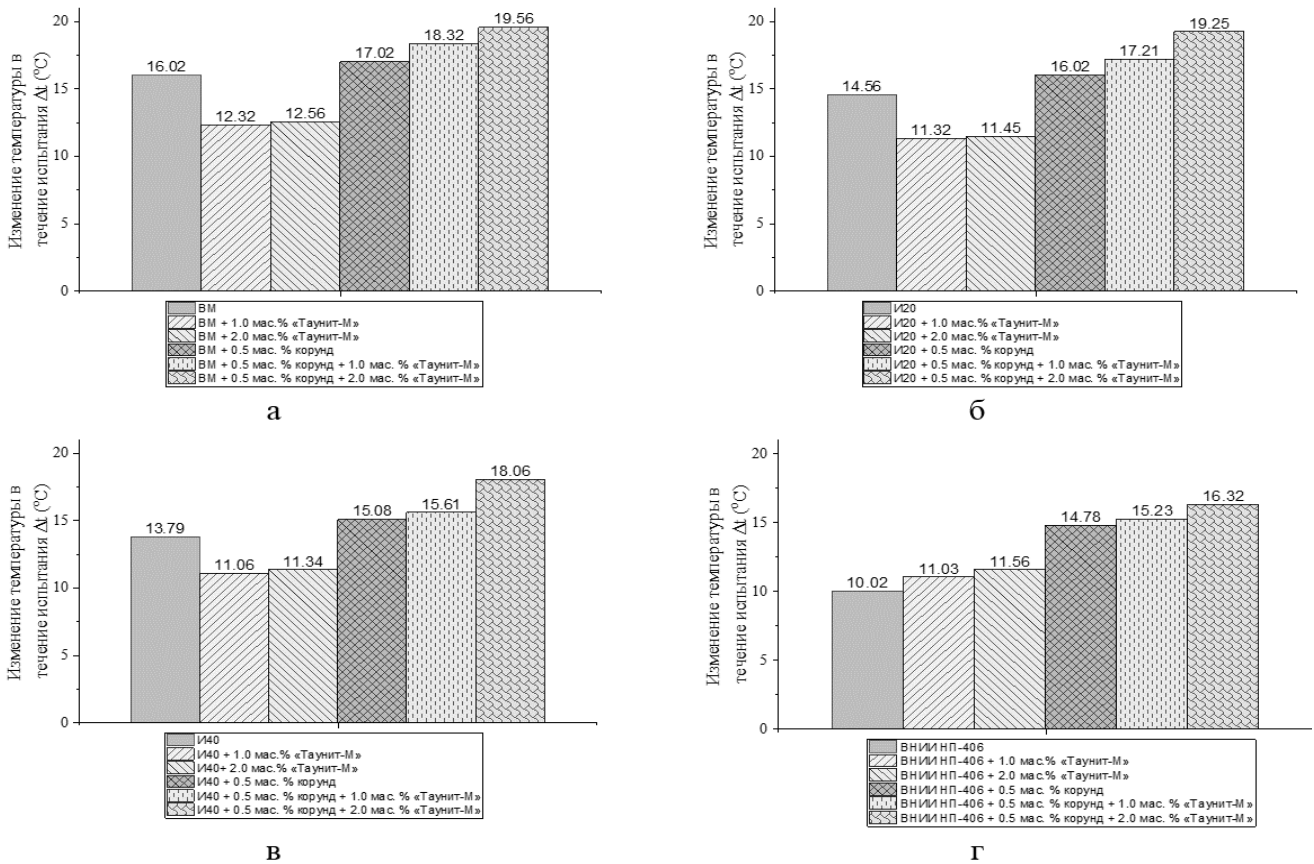


Рис. 4. Изменение температуры в результате лабораторных испытаний суспензий жидких смазочных материалов с углеродными нанотрубками: (а) вазелиновое масло; (б) промышленное масло И20; (в) промышленное масло И40; (г) ВНИИ НП-406

Fig. 4. Temperature change as a result of laboratory tests of liquid suspensions lubricants with carbon nanotubes: (a) vaseline oil; (b) industrial oil I20; (c) industrial oil I40; (d) VНИИ NP-406

Следует отметить, что введение нанодисперсных компонентов в смазочные материалы приводит к улучшению их теплопроводности, а значит и смазочно-охлаждающих свойств суспензий, что отмечается рядом исследований.

В случае абразивного характера изнашивания происходит выделение большого количества теплоты и эффект присадки, помимо снижения величины износа, заключается в увеличении теплоотвода из зоны трения.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате лабораторных исследований стабильности композиций, состоящих из жидких смазочных материалов для ткацких станков и углеродных нанотрубок Таунит, установлено, что суспензии, прошедшие ультразвуковую диспергацию в течение 15 минут, проявляют высокую стабильность. Оптическая плотность, измеренная спектрофотометрическим способом, изменяется не более, чем на 20% после отстаивания в течение 168 часов. Это позволяет делать выводы о возможности применения подобных наноструктур в качестве присадки для смазочного материала, удовлетворяющей условиям хранения и транспортировки готового продукта. Высокая стабильность суспензий с углеродными наноприсадками позволяет сохранять эффективность модифицированных смазочных материалов при простоях текстильного оборудования.

Лабораторный эксперимент по исследованию поверхностного натяжения суспензий показал незначительное увеличение величины поверхностного натяжения, что свидетельствует об инертности присадки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Morina A., Neville A.** Tribofilms: aspects of formation, stability and removal. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2007. V 40. N 18. P. 5476-5487. DOI:10.1088/0022-3727/40/18/S08.
2. **Gosvami N.N., Bares J.A., Mangolini F. [et al.]**. Mechanisms of antiwear tribofilm growth revealed in situ by single asperity sliding contacts. *Science*. 2015. T. 348. N 6230. P. 102-106. DOI:10.1126/science.1258788.
3. **Xiao H., Liu S.** 2D nanomaterials as lubricant additive: A review. *Materials and Design*. 2017. T. 135. P. 319-332. DOI: 10.1016/j.matdes.2017.09.029.
4. **Gulzar M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Zulkifli N.W.M., Mufti R.A., Zahid R.** Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives. *Journal of Nanoparticle Research*. 2016. T. 18. N 8. P. 1-25. DOI:10.1007/s11051-016-3537-4
5. **Парфенов А.С., Тувин А.А.** Снижение износа кулачкового механизма ткацкого станка за счет применения смазочных материалов с наноразмерной присадкой. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022. Т. 397. № 1. С. 282–287. DOI:10.47367/0021-3497\_2022\_1\_282.
6. **Парфенов А.С., Сенатов Ю.А., Родинова П.А., Тувин А.А.** Применение смазочных материалов растительного происхождения модифицированных углеродными наночастицами в условиях абразивного трения. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 4(68). С. 63–68. DOI:10.6060/snt.20216804.0009
7. **Парфенов А.С., Волков А.В., Березина Е.В., Годлевский В.А.** Адсорбционная модель мезоморфного граничного смазочного слоя, образуемого наноразмерной присадкой в трибосистеме с абразивным износом. *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2022. Т. 22. № 1. С. 76–83. DOI:10.18083/LCAppl.2022.1.76.

Реологические испытания методом ротационной вискозиметрии позволили сделать вывод о том, что введение углеродных нанотрубок в СМ незначительно увеличивает кинематическую вязкость суспензий, при этом зависимость вязкости от концентрации носит экспоненциальный характер. Следует отметить, что введение присадки не изменяет характер течения СМ, тем самым не нарушая режимы работы узлов трения станков, рассчитанных на строго определенные характеристики смазки.

Исследование температурных зависимостей, полученных в результате лабораторных испытаний суспензий из смазочных материалов и нанотрубок позволяет сделать вывод о том, что модификация смазочных материалов для ткацких станков углеродными нанотрубками увеличивает теплопроводность суспензий, что способствует эффективному отводу тепла из контактной зоны.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

## REFERENCES

1. **Morina A., Neville A.** Tribofilms: aspects of formation, stability and removal. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2007. V. 40. N 18. P. 5476-5487. DOI:10.1088/0022-3727/40/18/S08.
2. **Gosvami N.N., Bares J.A., Mangolini F. [et al.]**. Mechanisms of antiwear tribofilm growth revealed in situ by single asperity sliding contacts. *Science*. 2015. Vol. 348. N 6230. P. 102-106. DOI:10.1126/science.1258788
3. **Xiao H., Liu S.** 2D nanomaterials as lubricant additive: A review. *Materials and Design*. 2017. Vol. 135. P. 319-332. DOI: 10.1016/j.matdes.2017.09.029.
4. **Gulzar M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Zulkifli N.W.M., Mufti R.A., Zahid R.** Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives. *Journal of Nanoparticle Research*. 2016. T. 18. N 8. P. 1-25. DOI:10.1007/s11051-016-3537-4
5. **Parfenov A.S., Tuvin A.A.** Reducing the wear of the weaving machine cam mechanism by using lubricants with nanoscale additives. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. Vol. 397. N 1. P. 282-287. DOI:10.47367/0021-3497\_2022\_1\_282.
6. **Parfenov A.S., Senatov Yu.A., Rodinova P.A., Tuvin A.A.** The use of lubricants of vegetable origin modified with carbon nanoparticles under conditions of abrasive friction. *Modern science-intensive technologies. Regional supplement*. 2021. N 4(68). P. 63–68. DOI:10.6060/snt.20216804.0009.
7. **Parfenov A.S., Volkov A.V., Berezina E.V., Godlevskiy V.A.** Адсорбционная модель мезоморфного граничного смазочного слоя, образуемого наноразмерной присадкой в трибосистеме с абразивным износом. *Liq. Cryst. and their Appl.* 2022. Vol. 22. N 1. P. 76–83. DOI:10.18083/LCAppl.2022.1.76

8. **Ali A.J., Tugolukov E.N.** An experimental study on the influence of functionalized carbon nanotubes CNT Taunit series on the thermal conductivity enhancement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. T. 693. N 1. P. 012001. DOI:10.1088/1757-899X/693/1/012001.
9. **Usol'tseva N.V., Smirnova M.V., Kazak A.V., Smirnova A.I., Bumbina N.V., Ilyin S.O., Rozhkova N.N.** Rheological characteristics of different carbon nanoparticles in cholesteric mesogen dispersions as lubricant coolant additives. *Journal of Friction and Wear*. 2015. T. 36. N 5. P. 380-385. DOI:10.3103/S1068366615050165.
10. **Prasher R., Bhattacharya P., Phelan P.E.** Thermal Conductivity of Nanoscale Colloidal Solutions (Nanofluids). *Physical Review Letters*. 2005. T. 94. N 2. P. 025901. DOI:10.1103/physrevlett.94.025901.
11. **Pop E., Varshney V., Roy A.K.** Thermal properties of graphene: Fundamentals and applications. *MRS Bulletin*. 2012. T. 37. N 12. P. 1273-1281. DOI:10.1557/mrs.2012.203

8. **Ali A.J., Tugolukov E.N.** An experimental study on the influence of functionalized carbon nanotubes CNT Taunit series on the thermal conductivity enhancement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 693. N 1. P. 012001. DOI:10.1088/1757-899X/693/1/012001.
9. **Usol'tseva N.V., Smirnova M.V., Kazak A.V., Smirnova A.I., Bumbina N.V., Ilyin S.O., Rozhkova N.N.** Rheological characteristics of different carbon nanoparticles in cholesteric mesogen dispersions as lubricant coolant additives. *Journal of Friction and Wear*. 2015. Vol. 36. N 5. P. 380-385. DOI:10.3103/S1068366615050165.
10. **Prasher R., Bhattacharya P., Phelan P.E.** Thermal Conductivity of Nanoscale Colloidal Solutions (Nanofluids). *Physical Review Letters*. 2005. Vol. 94. N 2. P. 025901. DOI:10.1103/physrevlett.94.025901.
11. **Pop E., Varshney V., Roy A.K.** Thermal properties of graphene: Fundamentals and applications. *MRS Bulletin*. 2012. Vol. 37. N 12. P. 1273-1281. DOI:10.1557/mrs.2012.203